

ОЦЕНОЧНЫЙ ДОКЛАД ОБ ИЗМЕНЕНИЯХ КЛИМАТА И ИХ ПОСЛЕДСТВИЯХ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



Том II. Последствия изменений климата



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И
МОНИТОРИНГУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ (РОСГИДРОМЕТ)**

2008

**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ
И МОНИТОРИНГУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
(РОСГИДРОМЕТ)**

**ОЦЕНОЧНЫЙ ДОКЛАД
ОБ ИЗМЕНЕНИЯХ КЛИМАТА И ИХ ПОСЛЕДСТВИЯХ
НА ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

ТОМ II

ПОСЛЕДСТВИЯ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА

Москва — 2008

ОЦЕНОЧНЫЙ ДОКЛАД ОБ ИЗМЕНЕНИЯХ КЛИМАТА И ИХ ПОСЛЕДСТВИЯХ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Том II. Последствия изменений климата

УДК 551.583(470+570)
ББК 19.3.4

Научно-координационный комитет по подготовке “Оценочного доклада об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации”:

Руководитель Росгидромета А. И. Бедрицкий (председатель), В. Г. Блинов, Д. А. Гершинкова (ответственный секретарь), Г. С. Голицын, В. П. Дымников, Ю. А. Израэль, В. М. Катцов, В. М. Котляков, В. П. Мелешко, В. И. Осипов, С. М. Семенов

Главное научное учреждение по подготовке т. II “Оценочного доклада об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации”: Государственное учреждение Институт глобального климата и экологии Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды и Российской академии наук (директор Ю. А. Израэль)

По поручению Росгидромета данный том доклада подготовлен Рабочей группой II “Последствия изменений климата на территории Российской Федерации” в следующем составе:

Руководитель: С. М. Семенов

Ведущие авторы: О. А. Анисимов, Ю. А. Анохин, Л. И. Болтнева, Е. А. Ваганов, А. Н. Золотокрылин, Ю. А. Израэль, Г. Э. Инсаров, Н. В. Кобышева, А. Г. Костяной, А. Н. Кренке, В. В. Оганесян, А. В. Пчелкин, Б. А. Ревич, В. А. Семенов, С. М. Семенов, О. Д. Сиротенко, Ф. С. Терзиев, И. Е. Фролов, В. Ч. Хон, А. В. Цыбань, Б. Г. Шерстюков, И. А. Шикломанов, В. В. Ясюкевич

Авторы: Е. В. Абашина, Г. В. Алексеев, М. Д. Ананичева, Ж. А. Балонишников, С. П. Баринова, И. И. Борзенкова, В. А. Бузин, А. А. Величко, Ю. Л. Володкович, М. В. Гаврило, Е. С. Гельвер, В. Ю. Георгиевский, А. И. Гинзбург, И. Г. Грингоф, Т. П. Гронская, З. М. Гудкович, Г. В. Заклинский, Е. К. Зоидзе, В. П. Карклин, П. А. Колосов, А. А. Коршунов, З. Д. Копалиани, С. А. Лебедев, Ю. В. Лупачев, П. М. Лурье, С. П. Малевский-Малевиц, М. Л. Марков, А. А. Минин, Л. Т. Мяч, М. М. Наурзбаев, Н. П. Незлин, В. Н. Павлова, В. Д. Панов, Е. И. Парфенова, Е. Н. Попова, В. А. Романенков, А. А. Романовская, Н. А. Сперанская, И. О. Умбрумянц, Ю. Г. Филиппов, С. В. Фролов, Н. М. Чебакова, А. В. Шашкин, Н. А. Шеремет, В. В. Шишов, С. Г. Шиятов, Т. А. Шука, В. И. Харук

Редакторы-рецензенты: З. К. Абузаров, А. А. Величко, А. В. Голубев, Г. В. Груза, Д. Б. Киктев, Н. И. Коронкевич, А. Н. Косарев, А. П. Левич, И. И. Мохов, А. И. Страшная, С. Ю. Чайка, А. Ф. Яковлев

Предисловие

В последние два десятилетия XX века в мире возникло и широко распространилось некое предощущение опасности, связанной с глобальным потеплением из-за антропогенного усиления парникового эффекта вследствие антропогенных эмиссий парниковых газов в атмосферу. Политическим результатом этой обеспокоенности стала Рамочная конвенция ООН об изменении климата — РКИК (1992 г.). Ее цель ясно сформулирована в Статье 2:

“Конечная цель настоящей Конвенции и всех связанных с ней правовых документов, которые может принять Конференция Сторон, заключается в том, чтобы добиться во исполнение соответствующих положений Конвенции стабилизации концентрации парниковых газов в атмосфере на таком уровне, который не допускал бы опасного антропогенного вмешательства в климатическую систему”.

И далее: *“Такой уровень должен быть достигнут в сроки, достаточные для того, чтобы*

— позволить экосистемам естественным образом адаптироваться к изменению климата,

— убедиться, что производство продовольствия не находится под угрозой, и

— дать возможность обеспечить дальнейшее экономическое развитие на устойчивой основе”.

Первый правовой документ, направленный на ограничение антропогенных эмиссий парниковых газов, появился в рамках РКИК в 1997 г. Это — Киотский протокол, который был открыт к подписанию в 1998 г. В преамбуле этого договора сказано, что он заключен в “целях достижения окончательной цели Конвенции, как она изложена в Статье 2”. Это соглашение было ратифицировано Россией в 2004 г.

Однако никакого определения того, что такое “опасное антропогенное вмешательство в климатическую систему”, во времена принятия РКИК не существовало, как его в общепринятом виде не существует и сейчас, хотя этот вопрос интенсивно разрабатывается сейчас международным научным сообществом, в том числе Межправительственной группой экспертов по изменению климата (МГЭИК).

Эта проблема не может быть полностью решена в рамках науки, поскольку в конечном счете будет необходимо принятие решений на национальном и (или) международном уровнях о том, является ли климат, измененный под воздействием деятельности человека, желательным или же приемлемым в свете целей устойчивого развития общества и благосостояния населения, учитывая, конечно, и различные аспекты нематериальных полезностей (в частности, сохранение уникальных

природных и культурных объектов). Однако наука должна предоставить необходимую объективную и качественную информацию, которая позволит в конечном счете принять оптимальные решения в этой области.

На национальном уровне такая информация необходима в отношении следующего:

— какие последствия изменения климата уже наблюдаются к настоящему моменту;

— какова чувствительность природных и хозяйственных систем, состояния здоровья населения к изменению климата;

— имеются ли возможности адаптации к меняющемуся климату, и какова их потенциальная эффективность;

— какие ожидаются последствия изменения климата в среднесрочной и долгосрочной перспективе, и какова их опасность.

Данная часть доклада посвящена систематизации и обобщению информации по этим вопросам для России. При этом используются мировые литературные источники, разработки ведущих научных учреждений России и данные сетей мониторинга Росгидромета.

Материал структурирован по предметным главам, в каждой из которых дается материал по определенному виду последствий изменения климата — по отдельности по XX и XXI векам. Редакционная группа Института глобального климата и экологии Росгидромета и РАН провела структурирование и научное редактирование материалов, представленных авторами предметных и методических глав. Авторами являлись специалисты из научно-исследовательских учреждений Росгидромета (ААНИИ, ВНИИГМИ-МЦД, ВНИИСХМ, ГГИ, ГГО, ГОИН, Гидрометцентр РФ, ИГКЭ), РАН и вузов страны.

Приведенные в этом издании данные, их анализ и обобщение предназначены для экспертов, осуществляющих научное сопровождение процесса выработки государственной стратегии в области регулирования антропогенного воздействия на климат и адаптации к его изменению, для государственных и правительственных органов, разрабатывающих политические решения в данной области, для заинтересованных неправительственных организаций и научной общественности.

Академик РАН Ю. А. Израэль,
директор Института глобального климата и экологии Росгидромета и РАН

Содержание

1. ВВЕДЕНИЕ	7
Климат и его естественная изменчивость	7
Антропогенное воздействие на глобальный климат	7
Изменения климата и их возможные последствия: причины обеспокоенности	9
Реакции систем на изменение климата: чувствительность, адаптационная способность, уязвимость и риск ...	11
Возобновляемые ресурсы и природные системы России, приоритетные для оценки последствий изменения климата	13
Структура данного доклада	14
Литература	16
2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ И ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ В XX ВЕКЕ, СВЯЗАННЫЕ С ИЗМЕНЕНИЕМ КЛИМАТА	19
2.1. Источники фактических данных и методы оценки последствий наблюдаемых изменений климата	19
2.1.1. Общая характеристика	19
2.1.2. Состояние зданий и сооружений, отопительный период, транспорт	24
2.1.3. Сельское хозяйство	26
2.1.4. Водные ресурсы	28
2.1.5. Здоровье населения	30
2.1.6. Природные экосистемы суши	32
2.1.7. Континентальная многолетняя мерзлота и ледниковые системы	38
2.1.8. Северные моря	39
2.1.9. Южные моря	40
2.1.10. Последствия экстремальных метеорологических явлений	44
2.1.11. Литература	48
2.2. Состояние зданий и сооружений, отопительный период, транспорт	56
2.2.1. Тепловой режим зданий и сооружений, характеристики отопительного периода	56
2.2.2. Механические воздействия на здания и сооружения	56
2.2.3. Сухопутный транспорт	59
2.2.4. Состояние зданий и сооружений в районах многолетней мерзлоты	59
2.2.5. Литература	61
2.3. Сельское хозяйство	61
2.3.1. Вводные замечания	61
2.3.2. Наблюдаемые изменения агроклиматических условий	62
2.3.3. Влияние изменения климата на продуктивность сельского хозяйства	68
2.3.4. Влияние изменения климата на вредителей сельскохозяйственных растений	71
2.3.5. Литература	75
2.4. Водные ресурсы	77
2.4.1. Вводные замечания: климатические предпосылки изменений в водном балансе	77
2.4.2. Изменения стока рек и запасов пресной воды	78
2.4.3. Испарение	81
2.4.4. Литература	83
2.5. Здоровье населения	86
2.5.1. Общая характеристика	86
2.5.2. Экстремально высокие и низкие температуры	86
2.5.3. Инфекционные и паразитарные болезни	90
2.5.4. Расчетные оценки влияния изменения климатических условий на распространение малярии	95
2.5.5. Здоровье населения арктических регионов	95
2.5.6. Литература	97
2.6. Природные экосистемы суши	101
2.6.1. Общая характеристика	101
2.6.2. Фенологические события у растений	101
2.6.3. Прирост деревьев	106
2.6.4. Границы леса	108

2.6.5.	Опустынивание	112
2.6.6.	Особо охраняемые природные территории	115
2.6.7.	Первичная продуктивность экосистем и содержание углерода в почвах	120
2.6.8.	Литература	120
2.7.	Континентальная многолетняя мерзлота и ледниковые системы	124
2.7.1.	Общая характеристика	124
2.7.2.	Оценка изменений состояния криолитозоны по данным наблюдений	126
2.7.3.	Оледенение арктических островов	129
2.7.4.	Горное оледенение	129
2.7.5.	Литература	132
2.8.	Северные моря	134
2.8.1.	Общая характеристика	134
2.8.2.	Климат и хозяйственная деятельность	134
2.8.3.	Биологические системы северных морей	140
2.8.4.	Литература	147
2.9.	Южные моря	149
2.9.1.	Вводные замечания	149
2.9.2.	Черное море	150
2.9.3.	Азовское море	154
2.9.4.	Каспийское море	159
2.9.5.	Литература	165
2.10.	Последствия экстремальных метеорологических явлений	167
2.10.1.	Общая характеристика	167
2.10.2.	Засухи	172
2.10.3.	Лесные пожары	174
2.10.4.	Наводнения	178
2.10.5.	Селевая и лавинная опасность на Большом Кавказе	184
2.10.6.	Литература	185

3. ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ И ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ В XXI ВЕКЕ, СВЯЗАННЫЕ С ИЗМЕНЕНИЕМ КЛИМАТА 188

3.1.	Источники данных о будущих изменениях климата и методы оценки последствий этих изменений	188
3.1.1.	Общая характеристика	188
3.1.2.	Состояние зданий и сооружений, отопительный период, транспорт	194
3.1.3.	Сельское хозяйство	195
3.1.4.	Водные ресурсы	197
3.1.5.	Здоровье населения	197
3.1.6.	Природные экосистемы суши	198
3.1.7.	Континентальная многолетняя мерзлота и ледниковые системы	202
3.1.8.	Северные моря	204
3.1.9.	Южные моря	206
3.1.10.	Последствия экстремальных метеорологических явлений	207
3.1.11.	Литература	209
3.2.	Состояние зданий и сооружений, отопительный период, транспорт	214
3.2.1.	Тепловой режим зданий и сооружений	214
3.2.2.	Механические воздействия на здания и сооружения	219
3.2.3.	Сухопутный транспорт	220
3.2.4.	Состояние зданий и сооружений в районах многолетней мерзлоты	221
3.2.5.	Литература	223
3.3.	Сельское хозяйство	223
3.3.1.	Общие замечания	223
3.3.2.	Ожидаемые изменения агроклиматических ресурсов и продуктивности сельского хозяйства	223
3.3.3.	Возможные изменения размещения сельскохозяйственных культур	227
3.3.4.	Ожидаемые изменения биоклиматического потенциала и углеродного режима пахотных почв	228
3.3.5.	Воздействие ожидаемых изменений климата на вредителей сельскохозяйственных растений	230
3.3.6.	Литература	232
3.4.	Водные ресурсы	234
3.4.1.	Региональные изменения водных ресурсов и водообеспеченности	234
3.4.2.	Возможные последствия для хозяйственной деятельности	235
3.4.3.	Литература	236

3.5. Здоровье населения	236
3.5.1. Общая характеристика	236
3.5.2. Экстремально высокие температуры (волны тепла)	237
3.5.3. Влияние изменения состояния многолетней мерзлоты и водных ресурсов	237
3.5.4. Перспективные оценки распространения инфекционных и паразитарных заболеваний	237
3.5.5. Литература	240
3.6. Природные экосистемы суши	242
3.6.1. Вводные замечания	242
3.6.2. Состояние растений	243
3.6.3. Границы растительных зон и изменения биоразнообразия	244
3.6.4. Климатическое опустынивание	247
3.6.5. Особо охраняемые природные территории	249
3.6.6. Северные экосистемы	250
3.6.7. Наземные местообитания арктических животных	251
3.6.8. Депонирование углерода в почвах	252
3.6.9. Литература	253
3.7. Континентальная многолетняя мерзлота и ледниковые системы	255
3.7.1. Вводные замечания	255
3.7.2. Перспективные оценки возможных изменений состояния криолитозоны	256
3.7.3. Влияние деградации многолетней мерзлоты на эмиссию диоксида углерода и метана в атмосферу	259
3.7.4. Горное оледенение	260
3.7.5. Литература	261
3.8. Северные моря	264
3.8.1. Вводные замечания	264
3.8.2. Экономика и морская деятельность в арктических регионах	264
3.8.3. Биологические системы северных морей	265
3.8.4. Литература	268
3.9. Уровень Каспийского моря	269
3.9.1. Вводные замечания	269
3.9.2. Среднесрочные оценки	269
3.9.3. Долгосрочные оценки	271
3.9.4. Последствия возможного подъема уровня Каспия	273
3.9.5. Литература	274
3.10. Последствия экстремальных метеорологических явлений	275
3.10.1. Вводные замечания	275
3.10.2. Общая характеристика ожидаемых изменений климата и его экстремальности	275
3.10.3. Засухи	277
3.10.4. Лесные пожары	278
3.10.5. Наводнения	280
3.10.6. Селевая и лавинная опасность на Большом Кавказе	282
3.10.7. Литература	283

4. НЕОБХОДИМЫЕ ДАЛЬНЕЙШИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Список сокращений	288
-------------------------	-----

1. ВВЕДЕНИЕ

Ведущий автор: С. М. Семенов

Авторы: О. А. Анисимов, Ю. А. Анохин, Н. В. Кобышева

Редактор-рецензент: И. И. Мохов

Климат и его естественная изменчивость

Человек имеет “врожденное” представление о климате в силу исторического опыта — климат всегда непосредственно влиял на здоровье человека и хозяйственную деятельность. Существует довольно много формальных определений климата. Мы здесь останавливаться на них не будем, поскольку их сравнительный анализ — предмет монографической литературы. Приведем лишь поясняющую формулировку Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК), которая достаточна для решения прикладных задач (Climate Change 2001, 2001b, pp. 982–996)*.

Климат обычно понимается, как “средняя погода”, а более строго — как ее статистическое описание в терминах средних значений и изменчивости соответствующих гидрометеорологических величин в пределах некоторого периода времени — от месяцев до тысячелетий. Согласно рекомендациям Всемирной метеорологической организации (ВМО), классический период — тридцать лет. В качестве таких величин чаще всего фигурируют параметры температуры, осадков и ветра в приповерхностном слое атмосферы.

В “доиндустриальную” эру (условно — до 1750 г.), когда человек не имел “технологической” возможности сколько-нибудь существенно влиять на глобальные процессы, глобальный климат складывался в ходе взаимодействия внешних факторов (в основном, излучение Солнца) и орбитальных факторов (положение Земли относительно Солнца и ориентация земной оси по отношению к плоскости ее орбиты) с климатической системой Земли. Последняя, согласно определению РКИК (Статья 1), есть “совокупность атмосферы, гидросферы, биосферы и геосферы и их взаимодействие”. Взаимодействие упомянутых естественных факторов с климатической системой Земли формировало ее климат.

Климат Земли никогда не был постоянным. Даже при отсутствии антропогенных воздействий он заметно менялся (Mokhov et al., 2005). Эти естественные изменения были также очень заметными и в последние 2000 лет. На рис. 1.1 приведено изменение температуры на станции Восток, Антарктида (аномалия по отношению к уровню конца XX века).

Более подробно физические аспекты формирования климата, а также причины и характеристики его естественной изменчивости рассмотрены в т. I данного доклада.

Антропогенное воздействие на глобальный климат

Парниковый эффект, открытие которого восходит еще к работам Тиндалла (Tyndall, 1861) и

* Это и последующие поясняющие определения МГЭИК приводятся в этом разделе (они выделены блоками) по указанному источнику, но не в дословном переводе. Они несколько изменены с редакционными целями.

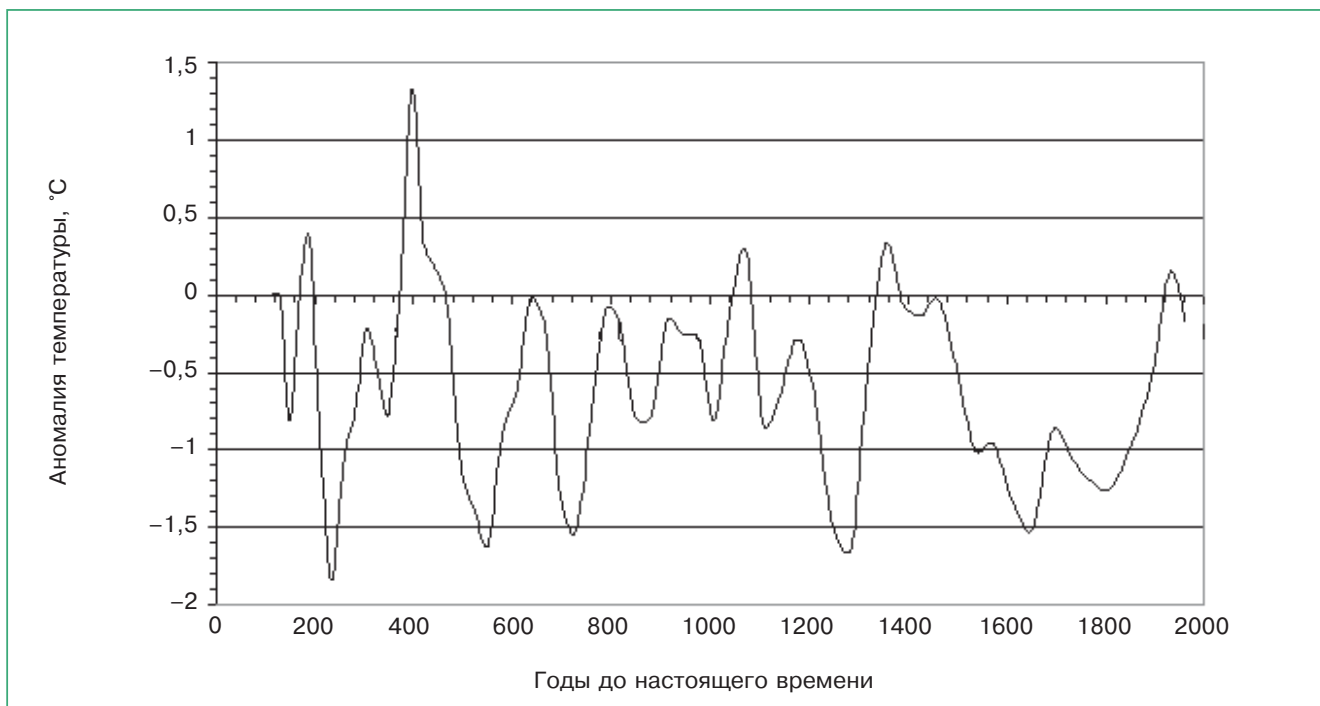


Рис. 1.1. Изменение температуры в приповерхностном слое в нашей эре в Антарктиде (Petit et al., 1999, 2000; Jouzel et al., 1987, 1993, 1996); оценки получены методом палеорекострукции по результатам анализа ледовых кернов со станции Восток.

Аррениуса (Arrhenius, 1896), был впоследствии серьезно исследован российскими учеными в связи возможностью его усиления из-за антропогенных выбросов парниковых газов (Будыко, 1972; Будыко, Израэль, 1987).

Наличие предпосылок к антропогенному потеплению климата (усиление естественного парникового эффекта из-за антропогенных эмиссий парниковых газов), уже произошедшее потепление климата (оно видно из данных мониторинга климата) и его возможные негативные последствия привели к росту внимания к этой проблеме в мировом научном сообществе, в том числе и со стороны отечественных научных школ (Будыко и др., 1992; Исаев и др., 1995; Будыко, 1997; Исаев, Коровин, 1999; Демченко и др., 2001; Груза, Ранькова, 2003; Заварзин, 2001; Бедрицкий и др., 2004; Кондратьев, 2004а, 2004б; Дымников и др., 2004; Израэль, 2004, 2005; Марчук, 2004; Мелешко и др., 2004; Mokhov et al., 2005, 2006; Семенов, 2004; Монин, Сонечкин, 2005; Груза, Ранькова, 2006а, 2006б; Семенов и др., 2006; Russian National Report, 2007).

Вопросы регулирования антропогенного воздействия на климат также интенсивно разрабатываются. При этом исследуются не только критические границы содержания парниковых газов в атмосфере и возможные программы (сценарии) ог-

раничения их эмиссий (Израэль, Семенов, 2003; Patwardhan et al., 2003; Израэль, 2004; Семенов, 2004; Израэль, Семенов, 2005; Izrael and Semenov, 2006), но и иные активные воздействия на глобальный климат, в частности, привнесение в атмосферу сульфатных аэрозолей для увеличения альбедо атмосферы (Израэль, 2005; Crutzen, 2006; Wigley, 2006).

Существенная часть ключевых результатов российских исследований в области климатических изменений и оценки их последствий для России была представлена в следующих публикациях: Глобальные изменения климата и их последствия для России, 2002; Труды Всемирной конференции по изменению климата, 2004; Возможности предотвращения изменения климата и его негативных последствий, 2006.

На международном уровне Межправительственная группа экспертов по изменению климата подготовила четыре оценочных доклада об изменении климата, его последствиях и возможностях смягчения антропогенного воздействия на глобальный климат. Третий доклад опубликован в 2001 г. (Climate Change 2001, 2001a, 2001b, 2001c). В настоящее время уже вышел Четвертый оценочный доклад (Climate Change 2007, 2007a, 2007b, 2007c) — см. также <http://www.ipcc.ch>. Эти доклады содержат достаточно полную и объективную

сводку результатов научных публикаций (монографий, статей, докладов) за соответствующий период времени, а также результаты “неполитизированного синтеза” полученной информации. Российские специалисты участвуют в этой работе.

Изменения климата и их возможные последствия: причины обеспокоенности

Какие-либо параметры климата — среднее значение температуры или сумма осадков, разброс текущих значений относительно этих средних, частоты экстремальных значений (т. е. больших заданных верхних границ или же меньших заданных нижних границ), тренды температуры и осадков и т. д. — для данной области физического пространства в разные периоды времени могут различаться по естественным и антропогенным причинам.

Среди естественных причин изменения глобального климата во времени, внешних по отношению к климатической системе Земли, — вариации потока солнечной энергии, поступающей в атмосферу Земли, и вариации потока солнечной энергии, отраженной земной поверхностью и ушедшей обратно в космос (связаны с циклическими изменениями наклона эклиптики и различиями в значениях альbedo земной поверхности на разных широтах).

Среди антропогенных причин изменения глобального климата — дополнительные эмиссии климатически активных веществ — парниковых газов (важнейшие из которых — диоксид углерода CO_2 , метан CH_4 , закись азота N_2O) и некоторых аэрозолей. Увеличение их концентрации в атмосфере приводит к изменению способности горизонтальных слоев атмосферы пропускать лучистую энергию на разных частотах. Вследствие этого меняется бюджет энергии, специфический на разных высотах, что вызывает изменение вертикального распределения температуры, в частности, потепление или похолодание в приповерхностном слое атмосферы, а также изменение других его параметров. Увеличение концентрации парниковых газов в атмосфере приводит к потеплению; это — антропогенное усиление парникового эффекта.

С началом индустриальной эры к естественным причинам изменения климата, обуславливающим его естественную изменчивость, прибавились антропогенные причины — антропогенная эмиссия парниковых газов и аэрозолей, а также изменение альbedo земной поверхности при изменении землепользования.

Изменение климата — любое изменение климата во времени вследствие его естественной изменчивости или же деятельности человека. Это — определение МГЭИК, отличающееся от принятого РКИК — Рамочной конвенцией ООН об изменении климата. РКИК определяет “изменение климата” как “вызванное прямо или косвенно деятельностью человека, изменяющей состав атмосферы в глобальном масштабе. Это изменение является дополнением к естественной изменчивости климата, наблюдаемой на протяжении соответствующих периодов времени”.

По оценкам МГЭИК, к концу XX века средняя глобальная температура в приповерхностном слое увеличилась на $0,6^\circ\text{C}$ по отношению к уровню середины — конца XIX века (Climate Change 2001, 2001a).

Заметны изменения климата и в России. При этом в сравнении с другими регионами мира отмеченные на ее территории в последние десятилетия региональные изменения климата являются весьма существенными. По оценкам разных авторов, основанным на данных наблюдений, с начала XX столетия увеличение средней годовой температуры воздуха в приповерхностном слое атмосферы в целом по территории России составило от $0,9^\circ\text{C}$ (Груза и др., 2006; Мирвис, 1999) до $1,1^\circ\text{C}$ (Анисимов и др., 2007). За последние же 100 лет (1907–2006 гг.) потепление в целом по России составило $1,29^\circ\text{C}$ при среднем глобальном потеплении $0,74 \pm 0,18^\circ\text{C}$. Последнее тридцатилетие (1976–2006 гг.) было самым теплым, среднее потепление по России составило $1,33^\circ\text{C}$. При этом региональные различия темпов потепления были значительными: от $0,5^\circ\text{C}/100$ лет на севере Европейской территории России (ЕТР) и в Приморье до $1,4$ – $1,6^\circ\text{C}/100$ лет на юге Урала, Сибири и Дальнего Востока. Наибольший вклад в потепление внесло десятилетие 1996–2005 гг. Разброс приведенных здесь оценок, помимо различий, вносимых процедурами пространственного осреднения, используемыми разными авторами, объясняется также и различием периодов наблюдений, представленных в используемых временных рядах. С продлением (смещением) рядов за пределы XX века оценка векового тренда может увеличиться. Ведь после 1995 г. глобальная температура несколько раз достигала наибольших значений за период наблюдений.

В контексте проблем, рассматриваемых в данном докладе, важную роль играет сезонная неоднородность потепления (Анисимов и др., 2007). Потепление наиболее выражено в зимний и весенний периоды. Региональные вековые тренды зимней температуры в XX веке меняются от

1. ВВЕДЕНИЕ

0,2°C/100 лет на севере ЕТР до 2,4–2,6°C/100 лет в Сибири. При этом средний по России тренд зимней составляет 1,7°C/100 лет. Тренд летней температуры заметно меньше, меняется от 0,1°C/100 лет на ЕТР и юге Сибири до 0,9–1,1°C/100 лет в центральных районах Сибири, на Чукотке и в Приморье при среднем по России значении 0,6°C/100 лет. Если ограничиться анализом изменений температуры воздуха за последние несколько десятилетий, то значения трендов окажутся значительно больше. Так, в период 1970–2004 гг. средние по всей территории России значения трендов средней годовой, зимней и летней температуры составили соответственно 3,8, 5,1 и 3,2°C/100 лет (Анисимов и др., 2007).

Следует отметить, что, говоря о климате XXI века и будущих веков, мы в принципе не можем иметь о нем точных сведений. Ведь климат Земли меняется как по естественным, так и по антропогенным причинам, а в близком будущем долгосрочный точный прогноз обоих компонентов невозможен. Если естественные изменения связаны в основном с орбитальными факторами и вариациями интенсивности солнечного излучения, так что есть основания надеяться на улучшение понимания их влияния в скором времени, то антропогенный компонент зависит от социально-экономических факторов. Их точно предсказать на период более 100 лет вряд ли возможно в принципе. Поэтому для соответствующего анализа привлекают понятие “сценарий” развития мировой социально-экономической системы.

Сценарий — правдоподобное и часто упрощенное описание развития событий в будущем, основанное на согласованном и внутренне непротиворечивом множестве предположений о движущих силах и основных взаимозависимостях.

Каждому сценарию развития мировой социально-экономической системы соответствует своя траектория глобальных антропогенных эмиссий парниковых газов в атмосферу и, как следствие, — специфический характер антропогенного возмущения естественного изменения их концентраций в атмосфере и климата Земли.

Невозможность долгосрочного прогноза (на 100 лет и более) социально-экономического развития и, как следствие, траекторий эмиссий климатически активных веществ привела к введению в научный обиход термина “перспективная оценка” или “проекция” (в англоязычной литературе — projection). По существу, это — условный прогноз, т. е. прогноз при определенных принятых условиях, при определенном сценарии будущего антропо-

погенного воздействия на климатическую систему, в рамках которого происходит изменение изучаемой величины.

Однако климат — физическое явление. Поэтому его изменения сами по себе не могут быть благоприятными, неблагоприятными, опасными и т. д. Эти и подобные им категории отражают оценку изменений климата человеком, исходя из его ценностных представлений, т. е. являются ценностными суждениями. К тому же такие представления обычно являются субъективными и различаются для различных регионов, стран и групп населения. Они зависят, в частности, от уровня экономического развития, уклада жизни и культурных традиций.

Каковы же причины обеспокоенности мирового сообщества относительно изменения климата? На рис. 1.2 изображены исторические данные об изменениях концентрации диоксида углерода в доиндустриальную эру за последние 400 000 лет по данным станции Восток (Антарктида) и ее изменения с 1850 по 2000 г. по данным станции Мауна-Лоа (Гавайи). Поскольку CO₂ — хорошо перемешиваемый газ (т. е. его долговременные уровни везде примерно одинаковы), эти два ряда данных можно сравнить.

На рис. 1.2а хорошо видно, что концентрация колебалась в диапазоне 180–300 млн⁻¹ в последние 400 000 лет до начала существенных антропогенных эмиссий, а с начала 1900-х годов, напротив, всегда была больше 300 млн⁻¹, возрастая к концу XX века до примерно 370 млн⁻¹ — см. рис. 1.2б. Колебания концентрации, изображенные на рис. 1.2а, — естественные. Изначальным ведущим фактором этих колебаний является температура, циклические колебания которой были связаны с орбитальными факторами. Повышение температуры вызывает сдвиг равновесия между атмосферным и океаническим CO₂ в пользу атмосферного. Причина изменения концентрации CO₂, изображенного на рис. 1.2б, совершенно иная. Это — следствие антропогенных эмиссий, в ходе которых общее количество CO₂, циркулирующее в климатической системе, увеличивается. Вызываемое этим усиление парникового эффекта приводит к потеплению, накладывающемуся на естественные колебания. Если иметь в виду последние 400 000 лет, то климат Земли сейчас находится в теплой фазе. Именно поэтому дополнительное антропогенное потепление воспринимается как “потенциально опасное”.

МГЭИК в своем Синтезирующем докладе к Третьему оценочному докладу (Climate Change 2001, 2001, р. 68) приводит основные пять причин для беспокойства в связи с изменением климата (эти пять категорий МГЭИК сохранила и в Четвертом оценочном докладе):

- уникальные системы и системы, находящиеся в угрожаемом положении;
- экстремальные явления погоды;

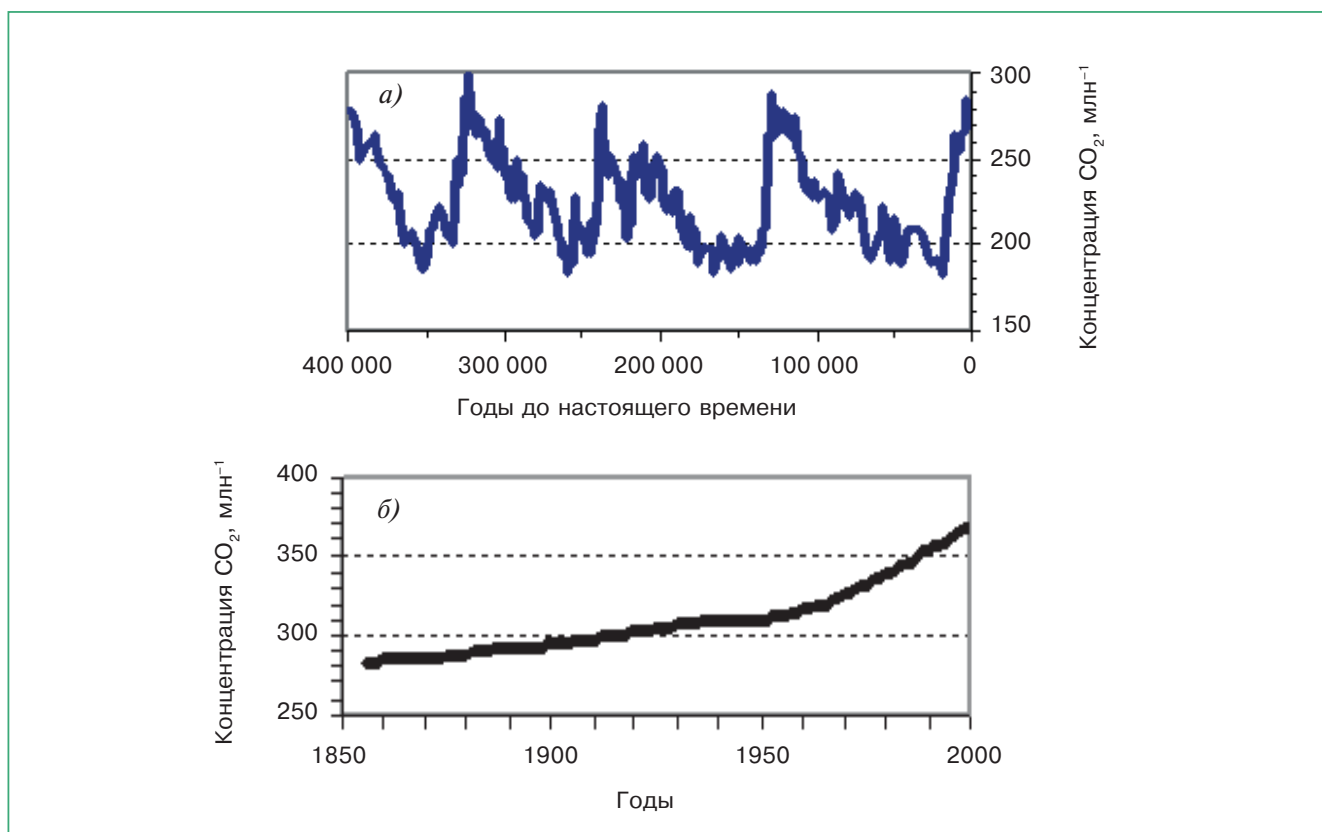


Рис. 1.2. Концентрация CO₂, млн⁻¹: а) исторические данные со станции Восток, Антарктида (Barnola et al., 2003); б) среднегодовые значения в приповерхностном слое на станции Мауна-Лоа: за 1959–2000 гг. — данные инструментальных измерений (Keeling and Worf, 2004), а до 1959 г. — корреляционная реконструкция (Семенов, 2004) по результатам измерений концентрации в ледовых ядрах на станции Лоу Доум по данным (Etheridge et al., 1998).

- распределение воздействий;
- глобальные агрегированные воздействия;
- широкомасштабные нарушения.

Изменения климата в XXI веке и в более отдаленной перспективе, ожидаемые в условиях сохранения и (или) увеличения современного объема антропогенной эмиссии парниковых газов в атмосферу, могут привести к неприемлемым рискам и опасности, связанным с объектами или же процессами этих пяти категорий.

Реакции систем на изменение климата: чувствительность, адаптационная способность, уязвимость и риск

В данном разделе поясняется ряд основных понятий и терминов, относящихся к воздействию изменения климата на природные системы и возобновляемые ресурсы. Выделены определения, используемые МГЭИК (Climate Change 2001, 2001b, pp. 982–996).

Чувствительность — степень, которой система может быть затронута (благоприятным или же неблагоприятным образом) воздействием, связанным с изменением климата. Эффект может быть прямым (например, изменение урожая сельскохозяйственных растений вследствие изменения средних или же диапазона значений температуры, или же ее изменчивости) или косвенным (например, изменение ущерба из-за увеличения частоты наводнений вследствие подъема уровня моря).

Адаптационная способность — способность систем к приспособлению к изменению климата (включая его изменчивость и экстремальные явления), ведущему к уменьшению потенциального ущерба, использованию благоприятных возможностей или же к преодолению последствий.

1. ВВЕДЕНИЕ

В литературе встречаются следующие ассоциированные с адаптацией термины:

- предупреждающие адаптации (происходящие до того, как воздействие начинает проявляться);
- реактивные адаптации (происходящие после того, как воздействие проявилось);
- автономные адаптации (являющиеся не следствием осознанного ответного действия людей, а лишь естественной реакцией систем);
- планируемые адаптации (результат принятия людьми осознанных ответных мер);
- частные адаптации (предпринимаемые на индивидуальном уровне и соответствующие частным целям);
- общественные адаптации (предпринимаемые на уровне общества и соответствующие общественным целям).

Уязвимость характеризует ту степень, в которой система чувствительна к изменению климата и не в состоянии справиться с неблагоприятными воздействиями меняющегося климата (включая его изменчивость и экстремальные явления). Уязвимость системы зависит от типа, величины и скорости климатических изменений, в условиях которых находится система, ее чувствительности и адаптационной способности.

Взаимоотношение категорий чувствительности, адаптационной способности и уязвимости можно выразить следующей символической формулой:

$$\text{УЯЗВИМОСТЬ} = \frac{\text{ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ}}{\text{АДАПТАЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ}} .$$

Уязвимость тем больше, чем больше чувствительность при заданной адаптационной способности, а увеличение последней при заданной чувствительности уменьшает уязвимость.

Риск — категория, исходно употреблявшаяся в анализе экономических и политических решений в следующем смысле: если известны вероятности $f(X_n)$ событий X_1, X_2, \dots, X_N (полная система событий — сумма вероятностей равна 1), а также денежные оценки ущерба $D(X_n)$, возникающего при каждом событии (отрицательные значения ущерба соответствуют выигрышу!), то риск $R(X_n)$ при каждом событии X_n измеряется произведением $R(X_n) = D(X_n) f(X_n)$.

Этот подход к оценке рисков — risk assessment (Morgan and Henrion, 1990) — давно вышел за границы экономики и широко употребляется в прикладных разделах других наук, в том числе климатологии и экологии (Moss and Schneider, 2000). При этом ущерб измеряется редко в денежных единицах, а чаще — в натуральных или же условных. Рисунок 1.3 иллюстрирует определение по-

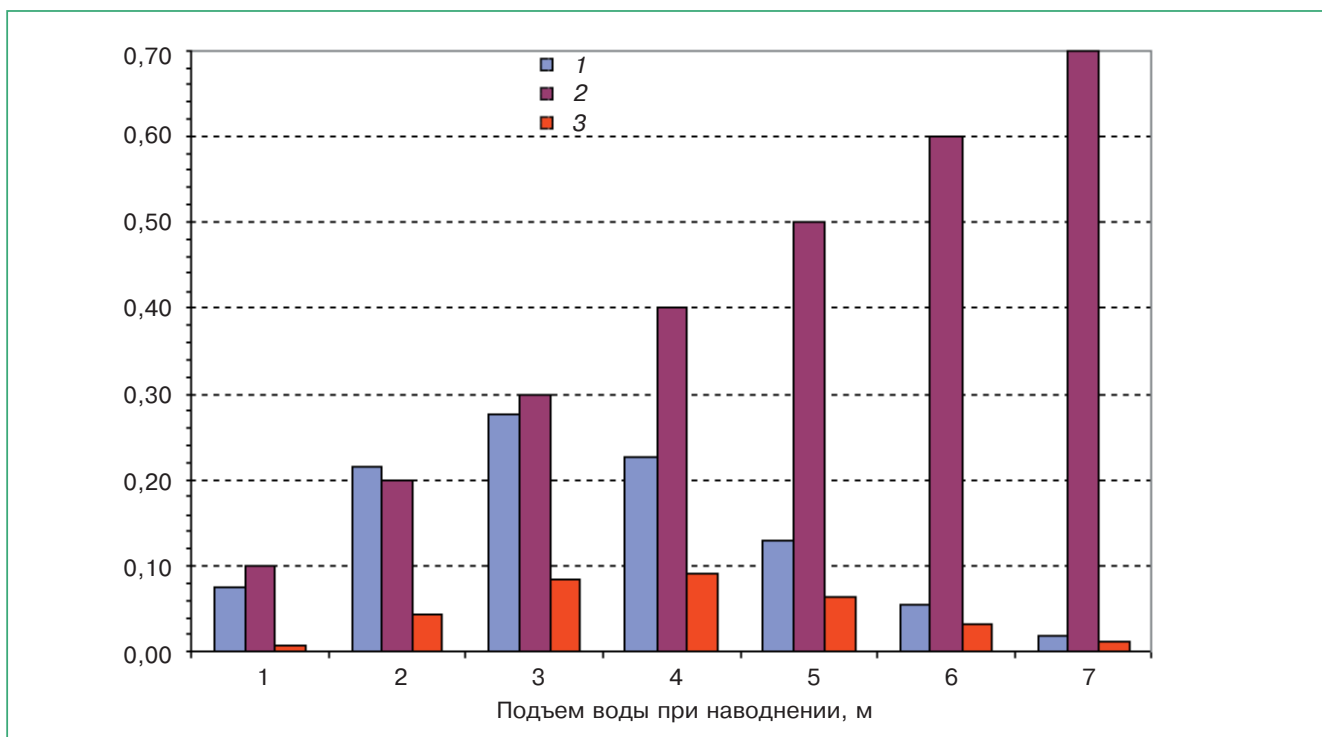


Рис. 1.3. Иллюстрация понятий вероятности (1) нежелательного события, ущерба (2) и риска (3).

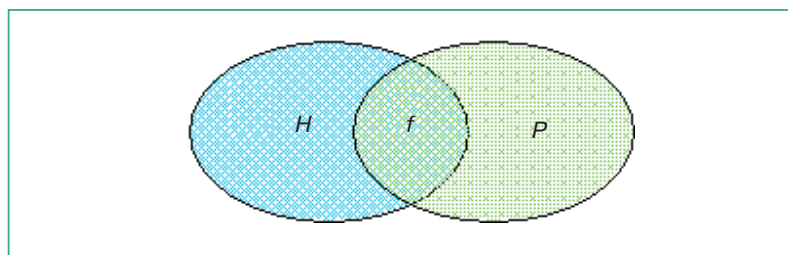


Рис. 1.4. Ущерб возникает (вероятность f), когда произошло нежелательное событие (вероятность H) и реципиент подвергся воздействию (вероятность P): $f = HP$.

нятие риска для примера подъема воды в реке: ущерб (в условных единицах) растет линейно, но вероятности различных уровней таковы, что риск максимален при подъеме воды на 4 м.

Часто в простейшем случае рассматриваются всего два исхода: X_1 — нежелательное событие не произошло, а X_2 — произошло. В первом случае $D(X_1) = 0$, а во втором $f(X_2)$ — вероятность нежелательного события, $D(X_2)$ — возникающий ущерб, а $R(X_2) = D(X_2) f(X_2)$ — риск, связанный с наступлением нежелательного события. Если ущерб измеряется в условных единицах, то, если принять за единицу ущерб, возникающий при реализации нежелательного события, числовое значение риска в этом примере с двумя исходами совпадает с вероятностью этого нежелательного события.

Вероятность f , в свою очередь, может быть представлена в виде произведения вероятности возникновения нежелательного события H и вероятности P возникновения его воздействия на реципиента при условии, что событие (например, наводнение) произошло. Последнее можно пояснить следующим рисунком (рис. 1.4).

Для случая наводнения и разлива реки H — вероятность этого события, а P — доля населения, проживающего в данной местности на подтопляемых землях.

Значения как H , так и P могут зависеть от мер адаптации. Так, в примере с наводнением H в определенной степени зависит от состояния местных защитных гидротехнических сооружений, а P — от степени индивидуальной защищенности людей, в частности от выбора места для строительства жилища.

Употребление денежного выражения ущерба в оценках риска неуместно в тех случаях, когда речь идет о потере человеческих жизней (исключая аспекты страховых выплат), ущербе уникальным природным системам и глобальным климатообразующим системам.

Методически целесообразно различать первичные и вторичные риски. Например, в результате устойчивой летней засухи возникает первичный риск для урожая сельскохозяйственных культур, а

также вторичный риск, связанный с пожароопасностью.

Следует отметить, что понятие риск еще не совсем устоялось в прикладных исследованиях и иногда употребляется в разных смыслах. Дискуссию на эту тему можно найти в (Lackey, 1997).

Возобновляемые ресурсы и природные системы России, приоритетные для оценки последствий изменения климата

Базовая концепция предельно допустимых уровней изменения климата для биосферы Земли была выдвинута и развита в работах (Израэль, 1979; Izrael, 1983; Израэль, 2004). Выполнение прикладных оценок последствий изменения климата в аспекте их допустимости было предложено основывать на реакциях ключевых уязвимых элементов (key vulnerabilities) климатической и социально-экономической систем (Patwardhan et al., 2003). Такие элементы обладают следующими свойствами: высокая чувствительность к изменению климата, ограниченная адаптационная способность и важность для процесса принятия решений в области регулирования антропогенного воздействия на климат.

Изменения климата влияют на все стороны жизни человека, в том числе на его здоровье, хозяйственную деятельность и качество окружающей среды — на все то, что составляет благосостояние человека (HWB — Human Well Being). Поскольку выполнение оценок требует масштабных исследований и работы сетей мониторинга, для чего необходимы соответствующие ресурсы, возникает вопрос о приоритетности тех систем, для которых такие оценки будут выполняться. Если в глобальном масштабе следует уделять внимание прежде всего последствиям изменения климата для самой климатической системы — океаническим течениям, полярным ледовым щитам, глобальным биогеохимическим циклам, то при анализе на национальном уровне это составляет лишь определенную, хотя и существенную, часть проблемы. Здесь при-

1. ВВЕДЕНИЕ

оритеты смещаются ближе к аспектам благосостояния человека, к задачам устойчивого развития стран. В связи с этим на национальном уровне целесообразно в большей степени фокусировать внимание на широко признаваемых важными и “измеряемых” компонентах НВБ. Ими являются WENAB — Water, Energy, Health, Agriculture, Biodiversity, т. е. вода, энергия, здоровье (человека), сельское хозяйство и биоразнообразие. Концепция WENAB была представлена на Всемирном саммите по устойчивому развитию в Йоханнесбурге в 2002 г., где получила широкую поддержку.

Для рассмотрения и оценки климатогенных изменений в данном докладе была выбрана совокупность конкретных природных и социально-экономических систем — компонентов WENAB, подвергшихся в XX веке или же могущих подвергнуться в XXI веке заметному воздействию изменения климата. При выборе в качестве критериев была использована реализовавшаяся или же потенциальная возможность климатогенных изменений этих систем повлиять на следующее:

- 1) гидрометеорологическая безопасность;
- 2) условия проживания и здоровье населения;
- 3) хозяйственная инфраструктура;
- 4) ресурсы;
- 5) функционирование и биоразнообразие природных экосистем;
- 6) климатообразующие и биосферные функции природных систем.

Если критерии 1–5 непосредственно ассоциируются с компонентами WENAB, то критерий 6 способствует выявлению существенных обратных связей — того, как изменение климата, произошедшее или могущее произойти на территории страны, способно повлиять на глобальную климатическую систему Земли (например, изменение альbedo земной поверхности вследствие смещения границ растительных зон или же изменение потока диоксида углерода и метана с территорий, где происходит или ожидается изменение термического режима многолетней мерзлоты).

В табл. 1.1 приведены разные объекты и процессы в природных и социально-экономических системах, которые были отобраны для рассмотрения в данном докладе, исходя из приведенных выше критериев, а также некоторые их характеристики в отношении возможных адаптаций.

Все объекты и процессы, представленные в левом столбце табл. 1.1, чувствительны к изменению климата. Со всеми этими объектами при изменении климата связаны определенные риски для здоровья населения, хозяйственной деятельности и природного комплекса. Однако характер возможных адаптаций и адаптационная способность при этом весьма различаются, что отмечено в двух правых столбцах табл. 1.1. Если типы ос-

новных возможных адаптаций предопределены логически природой рассматриваемых объектов и процессов, то адаптационная способность — результат экспертной оценки, подлежащей уточнению в дальнейших разделах данного доклада. Здесь же предварительная оценка выполнена исходя из следующих критериев:

— для тех объектов и процессов, состояние которых человек или природные механизмы способны поддерживать в абсолютной степени при фактических и ожидаемых изменениях климата, адаптационная способность считается высокой;

— для тех объектов и процессов, состояние которых человек или природные механизмы способны обеспечить не полностью, но в значительной степени при фактических и ожидаемых изменениях климата, адаптационная способность считается средней;

— для тех объектов и процессов, на состояние которых в условиях меняющегося климата человек способен оказывать влияние лишь в малой степени, а природные механизмы недостаточно эффективны, адаптационная способность считается низкой.

Функционирование технических хозяйственных объектов (технические сооружения, транспорт и т. д.) может поддерживаться человеком в условиях меняющегося климата пусть даже ценой значительных затрат. Однако мы не сможем даже при значительных затратах абсолютно исключить возможности климатозависимых инфекционных заболеваний, гарантировать высокие урожаи в сельском хозяйстве и изобилие водных ресурсов, легкие условия хозяйствования в прибрежных зонах морей. В этих процессах есть не совсем управляемые человеком физические и биологические компоненты и поэтому адаптационная способность оценивается как средняя. Что касается природных систем, то типично экологические имеют среднюю адаптационную способность (там есть компенсирующие процессы — замещение одних видов другими в условиях меняющегося климата, например), а физические системы — низкую.

Структура данного доклада

В данном докладе рассматриваются последствия изменения климата для тех приоритетных объектов (систем, секторов хозяйства) и процессов, которые перечислены в табл. 1.1. Часть 2 посвящена тем последствиям, которые наступили в XX веке, а часть 3 — ожидаемым в XXI веке. В начало каждой части помещены методические главы (2.1 и 3.1 соответственно). Там кратко описываются источники данных и методы оценки

Таблица 1.1. Объекты и процессы, выбранные для оценки климатогенных изменений

Объект, процесс	Причина выбора по критериям 1–6	Характер основных возможных адаптаций	Адаптационная способность
Технические системы (здания, сооружения, сухопутный транспорт)	Хозяйственная инфраструктура. Условия проживания и труда населения	Предупреждающие, планируемые, общественные и частные. Реактивные общественные и частные	Высокая
Здоровье населения (последствия термического стресса и климатозависимых инфекций)	Здоровье населения	То же	Средняя
Водные ресурсы	Ресурсы (обеспечение водными ресурсами населения, промышленного производства и сельского хозяйства)	Предупреждающие, планируемые, общественные. Реактивные общественные	Средняя
Сельское хозяйство	Ресурсы (продовольственное обеспечение населения страны и экспорт продовольствия)	Предупреждающие, планируемые, общественные и частные. Реактивные общественные и частные	Средняя
Лесные пожары	Ресурсы (состояние лесных ресурсов). Климатообразующая и биосферная функции (эмиссия парниковых газов с территории страны). Функционирование и биоразнообразие природных экосистем	Предупреждающие, планируемые, общественные и частные	Низкая
Природные экосистемы	Функционирование и биоразнообразие природных экосистем	Реактивные автономные	Средняя
Многолетняя мерзлота и оледенение (физические системы)	Климатообразующая и биосферная функции	Реактивные автономные	Низкая
Приграничные моря и береговые зоны	Ресурсы. Хозяйственная инфраструктура и условия проживания и труда населения (в том числе морская деятельность)	Предупреждающие, планируемые, общественные и частные. Реактивные общественные и частные	Средняя
Последствия экстремальных метеорологических явлений	Гидрометеорологическая безопасность	Предупреждающие, планируемые, общественные и частные	Средняя

1. ВВЕДЕНИЕ

климатогенных изменений. Каждая из глав имеет автономные список литературы и нумерацию таблиц и рисунков (например, рис. 2.4.1 — 1-й рисунок в главе 2.4, а табл. 2.3.2 — 2-я таблица в главе 2.3). В заключительной части настоящего доклада обсуждаются вопросы критериев допустимости изменений климата, а также необходимые дальнейшие исследования.

Литература

- Анисимов О. А., Лобанов В. А., Ренева С. А., 2007.** Анализ изменений температуры воздуха на территории России и эмпирический прогноз на первую четверть XXI века, *Метеорология и гидрология*, № 10, с. 20–30.
- Бедрицкий А. И., Коршунов А. А., Хандожко Л. А., Шаймарданов М. З., 2004.** Климатическая система и обеспечение гидрометеорологической безопасности жизнедеятельности России, *Труды Всемирной конференции по изменению климата. Москва, 29 сентября — 3 октября 2003 г.*, М., Новости, с. 402–409.
- Будыко М. И., 1972.** Влияние человека на климат, Л., Гидрометеиздат, 47 с.
- Будыко М. И., 1997.** Проблема углекислого газа, Л., Гидрометеиздат, 60 с.
- Будыко М. И., Израэль Ю. А. (ред.), 1987.** Антропогенные изменения климата, Л., Гидрометеиздат.
- Будыко М. И., Израэль Ю. А., Яншин А. Л., 1992.** Глобальное потепление и его последствия, *Метеорология и гидрология*, № 12, с. 5–10.
- Возможности предотвращения изменения климата и его негативных последствий. Проблема Киотского протокола. Материалы Совета-семинара при Президенте РАН, 2006.** М., Наука, 408 с.
- Глобальные изменения климата и их последствия для России, 2002.** М., РООУПП, 468 с.
- Груза Г. В., Ранькова Э. Я., 1980.** Структура и изменчивость наблюдаемого климата. Температура воздуха Северного полушария, Л., Гидрометеиздат, 71 с.
- Груза Г. В., Ранькова Э. Я., 2003.** Колебания и изменения климата на территории России, *Известия РАН. Физика атмосферы и океана*, т. 39, № 2, с. 1–20.
- Груза Г. В., Ранькова Э. Я., 2006а.** Наблюдаемые изменения современного климата, в кн.: *Возможности предотвращения изменения климата и его негативных последствий. Проблема Киотского протокола. Материалы Совета-семинара при Президенте РАН*, М., Наука, с. 59–73.
- Груза Г. В., Ранькова Э. Я., Аристова Л. Н., Клещенко Л. К., 2006.** О неопределенности некоторых сценарных климатических прогнозов температуры воздуха и осадков на территории России, *Метеорология и гидрология*, № 10, с. 5–23.
- Демченко П. Ф., Величко А. А., Голицын Г. С., Елисеев А. В., Нечаев В. П., 2001.** Судьба вечной мерзлоты: взгляд из прошлого в будущее, *Природа*, № 11, с. 43–49.
- Дымников В. П., Володин Е. М., Галин В. Я., Глазунов А. В., Грицун А. С., Дианский Н. А., Лыкозов В. Н., 2004.** Чувствительность климатической системы к малым внешним воздействиям, *Метеорология и гидрология*, № 4, с. 77–93.
- Заварзин Г. А., 2001.** Роль биоты в глобальных изменениях климата, *Физиология растений*, т. 48, № 2, с. 306–314.
- Израэль Ю. А., 1979.** Экология и контроль состояния природной среды, Л., Гидрометеиздат, 375 с.
- Израэль Ю. А., 2004.** О концепции опасного антропогенного воздействия на климатическую систему и возможностях биосферы, *Метеорология и гидрология*, № 4, с. 30–37.
- Израэль Ю. А., 2005.** Эффективные пути сохранения климата на современном уровне — основная цель решения климатической проблемы, *Метеорология и гидрология*, № 10, с. 5–9.
- Израэль Ю. А., Семенов С. М., 2003.** Пример вычисления критических границ содержания парниковых газов в атмосфере с помощью минимальной имитационной модели парникового эффекта, *Доклады РАН*, т. 390, № 4, с. 533–536.
- Израэль Ю. А., Семенов С. М., 2005.** Расчет изменения концентрации CO₂ в атмосфере для некоторых стабилизационных сценариев глобальной эмиссии с помощью модели минимальной сложности, *Метеорология и гидрология*, № 1, с. 5–13.
- Исаев А. С., Коровин Г. Н., 1999.** Углерод в лесах Северной Евразии, в кн.: *Круговорот углерода на территории России*, М., с. 63–95.
- Исаев А. С., Коровин Г. Н., Сухих В. И., Титов С. П., Уткин А. И., Голуб А. А., Замолодчиков Д. Г., Пряжников А. А., 1995.** Экологические проблемы поглощения углекислого газа посредством лесовосстановления и лесоразведения в России, М., Центр экологической политики России, 155 с.
- Кондратьев К. Я., 2004а.** Приоритеты глобальной климатологии, *Известия Русского географического общества*, вып. 2, с. 1–25.
- Кондратьев К. Я., 2004б.** Изменения глобального климата: нерешенные проблемы, *Метеорология и гидрология*, № 6, с. 118–128.
- Марчук Г. И., 2004.** О некоторых проблемах моделирования климата и его изменений, *Метеорология и гидрология*, № 4, с. 23–29.

- Мелешко В. П., Голицын Г. С., Говоркова В. А., Демченко П. Ф., Елисеев А. В., Катцов В. М., Малевский-Малевич С. П., Мохов И. И., Надежина Е. Д., Семенов В. А., Спорышев П. В., Хон В. Ч., 2004.** Возможные антропогенные изменения климата России в XXI веке: оценки по ансамблю климатических моделей, *Метеорология и гидрология*, № 4, с. 38–50.
- Мирвис В. М., 1999.** Оценка изменений температуры воздуха на территории России за последнее столетие, в сб.: *Современные исследования Главной геофизической обсерватории. Юбилейный сборник*, т. 1, СПб, Гидрометеоиздат, с. 220–235.
- Монин А. С., Сонечкин Д. М., 2005.** Колебания климата по данным наблюдений: тройной солнечный и другие циклы, М., Наука, 191 с.
- Семенов С. М., 2004.** Парниковые газы и современный климат Земли, М., Метеорология и гидрология, 175 с.
- Семенов С. М., Ясюкевич В. В., Гельвер Е. С., 2006.** Выявление климатогенных изменений, М., Метеорология и гидрология, 235 с.
- Труды Всемирной конференции по изменению климата, 2004.** Москва, 29 сентября — 3 октября 2003 г., М., Новости, 620 с.
- Arrhenius S., 1896.** On the influence of carbonic acid in the air upon the temperature of the ground, *Phil. Mag.*, vol. 41, pp. 237–276.
- Barnola J. M., Raynaud D., Lorius C., and Barkov N. I., 2003.** Historical CO₂ record from the Vostok ice core, in: *Trends: A Compendium of Data on Global Change*, Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., USA, <http://cdiac.esd.ornl.gov/>.
- Climate Change 2001, 2001.** Synthesis Report. Contributions of Working Group I, II and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change, Watson R. T. and the Core Writing Team (eds.), Cambridge University Press, 397 p.
- Climate Change 2001, 2001a.** The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change, Houghton J. T., Ding Y., Griggs D. J., Noguer M., van der Linden P. J., Dai X., Maskell K., and Johnson C. A. (eds.), Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, Cambridge University Press, 881 p.
- Climate Change 2001, 2001b.** Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change, McCarthy J. J., Canziani O. F., Leary N. A., et al. (eds.), Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, Cambridge University Press, 1032 p.
- Climate Change 2001, 2001c.** Mitigation. Contribution of Working Group III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change, Metz B., Davidson O., Swart R., et al. (eds.), Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, Cambridge University Press, 752 p.
- Climate Change 2007, 2007a.** The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Solomon S. D., Qin M., Manning Z., Chen M., Marquis K. B., Averyt M., Tignor M., and Miller H. L. (eds.), Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, Cambridge University Press, 996 p.
- Climate Change 2007, 2007b.** Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Parry M. L., Canziani O. F., Palutikof J. P., van der Linden P. J., and Hanson C. E. (eds.), Cambridge, UK, Cambridge University Press, 976 p.
- Climate Change 2007, 2007c.** Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Metz B., Davidson O. R., Bosch P. R., Dave R., and Meyer L. A. (eds.), Cambridge United Kingdom and New York, NY, USA, Cambridge University Press, 841 p.
- Crutzen P. J., 2006.** Albedo enhancement by stratospheric sulfur injections: A contribution to resolve a policy dilemma?, *Climatic Change*, vol. 77, pp. 211–220.
- Etheridge D. M., Steele L. P., Langenfelds R. L., Francey R. J., Barnola J.-M., and Morgan V. I., 1998.** Historical CO₂ records from the Law Dome DE08, DE08-2, and DSS ice cores, in: *Trends: A Compendium of Data on Global Change*. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., USA, <http://cdiac.esd.ornl.gov/>.
- Izrael Yu. A., 1983.** Ecology and Control of the Natural Environment, Kluwer, 400 p.
- Izrael Yu. A. and Semenov S. M., 2006.** Critical levels of greenhouse gases, stabilization scenarios, and implications for the global decisions, in: *Avoiding Dangerous Climate Change*, Schellnhuber H. J., Cramer W., Nakicénović N., Wigley T., and Yohe G. (eds.), Cambridge University Press, pp. 73–79.
- Jouzel J., Lorius C., Petit J. R., Genthon C., Barkov N. I., Kotlyakov V. M., and Petrov V. M., 1987.** Vostok ice core: A continuous isotope temperature record over the last climatic cycle (160,000 years), *Nature*, vol. 329, pp. 403–408.
- Jouzel J., Barkov N. I., Barnola J. M., Bender M., Chappellaz J., Genthon C., Kotlyakov V. M., Lipenkov V., Lorius C., Petit J. R., Raynaud D.,**

1. ВВЕДЕНИЕ

- Raisbeck G., Ritz C., Sowers T., Stievenard M., Yiou F., and Yiou P., 1993.** Extending the Vostok ice-core record of palaeoclimate to the penultimate glacial period, *Nature*, vol. 364, pp. 407–412.
- Jouzel J., Waelbroeck C., Malaize B., Bender M., Petit J. R., Stievenard M., Barkov N. I., Barnola J. M., King T., Kotlyakov V. M., Lipenkov V., Lorius C., Raynaud D., Ritz C., and Sowers T., 1996.** Climatic interpretation of the recently extended Vostok ice records, *Climate Dynamics*, vol. 12, pp. 513–521.
- Keeling C. D. and Whorf T. P., 2004.** Atmospheric CO₂ records from sites in the SIO air sampling network, in: *Trends: A Compendium of Data on Global Change*, Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., USA, <http://cdiac.esd.ornl.gov/>.
- Lackey R. T., 1997.** Ecological risk assessment: Use, abuse, and alternatives, *Environmental Management*, vol. 21, No. 6, pp. 808–812.
- Morgan M. G. and Henrion M., 1990.** *Uncertainty: A Guide to Dealing with Uncertainty in Quantitative Risk and Policy Analysis*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Mokhov I. I., Bezverkhny V. A., and Karpenko A. A., 2005.** Diagnosis of relative variations in atmospheric greenhouse gas contents and temperature from Vostok Antarctic ice-core paleoreconstructions, *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, vol. 41, No. 5, pp. 523–536.
- Mokhov I. I., Chernokulsky A. V., and Shkolnik I. M., 2006.** Regional model assessments of fire risks under global climate changes. ISSN 1028-334X, *Doklady Earth Sciences*, 2006, vol. 411A, No. 9, pp. 1485–1488. © Pleiades Publishing, Inc., 2006. Original Russian Text © I. I. Mokhov, A. V. Chernokulsky, I. M. Shkolnik, published in *Doklady Akademii Nauk*, vol. 411, No. 6, pp. 808–811.
- Moss R. H. and Schneider S. H., 2000.** Uncertainties in the IPCC TAR: Recommendations to lead authors for more consistent assessment and reporting, in: *Guidance Papers on the Cross Cutting Issues of the Third Assessment Report of the IPCC*, Pachauri R., Taniguchi T., and Tanaka K. (eds.), World Meteorological Organization, Geneva, pp. 33–51.
- Patwardhan A., Schneider S. H., and Semenov S. M., 2003.** Assessing the Science to Address UNFCCC Article 2: A Concept Paper Relating to Cross Cutting Theme Number Four, IPCC, <http://www/ipcc.ch/>.
- Petit J. R., Jouzel J., Raynaud D., Barkov N. I., Barnola J.-M., Basile I., Bender M., Chappellaz J., Davis M., Delaygue G., Delmotte M., Kotlyakov V. M., Legrand M., Lipenkov V. Y., Lorius C., Pepin L., Ritz C., Saltzman E., and Stievenard M., 1999.** Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica, *Nature*, vol. 399, pp. 429–436.
- Petit J. R., Raynaud D., Lorius C., Jouzel J., Delaygue G., Barkov N. I., and Kotlyakov V. M., 2000.** Historical isotopic temperature record from the Vostok ice core, in: *Trends: A Compendium of Data on Global Change*, Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., USA, <http://cdiac.esd.ornl.gov/>.
- Russian National Report, 2007.** *Meteorology and Atmospheric Sciences. 2003–2006*, Mokhov I. I. and Krivolutsky A. A. (eds.), M., MAX Press, 180 p. (Национальный отчет России по метеорологии и атмосферным наукам за 2003–2006 гг. к XXIV Генеральной Ассамблее Международного союза геодезии и геофизики (г. Перуджа, Италия, 2–13 июля 2007 г.), под ред. И. И. Мохова, А. А. Кривошукского, М., МАКС Пресс, 180 с.).
- Tyndall I., 1861.** On the absorption and radiation of heat by gases and vapours and on the physical connection of radiation absorption and conduction, *Phil. Mag.*, vol. 22, No. 144.
- Wigley T. M. L., 2006.** A combined mitigation, geoengineering approach to climate stabilization, *Science*, vol. 314, pp. 452–454.

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ И ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ В XX ВЕКЕ, СВЯЗАННЫЕ С ИЗМЕНЕНИЕМ КЛИМАТА

2.1. ИСТОЧНИКИ ФАКТИЧЕСКИХ ДАННЫХ И МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ПОСЛЕДСТВИЙ НАБЛЮДАЕМЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА

Ведущие авторы: Ю. А. Израэль, Г. Э. Инсаров

Авторы: М. Д. Ананичева, О. А. Анисимов, Ю. А. Анохин, Л. И. Болтнева, Е. А. Ваганов, И. Г. Грингоф, А. Н. Золотокрылин, Н. В. Кобышева, А. Г. Костяной, П. А. Колосов, А. Н. Кренке, П. М. Лурье, А. А. Минин, В. В. Оганесян, Б. А. Ревич, В. А. Семенов, О. Д. Сиротенко, Ф. С. Терзиев, Б. Г. Шерстюков, И. А. Шикломанов, В. В. Ясюкевич

Редактор-рецензент: Г. В. Груза

2.1.1. Общая характеристика

Для оценок последствий произошедших изменений климата используются как данные о состоянии собственно объектов воздействия, так и данные об изменениях климата. На территории России источниками таких данных являются действующие системы мониторинга разной ведомственной принадлежности и специальные программы наблюдений и измерений, выполняемые в рамках научных проектов.

Систематические наблюдения за климатической системой включают, в частности, метеорологические, гидрологические и океанографические наблюдения, а также наблюдения за состоянием континентальной многолетней мерзлоты и морских льдов. Научно-методическая поддержка работы сетей мониторинга осуществляется научными учреждениями Росгидромета:

— Институтом глобального климата и экологии Росгидромета и РАН (ИГКЭ);

— Главной геофизической обсерваторией им. А. И. Воейкова (ГГО);

— Арктическим и антарктическим научно-исследовательским институтом (ААНИИ);

— Всероссийским научно-исследовательским институтом гидрометеорологической информации — Мировым центром данных (ВНИИГМИ-МЦД);

— Гидрометеорологическим научно-исследовательским центром Российской Федерации (Гидрометцентр России);

— Центральной аэрологической обсерваторией (ЦАО);

— Государственным гидрологическим институтом (ГГИ);

— Государственным океанографическим институтом (ГОИН);

— Научно-исследовательским центром космической гидрометеорологии “Планета”.

Многие институты РАН участвуют в осуществлении мониторинга и в исследованиях изменений климата и их последствий — Институт географии РАН (ИГ РАН), Институт физики атмосферы им. А. М. Обухова РАН (ИФА РАН), Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН (ИО РАН), Институт вычислительной математики РАН (ИВМ РАН) и ряд других.

Систематические измерения значений метеорологических величин выполняются на сети гидрометеорологических станций (ГМС) Росгидромета. Сбор результатов наблюдений, их контроль, архивирование и хранение осуществляются во ВНИИГМИ-МЦД Росгидромета (<http://www.meteo.ru/>), причем в этой работе участвуют также и другие научно-исследовательские институты Росгидромета, в частности, ИГКЭ и ГГО. Для разных групп станций созданы доступ-

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

ные для пользователей архивы данных с месячным и суточным разрешением по времени.

Регулярные данные о текущих изменениях климата собираются в ИГКЭ совместно с ВНИИГМИ-МЦД, Гидрометцентром России, ГГО, ААНИИ для осуществления мониторинга климата в квазиреальном времени. Регулярно готовятся и размещаются на сайте ИГКЭ (<http://climatechange.ru>) сезонные и годовые бюллетени, на сайте ВНИИГМИ-МЦД (<http://www.meteo.ru>) отчеты, анализы и массивы данных. Доклад о климатических особенностях прошедшего года регулярно публикуется на сайте Росгидромета (<http://meteorf.ru>) в начале следующего года.

Сетевые гидрологические наблюдения осуществляются на гидропостах на большинстве крупных и средних рек страны. База гидрологических данных организована и поддерживается в ГГИ.

Необходимость проведения океанографических наблюдений и экологического мониторинга океанов связана с тем, что океаны и моря, занимая 2/3 площади земной поверхности, играют огромную роль в глобальной климатической системе и, тем самым, в формировании климата Земли, а также являются источником биоресурсов и резервуаром биоразнообразия. Океанографические наблюдения на береговых и островных станциях включают в себя измерения уровня моря и температуры его поверхности. База данных создана и поддерживается в ГОИН. Гидробиологический мониторинг на морях России осуществляется в ходе морских экспедиций под методическим руководством ИГКЭ как важнейшая часть экологического мониторинга морей и океанов. Главной целью этого направления является изучение структурных и функциональных изменений в морских экосистемах, подверженных как прямому антропогенному воздействию (загрязнение, изъятие биоресурсов), так и воздействию меняющегося климата. В ААНИИ создана обобщенная база данных о состоянии акватории Северного Ледовитого океана (температура, соленость, плотность морской воды, гидрохимические характеристики, площадь льдов и их толщина и т. д.). База пополняется текущими результатами измерений, выполняемых научно-исследовательскими судами и полярными станциями (как стационарными, так и дрейфующими). Эти работы проводятся и координируются ААНИИ.

В Институте океанологии им. П. П. Ширшова РАН осуществляется комплекс научных исследований и систематических дистанционных наблюдений таких параметров состояния морей, как температура поверхности, уровень моря, плотность биомассы фитопланктона и ряда других. Информационной базой этой работы являются данные спутниковых измерений, получаемые в

рамках ряда национальных и международных программ с начала 1990-х годов.

В программе Всемирной службы мониторинга ледников принимают участие Институт географии РАН, Московский государственный университет, Томский государственный университет, Институт вулканологии РАН, Северо-Кавказское УГМС. Исследования ледников Арктики выполняются ААНИИ. Состояние континентальной многолетней мерзлоты в равнинной части страны систематически исследуется институтами СО РАН (Институт мерзлотоведения им. П. И. Мельникова и Институт биологических проблем криолитозоны), а также рядом других институтов. Основными наблюдаемыми показателями мониторинга криолитозоны являются температура почвогрунтов, глубина сезонного протаивания и их географическое распространение. Основные данные аккумулируются в Институте мерзлотоведения им. П. И. Мельникова, Институте биологических проблем криолитозоны СО РАН, ВНИИГМИ-МЦД и ИГКЭ.

В последнее время уделяется серьезное внимание последствиям экстремальных гидрометеорологических явлений. На территории России отмечается более 30 видов опасных экстремальных гидрометеорологических (метеорологических, агрометеорологических, гидрологических, морских гидрометеорологических) явлений. Опасные гидрометеорологические явления, которые характерны для территории России в холодный период, — сильные снегопады и метели, штормовые и даже ураганные ветры, сильные продолжительные морозы, гололедно-изморозевые явления, налипание мокрого снега, поздние весенние заморозки. В теплый период отмечаются сильные ливни, сопровождаемые грозами, градом и шквалистым усилением ветра. Весенние половодья, дождевые паводки и наводнения сопровождаются затоплением населенных пунктов, сельхозугодий. Для южных районов характерны сильные засухи, приводящие к резкому снижению урожайности сельскохозяйственных культур.

При оценках последствий экстремальных метеорологических явлений (например, наводнения) часто применяются статистические характеристики (X) их проявлений (например, уровень воды в водоеме, расход воды), т. е. свойства их вероятностного распределения в ряду многолетних значений. В том числе используются их нижние (x_q) и верхние (T_x) квантили — границы, за которые значение X выходит в долговременном ряду наблюдений с частотой q . Частота может измеряться в долях единицы или же в процентах. При обобщении и анализе информации об изменениях упомянутых выше параметров используются традиционные статистические методы, приемы прикладной статистики, а также ГИС-технологии для визуализации результатов оценок.

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

Данные о природных экосистемах, которые используются для оценок их климатогенных изменений, существенно беднее. Крупные наблюдательные сети существуют, пожалуй, лишь для фенологического и дендроклиматического мониторинга. Систематические наблюдения за популяциями растений и животных в государственных заповедниках (в настоящее время имеется более 100 заповедников, расположенных во всех климатических зонах России) также начинают использоваться для оценки влияния изменений климата на природные экосистемы.

Фенологические наблюдения (в СССР количество пунктов наблюдений на сети Географического общества превышало 4000) в настоящее время ведутся специалистами в заповедниках, ботанических садах и т. п., а также добровольцами. Предмет наблюдений — сроки наступления сезонных фаз развития у растений, животных, некоторых гидрометеорологических явлений. Эта работа сейчас осуществляется и координируется ИГКЭ с

участием Русского географического общества (Минин, 2002).

Дендроклиматические данные характеризуют территорию страны в целом (Ваганов и др., 1996); основной измеряемый показатель — радиальный прирост деревьев. Данные российских станций дендрохронологического мониторинга, характеризующие сотни географических пунктов, аккумулируются в основном в Институте леса им. В. Н. Сукачева Сибирского отделения РАН, Институте экологии растений и животных Уральского отделения РАН, в Институте географии РАН. Эти данные представляются также в международные банки дендроклиматических данных.

В остальном экологические данные, пригодные для анализа на предмет выявления климатогенных изменений, — обычно результаты работы специальных научно-исследовательских проектов. Они редко характеризуют территорию страны в целом, а чаще относятся к некоторому региону или конкретному природному объекту. В табл. 2.1.1 охарак-

Таблица 2.1.1. Некоторые объекты на территории России, фактические климатогенные изменения которых были выявлены, и методы оценки

Изучаемый объект	Исходная информация	Методология выявления климатогенных изменений биоты	Источник	Местонахождение базы данных
1	2	3	4	5
Границы географических (ландшафтно-климатических, растительных) зон				
Граница леса в бассейне р. Уса, северо-восток Европейской территории России	ГИС	Регрессионная модель	Virtanen et al., 2004	Институт биологии Коми Научного центра УрО РАН
Урочище Ары-Мас, бассейн р. Хатанга (самый северный в мире лес)	Результаты наземных исследований с 1969 г., материалы дистанционного зондирования	Анализ динамики классов лиственныхничников по сомкнутости крон и индекса ширины годичных колец в связи с температурой и осадками	Харук и др., 2002; Харук и др., 2006	Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН
Граница лес — тундра на Полярном Урале	Результаты наземных исследований с 1960 г., материалы дистанционного зондирования	Анализ динамики классов лиственныхничников по сомкнутости крон	Харук и др., 2002	Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, Институт экологии растений и животных УрО РАН

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

Продолжение таблицы 2.1.1

1	2	3	4	5
Засушливые земли в равнинной части Средней Азии и прилегающих регионов (включая Калмыкию и Астраханскую область)	Данные наблюдений Института географии РАН и результаты анализа публикаций (данные наземных и дистанционных наблюдений)	Предложен индикатор климатического опустынивания, основанный на запасах зеленой фитомассы и отражательной способности растительности, определяемой с помощью индекса NDVI (Myneni et al., 1995)	Золотокрылин, 2005	Институт географии РАН
Тундры и полярные пустыни Таймыра	Результаты оригинальных исследований и литературные данные (ряды данных многолетних наблюдений)	Наблюдения на зональном градиенте	Матвеева, 1998	Ботанический институт им. В. Л. Комарова РАН
Вертикальная поясность				
Граница лес — тундра в бассейне р. Сось (Полярный Урал)	Карты лесотундровых сообществ масштаба 1:100 000 за 1910, 1960 и 2000 гг.	Анализ распределения и соотношения площадей, занятых различными типами сообществ	Шиятов и др., 2005	Институт экологии растений и животных УрО РАН
Граница лес — тундра в Тылайско-Конжаковско-Серебрянском горном массиве (Северный Урал)	Описания, фотографии и карты 1956 и 2005 гг.	Количественные сопоставления и качественные сравнения	Kapralov et al., 2006	Институт экологии растений и животных УрО РАН
Динамика верхней границы леса на Полярном Урале	Материалы полевых работ	Анализ годовых колец деревьев	Mazera, 2005	Институт экологии растений и животных УрО РАН
Верхняя граница леса на г. Ирмель (Южный Урал)	Материалы полевых работ	Многофакторный дисперсионный анализ	Трубина, 2006	Институт экологии растений и животных УрО РАН

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

Продолжение таблицы 2.1.1

1	2	3	4	5
Видовое разнообразие				
Виды лесных растений Икатского хребта (Северное Прибайкалье)	280 геоботанических описаний	Классификация растительности по Браун-Бланке и анализ видового богатства и активности ценофлор	Аненхонов, Кривобоков, 2006	Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН
Видовое разнообразие растений в Сибири	База данных по климатическим параметрам Западной, Средней и Южной Сибири, совмещенная с ГИС	Методы ординации и регрессионный анализ	Парфенова и др., 2004	Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН
Центры видового разнообразия и соответствующие климатические параметры	ГИС, содержащая топографическую и климатическую информацию	Математическое моделирование, теория фракталов	Venevsky and Venevskaia, 2003, 2005	Институт физики атмосферы им. А. М. Обухова (С. В. Веневский)
Ареалы видов				
Граница ареала лиственницы на Енисейском кряже	Количество деревьев разных пород в верхнем ярусе и в подросте	Анализ соотношения деревьев различных пород в верхнем ярусе и в подросте вдоль трансект, направленных внутрь ареала лиственницы от его границы	Харук и др., 2005	Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН
Ареалы видов высших и низших растений	Карты распространения видов и координаты находок	Изменения карт распространения видов во времени	Многочисленные публикации Ботанического института им. В. Л. Комарова РАН, Института географии РАН, Института проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН	Ботанический институт им. В. Л. Комарова РАН, Институт географии РАН, БД FLORA (Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН, А. В. Кожаринов)

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.



Рис. 2.1.1. Концептуальная схема получения оценок произошедших климатогенных изменений в природных и хозяйственных системах, в состоянии здоровья населения.

теризованы некоторые из объектов наблюдений и методы получения оценок.

Методы получения оценок последствий изменений климата в XX веке для природных и хозяйственных систем, для здоровья населения обсуждаются в разделах 2.1.2–2.1.10. Эти разделы не представляют методологию выявления климатогенных изменений вообще, а кратко характеризуют лишь тот круг методов, которые применялись для получения оценок, содержащихся в данном докладе. В заключение этого раздела приведем общую блок-схему, характеризующую эти методы, — см. рис. 2.1.1.

2.1.2. Состояние зданий и сооружений, отопительный период, транспорт

Долговечность зданий и сооружений зависит от базовых характеристик, заложенных при проектировании, а также от порядка эксплуатации. Их тепловой режим определяется теплозащитой, системами отопления, вентиляции и кондиционирования, а также теплоснабжением. Одним из важных факторов, влияющим на состояние и тепловой режим, является климат. Изменение климата приводит к изменениям нагрузок гидрометеорологических факторов на здания и сооружения, а также к изменению потребления энергии для целей их обогрева или же охлаждения.

При оценке влияния климата на состояние зданий и сооружений основными параметрами, принимаемыми в расчеты, являются (Kobysheva, 1992):

- а) квантили:
 - средней температуры воздуха наиболее холодной пятидневки;
 - наиболее холодных суток (на юге страны — еще и наиболее жарких суток);
 - некоторых срочных значений температуры воздуха;
- б) характеристики отопительного периода (ОП):
 - продолжительность ОП;
 - средняя температура.

Началом отопительного периода считается дата устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха через значение 8°C осенью, а окончанием периода — дата устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха через значение 8°C весной (Хандожко, 1981). Переход считается устойчивым, если соответствующее явление наблюдается не только в те сутки, когда переход произошел, но и в течение 5 последующих суток и более. При расчете продолжительности отопительного периода сутки осеннего перехода учитываются, а весеннего — нет.

Затраты энергии на обогрев помещений зимой и охлаждение летом количественно оцениваются обычно с помощью индекса потребления топлива (ИП). Он позволяет, в частности, сопостав-

лять затраты на создание комфортных условий в помещениях в зависимости от условий погоды. Индекс потребления топлива вычисляется для заданного периода календарного года (например, для какого-либо месяца) или для всего года в целом. Для обогрева зданий для заданного периода времени значение *ИП* есть сумма абсолютных отклонений среднесуточных значений температуры от порога комфортности — значения 18,3°C — за те сутки рассматриваемого периода времени, когда температура была ниже 8°C. Для охлаждения зданий для заданного периода времени значение *ИП* есть сумма отклонений среднесуточных значений температуры от порога комфортности — значения 18,3°C — за те сутки рассматриваемого периода времени, когда температура была выше 18,3°C. Эти частные суммы называются соответственно индексами потребления топлива на нагревание и охлаждение. Они широко используются в России и других странах, например, в США, при выполнении оценок потребности в энергии для регулирования климата помещений, входят в справочные пособия. В данном докладе индекс потребления топлива оценивается для расчетного отопительного периода (промежуток времени между датами устойчивого перехода среднесуточной температурой порога 8°C).

Изменение продолжительности отопительного периода и индекса потребления топлива в год *t* характеризуется в процентах от их значений в базовый год t_0 (Шерстюков, 2007):

$$\Delta_{\%} ОП = 100 (ОП(t) - ОП(t_0)) / ОП(t_0),$$

$$\Delta_{\%} ИП = 100 (ИП(t) - ИП(t_0)) / ИП(t_0).$$

Вместо значений в базовый год t_0 в этих формулах иногда используются средние значения *ОП* и *ИП* за какой-либо базовый период.

Для вычисления всех этих параметров используются данные мониторинга климата суточного разрешения, которые обеспечиваются учреждениями Росгидромета — метеорологическими станциями и научно-исследовательскими институтами, выполняющими анализ и обобщение данных измерений (см., например, суточные обобщения данных на веб-странице ВНИИГМИ-МЦД Росгидромета — <http://www.meteo.ru/>). Используются и данные других специализированных гидрометеорологических измерений (Александрова, 2006).

В процессе эксплуатации каждое здание подвергается внешним воздействиям, которые принимаются во внимание в проектах путем подбора материалов и конструкций, защиты их специальными покрытиями и т. д. Эксплуатационные затраты на здание в процессе его службы в 2–3 раза превышают расходы на его строительство (Кузнецов, Кобышева, 2004). Поэтому особенно важен выбор конструкции, не требующей капитального ремонта. Эффективность этого выбора существенно зависит от параметров климата.

Существенную роль играет степень увлажнения наружной поверхности вертикальных ограждающих конструкций. Увлажнение стен отрицательно сказывается как на теплотехническом режиме здания, так и на его долговечности. Наибольшее влияние на прочность панельного здания оказывает частота и интенсивность промачивания стыков панелей в стенах здания. Замерзая и расширяясь, влага, попавшая в стыки, постепенно нарушает целостность и герметичность стен. Специализированным прикладным климатическим индексом, используемым при оценках последствий промачивания стен, служит количество жидких осадков, попадающих на вертикальную поверхность (“косые дожди”), которое зависит от количества и продолжительности осадков и скорости ветра.

Для оценки неблагоприятного термического воздействия на стены здания используется показатель морозостойкости материалов. Морозостойкость измеряется максимально возможным числом циклов попеременного замораживания и оттаивания насыщенного водой материала без существенной потери технических свойств. Изменение отрицательной температуры наружного воздуха приводит к смещению положения “нулевой температурной точки” в толще стены (считается, что внутри здания температура положительная). Увеличение амплитуды изменений положения и частоты колебаний “нулевой температурной точки” приводит к более частому и выраженному многократному замораживанию и оттаиванию материала, что ускоряет разрушение стены здания.

Важную роль при оценке безопасности зданий и сооружений играет снеговая нагрузка. Снеговая нагрузка на различные покрытия определяется весом накопившегося снега в расчете на единицу площади. Значение фактической нагрузки зависит от комплекса метеорологических параметров: количества осадков, температуры воздуха, скорости ветра. От температурного режима зависят: во-первых, продолжительность морозного периода, время, в течение которого происходит накопление снега, и доля твердых осадков, образующих снежный покров; во-вторых, повторяемость оттепелей, уменьшающих снеготопасы. Карта районирования территории России по снеговому режиму приведена в СНиП “Нагрузки и воздействия” (1998).

Основными направлениями автодорожной отрасли, требующими учета климата, являются:

- проектирование систем дорог;
- дорожное строительство, производство ремонтных работ;
- эксплуатация автомобильных дорог и организация движения на дорогах;
- планирование перевозок;
- разработка мероприятий, нейтрализующих особо опасные метеорологические явления.

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

Железнодорожный транспорт — также погодозависимая отрасль. Он работает под открытым небом и в разных климатических зонах. Бесперебойная, четкая его работа во многом зависит от условий погоды. Поэтому решение многих текущих и перспективных задач железнодорожной отрасли требует учета как текущего климата, так и возможных его изменений.

Источником информации об ущербе техническим системам, связанным с климатом, являются данные МЧС и других ответственных государственных органов, частных компаний, а также научные публикации.

2.1.3. Сельское хозяйство

2.1.3.1. Растения

При оценке воздействия изменчивости климата разных временных масштабов на урожай сельскохозяйственных растений и сельскохозяйственное землепользование используются данные мониторинга климата и специализированные прикладные климатические индексы — агроклиматические и биоклиматические показатели. Их расчет выполняется на основе ежегодно пополняемых временных рядов значений гидрометеорологических величин и данных об урожае растений. Перечень показателей приведен в табл. 2.1.2.

Для оценки увлажненности территории в данном докладе использовались индекс сухости (ИС) Будыко, гидротермический коэффициент (ГТК) Селянинова и коэффициент увлажнения (КУ) Чиркова. Для сельскохозяйственных земель они вычислялись следующим образом:

$$ИС = \frac{0,18\Sigma T_{10}}{\Sigma R_{I-XII}}, \quad КУ = \frac{0,5\Sigma R_{X-III} + \Sigma R_{IV-VIII}}{0,18\Sigma T_{IV-VIII}},$$
$$ГТК = \frac{\Sigma R_{VI-VIII}}{0,1\Sigma T_{VI-VIII}}.$$

Здесь ΣR_{L-M} — сумма осадков за месяцы, указанные в индексе римскими цифрами (от L -го до M -го), ΣT_{10} — сумма за календарный год среднесуточных значений температуры воздуха больше 10°C , ΣT_{L-M} — сумма среднесуточных значений температуры воздуха за месяцы, указанные в индексе римскими цифрами (от L -го до M -го).

Индекс сухости Будыко — интегральный годовой показатель увлажненности, а КУ и ГТК — более специализированные показатели, характеризующие влагообеспеченность агроэкосистем при естественном увлажнении. При этом КУ представляет увлажненность почвы летнего периода с учетом осадков холодного периода года, а ГТК — лишь увлажненность летнего периода без учета начальных влагозапасов почвы.

В заключение отметим, что размерность индексов ΣT_5 и ΣT_{10} требует некоторого внимания

при операциях с ними. Они являются частными случаями “суммы активных температур” ΣT_{T_r} . Последняя определяется как интеграл за календарный год текущих значений температуры, больших некоторого порога T_r . Как интеграл, эта величина имеет размерность $^\circ\text{C} \times \text{время}$. Однако в том случае, если этот прикладной климатический индекс вычисляется, исходя из среднесуточных значений температуры (т. е. интеграл заменяется суммой), по традиции сумма эффективных температур дается просто в $^\circ\text{C}$.

2.1.3.2. Насекомые — вредители сельскохозяйственных культур

Насекомые — вредители сельскохозяйственных культур обычно существенно зависят от погоды, а следовательно, в долгосрочном плане, в череде поколений — и от климата. Для характеристики развития, размножения и распространения в пространстве насекомых-вредителей часто используются как непосредственно измеряемые параметры климата, так и специализированные прикладные климатические индексы. Кроме обычных параметров климата — температуры, суммы осадков и суммы активных температур (см. предыдущий раздел) используется также широко применяемый прикладной климатический индекс “сумма эффективных температур”. По определению — это интеграл за календарный год превышения текущей температурой воздуха T некоторого порогового значения T_r . Таким образом, если пользоваться символикой, примененной в предыдущем разделе, то сумма эффективных температур есть $\Sigma(T_T - T_r)$. Размерность этой величины есть $^\circ\text{C} \times \text{время}$. Однако в том случае, если этот прикладной климатический индекс вычисляется, исходя из среднесуточных значений температуры (т. е. интеграл заменяется суммой), то по традиции сумма эффективных температур дается просто в $^\circ\text{C}$.

Саранчовые. Зависимость от климатических условий сильно выражена у всех саранчовых. Для разных регионов и видов для развития особей до появления личинок необходима сумма среднесуточных положительных температур (при пороге выше 10°C) от 220 до 440°C , до окрыления личинок — от 805 до 1540°C , до откладки яиц — от 1330 до 2490°C . Сроки массового появления личинок совпадают обычно с первой датой перехода среднесуточной температурой воздуха через значение 15°C в весенне-летний период, а откладки яиц — со второй датой перехода среднесуточной температурой воздуха через 15°C в летне-осенний период (Ермаков, 1998).

Нижний температурный порог развития саранчовых — около 10°C (Цыпленков, 1970; Гаппаров, 1987). Однако он варьирует у разных видов. Так, нижний температурный порог развития яиц

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

Таблица 2.1.2. Перечень основных агроклиматических и биоклиматических показателей, используемых при оценке воздействия изменений климата на сельское хозяйство

Показатель, размерность	Обозначение	Способ расчета
Характеристики термического режима		
Суммы среднесуточных значений температуры за календарный год, больших 5 и 10°C соответственно	$\Sigma T_5, \Sigma T_{10}$	*
Даты устойчивого перехода среднесуточной температурой значений 5 и 10°C весной и осенью соответственно, сутки	d_5, d_{10}	*
Продолжительность периодов со среднесуточными температурами выше 5 и 10°C соответственно — характеризуют продолжительность вегетационного периода растений умеренной зоны и теплолюбивых растений соответственно, сутки	N_5, N_{10}	*
Средние значения температуры января и июля соответственно, °C	T_1, T_7	*
Амплитуда годового хода среднесуточной температуры, °C	A_T	*
Продолжительность вегетационной весны (период времени от устойчивого перехода среднесуточной температурой значения 5°C до устойчивого перехода значения 15°C) и вегетационной осени (период обратного перехода) соответственно, сутки	N_{5-15}, N_{15-5}	*
Характеристики увлажнения		
Суммы осадков за период календарного года со среднесуточной температурой выше 5 и 10°C соответственно, мм	R_5, R_{10}	*
Суммарное испарение за вегетационный период, мм	E	**
Испаряемость за вегетационный период, мм	E_0	*
Влагозапасы почвы в слоях 0–20 и 0–100 см соответственно за теплый период года, мм	W_{20}, W_{100}	**
Гидротермический коэффициент Селянинова	$ГТК$	*
Индекс сухости Будыко	$ИС$	*
Коэффициент увлажнения Чиркова	$КУ$	*
Дефицит испарения Будаговского, мм	ΔE	**
Биоклиматический потенциал (БКП), т/га		
при низкозатратном земледелии	$ВКР_0$	**
при оптимальном увлажнении	$ВКР_W$	**
при оптимальном минеральном питании	$ВКР_N$	**
при оптимальных увлажнении и минеральном питании	$ВКР_{WN}$	**
Климатообусловленная урожайность, т/га		
при низкозатратном земледелии	Y_0	**
при оптимальном увлажнении	Y_W	**
при оптимальном минеральном питании	Y_N	**
при оптимальных увлажнении и минеральном питании	Y_{WN}	**

Примечание.

* По данным мониторинга климата Росгидромета.

** С помощью системы “Климат — почва — урожай” ВНИИСХМ (Сиротенко, 2005).

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

итальянского пруса около 12°C, а соответствующая сумма эффективных температур, необходимых для развития эмбриона после зимовки, — 4560°C (Сафарова, 1987). Для развития личиночной фазы мароккской саранчи требуется сумма эффективных температур с порогом 10°C, равная 250–260°C, а развитие зародыша завершается при наступлении суммы эффективных температур 130–150°C (Гаппаров, 1987).

Личинки азиатской саранчи, нижний порог развития которой находится около 16,7°C (Кожанчиков, 1956), отрождаются при температуре почвы 20–40°C (Никольский, 1925). Яйца азиатской саранчи теряют жизнеспособность при промораживании их до –17...–21°C. Критической положительной температурой для яиц является температура около 60°C (Цыпленков, 1970). Личинки азиатской саранчи начинают питаться при температуре их тела около 25–30°C и питаются, пока она не поднимется до 38°C или не упадет ниже 19°C (Стрельников, 1935). Если же личинки ощущают недостаток влаги или голодают, они продолжают питаться и ночью при температуре воздуха около 15–16°C (Захаров, 1950).

Активная жизнедеятельность саранчовых происходит при определенной температуре, которая меняется в пределах 10–55°C для разных видов при оптимуме около 35–40°C. Температура менее –5 и более 70°C обычно вызывает гибель саранчовых (Цыпленков, 1970).

Проявление активности саранчовых наблюдается в ясные летние дни при температуре воздуха выше 10–12°C. С повышением температуры воздуха до 20°C активность саранчовых резко увеличивается, при температуре почвы выше 38°C начинаются миграции вначале отдельных особей, а затем и всей стаи саранчи. Миграции саранчи начинаются в то время, когда температура их тела находится в пределах 40–55°C. При температуре тела ниже 20°C саранча полетов не совершает и находится в состоянии относительного покоя на растениях или на почве. При температуре воздуха выше 40°C, а температуре почвы — выше 60°C наступает период тепловой депрессии (Цыпленков, 1970).

Приведенные выше требования саранчовых к термическим условиям позволяют очертить их потенциальный ареал, определяемый климатом, а также помогают соотнести конкретные эпизоды массового размножения и миграции саранчи с наступлением определенных условий погоды.

Колорадский жук. В работе (Ясюкевич и др., 2007) систематизированы данные о климатических порогах для различных стадий развития колорадского жука *Leptinotarsa decemlineata* Say:

1) нижний температурный порог развития всех стадий колорадского жука обычно принимается равным 11,5°C (Alfaro, 1943, 1949);

2) верхний температурный порог, выше которого наблюдается гибель яиц и прекращение развития личинок, находится в пределах 35–37°C (Chittenden, 1907; Тилавов, 1968, 1969);

3) для завершения эмбриогенеза и отрождения личинок среднесуточная температура должна быть не ниже 14–15°C (Busnel, 1939; Mayne and Breny, 1947, 1949; Wilde, 1950; Финаков, 1956; Kittlaus, 1961);

4) для полного завершения развития вредителя число дней со среднесуточной температурой 15–16°C должно быть не менее 64 (Журавлев, 1993);

5) зимующие колорадские жуки лишь на очень короткое время выдерживают переохлаждение до температуры –5 ... –8°C и не выдерживают замерзания (Колорадский картофельный жук..., 1981). Это определяет их чувствительность к температуре почвы в слое 0–20 см, в котором они зимуют;

6) среднесуточная температура выше 26–27°C при влажности воздуха ниже 45% и выше 80% неблагоприятна для яйцекладки (Венгорек, 1958; Ларченко, 1955, 1958; Журавлев, 1960, 1964).

Эти критерии — условия температуры и влажности, необходимые для развития колорадского жука, — позволяют определить потенциальный ареал его распространения, обусловленный климатом. При изменении климата меняется и этот потенциальный ареал.

Для оценки изменений ареала колорадского жука в России за последние 20 лет были также использованы фактические данные ведомственного мониторинга о распространении колорадского жука к концу 1980-х годов в СССР, любезно предоставленные начальником Российской лаборатории диагностики и прогнозов появления и развития вредителей и болезней растений Минсельхозпрода России (ныне Министерство сельского хозяйства РФ) В. И. Черкашиным, а также материалы, приведенные в издании “Интерактивный атлас полезных растений, их вредителей и экологических факторов России и сопредельных государств...” (Афонин и др., 2006), по распространению колорадского жука к началу XXI века на территории стран СНГ и Балтии.

2.1.4. Водные ресурсы

2.1.4.1. Вводные замечания

Основой методического подхода к оценке влияния наблюдаемых изменений климата на водные ресурсы России является выявление ответных реакций речных водосборов, расположенных в различных физико-географических условиях, а также процессов, происходящих в многолетней мерзлоте. Это позволяет как оценить тенденции изменений, так и выявить бассейны и регионы, где эти изменения наиболее значимы и могут иметь нега-

тивные последствия. Существующие данные мониторинга и методы анализа данных позволяют выполнить оценки по двум важным показателям, влияющим на объем водных ресурсов, — по стоку рек и испаряемости. Описание применяемых методов можно найти в работах (Георгиевский и др., 1996, 1997; Колосов, Минин, 1991; Рождественский, 1998; Шикломанов, 1988, 1994; Шикломанов, Георгиевский, 2002).

2.1.4.2. Изменение стока рек

Для оценки наблюдаемых изменений речного стока на территории России используется статистический анализ рядов годового, весеннего, летне-осеннего и зимнего стоков средних рек. Выбор в качестве объекта исследований средних по площади бассейна рек обусловлен тем, что изменчивость их стока определяется прежде всего климатическими факторами, а их бассейны являются наиболее репрезентативными для соответствующих физико-географических зон.

Выбор створов производился с учетом следующих двух условий: наличие данных за период наблюдений продолжительностью 55 лет и более и минимальное влияние хозяйственной деятельности на годовой и сезонный стоки. С учетом этих условий был подготовлен архив данных по месячному стоку 300 рек, расположенных в пределах России и сопредельных стран, который послужил основой для оценки гидрологических последствий потепления последних десятилетий XX века. Для всех выбранных рек сделаны оценки изменений среднего за период 1978–2000 гг. годового, сезонного и месячного стоков по отношению к среднему значению за предшествующий многолетний период (1946–1977 гг.). Принятие за начало периода оценки 1978 г. объясняется следующим. Со второй половины 1970-х годов на территории России преобладают положительные аномалии температуры воздуха и отмечается усиление их пространственной связанности: зимой и весной область положительных аномалий охватывает Европейскую и Азиатскую части России (Груза, Ранькова, 2004; Анисимов и др., 2003). С конца 1970-х годов отмечается также ряд аномальных природных процессов — одним из наиболее ярких примеров является резкое повышение уровня Каспийского моря с 1978 г. В целях более детального выявления особенностей фактических изменений водного режима рек аналогичные расчеты выполнены также для двух последних десятилетий XX века: 1981–1990 гг. и 1991–2000 гг.

Для створов, обеспеченных наиболее продолжительными рядами наблюдений, для оценки влияния выбора базового расчетного периода на результаты оценок современных изменений стока использовались также данные за весь период на-

блюдений. При анализе данных наблюдений в основном оценивались линейные тренды гидрологических параметров и их значимость. Для годового стока всех основных рек страны в их замыкающих створах такие оценки выполнялись по всему периоду наблюдений.

2.1.4.3. Испарение

Фактические данные об испарении с водной поверхности получены в ходе систематических наблюдений на сети водноиспарительных станций. Наблюдения проводились с 1949 г. На территории СССР действовали около 500 станций. Эти данные организованы в виде архива в Валдайском филиале ГГИ. Они позволяют оценить современное распределение по территории стран СНГ и Балтии трендов испаряемости и ее изменчивость в пространстве и во времени.

При расчетах испарения для территории России из полного архива среднемесячных значений скорости испарения с водной поверхности испарителей ГГИ-3000 (мм/сутки) были выбраны максимальные в каждом году месячные значения и образованы многолетние ряды этих значений. Выбор максимальных за год месячных значений испарения был обусловлен стремлением уменьшить влияние условий погоды конкретного года и повысить роль фактора прозрачности атмосферы в формировании величины испарения. По сформированным рядам были рассчитаны скользящие пятилетние средние и вычислены их многолетние тренды (Колосов, Минин, 1991).

Для оценки характера ненаправленной пространственно-временной изменчивости испаряемости из упомянутых выше значений были вычтены соответствующие временные тренды. Поле остатков анализировалось с помощью специального метода климато-статистического районирования (Колосов, Минин, 1991). Суть метода состоит в следующем. При анализе ситуации в заданной точке географического пространства изменчивость во времени исследуемой климатической величины сопоставляется с диапазоном пространственной изменчивости ее среднемноголетних значений в пределах некоторой статистически однородной области, к которой принадлежит данная точка. Временная изменчивость характеризуется разностью 20%-ных квантилей изучаемой величины. Пространственная изменчивость исследуемой величины внутри статистически однородной области характеризуется разностью максимального и минимального для нее среднемноголетних значений для принятого временного интервала осреднения. Статистически однородные районы выделяются по критерию близости временной и пространственной изменчивости.

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

2.1.5. Здоровье населения

2.1.5.1. Вводные замечания

Воздействие изменений климата на здоровье человека весьма разнообразно. В результате увеличения числа неблагоприятных метеорологических условий возможно увеличение прямого ущерба здоровью от ураганов, штормов, наводнений. Эти явления приводят также к нарушению функционирования инженерных водопроводно-канализационных сооружений, что в свою очередь ведет к росту числа случаев кишечных инфекционных заболеваний. Увеличение площади засушливых земель, усиление дефицита водных ресурсов также способствуют усилению риска этих заболеваний. Изменение гидрологического статуса территории может вызвать ряд негативных взаимосвязанных изменений: ухудшение эпидемиологической ситуации по ряду болезней, снижение качества водоснабжения, ухудшение микроклимата жилых помещений и снижение срока их службы, изменение характера трудовой деятельности населения и снижение качества медицинского обслуживания, что может увеличивать риск профессиональных заболеваний (Эльпинер, 2004). Рост температуры и изменение других климатических параметров могут приводить к увеличению заболеваемости по ряду трансмиссивных и нетрансмиссивных болезней. Увеличение повторяемости и продолжительности периодов с экстремально высокими температурами, особенно при повышении уровня этих температур, вызывает обострение ряда соматических болезней и повышение смертности (см. главу 2.5). Для оценки последствий наблюдаемого изменения климата для здоровья населения используются как сопряженный статистический анализ рядов данных по заболеваемости и рядов данных гидрометеорологических наблюдений, так и математические модели, описывающие зависимость факторов заболеваемости от климата.

2.1.5.2. Экстремально высокая температура (волны тепла)

Условия проживания и труда людей зависят в большой степени от экстремальности гидрометеорологических условий. Так, увеличение длительности периодов с экстремально высокой и экстремально низкой температурой, ее значения в эти периоды, частота экстремальных значений сказываются как непосредственно на состоянии здоровья людей, так и на качестве воды, продуктов питания и состоянии загрязнения атмосферы вредными примесями.

Выявление соответствующих взаимосвязей ведется на основе сравнения гидрометеорологичес-

ких показателей и параметров здоровья населения в пространстве и во времени. Сопряженный статистический анализ этих показателей позволяет в ряде случаев оценить дополнительную (аттрибутивную) долю случаев, обусловленную влиянием гидрометеорологических условий, т. е. получить зависимость воздействие — отклик.

По результатам анализа статистических данных о смертности людей и температуре и влажности воздуха в период экстремальной жары в Италии летом 2003 г. выявлена связь между максимальной температурой воздуха, его влажностью и смертностью (Conti et al., 2005). Заболеваемость пожилых людей респираторными заболеваниями в Великобритании возрастает с темпом 10% на каждый градус среднесуточной температуры сверх порога 23°C (Kovats et al., 2003).

Для оценки влияния наблюдаемых изменений климата на показатели смертности и обращаемости за скорой медицинской помощью в России был также использован метод временных рядов (Ревич и др., 2005; Ревич, Шапошников, 2006). Временные ряды характеризовали ситуацию в Москве и в Твери. Использовались данные суточного разрешения, в том числе о смертности населения. Рассматривались случаи смертности от тех причин, которые могут быть связаны с воздействием загрязнения воздуха и метеорологических факторов: ишемическая болезнь сердца и стенокардия; цереброваскулярные болезни, в том числе острые нарушения мозгового кровообращения, хронические заболевания нижних дыхательных путей, в том числе бронхиальная астма и астматический статус.

Смертность за текущие сутки сопоставлялась со значениями максимальной и среднесуточной температуры за сутки, отстоящие на 0–12 суток от текущих в сторону более ранних дат (временной сдвиг). В анализ были также вовлечены данные о загрязнении приповерхностного слоя атмосферы, уровень которого также зависит от температуры, но оказывает воздействие на здоровье человека иным, не термическим путем. Совместный статистический анализ рядов суточных данных о смертности, температуре и уровне загрязнения атмосферы (с различными временными сдвигами) позволил выявить ряд достоверных зависимостей, в том числе смертности от температуры. Так, на примере исследований, выполненных в Твери, было установлено, что между ежесуточной смертностью населения и среднесуточной температурой воздуха существует положительная корреляция. Увеличение максимальной среднесуточной температуры летом на каждые 10°C приводит к увеличению смертности на один дополнительный случай ежедневно (Ревич и др., 2005).

2.1.5.3. Инфекционные и паразитарные болезни

Источником фактической информации о заболеваемости человека инфекционными и паразитарными болезнями и ее основных факторах являются данные соответствующих государственных служб (Государственный доклад “О санитарно-эпидемиологической обстановке...”, 2001, 2005, 2006). Такая информация имеется также в научных публикациях ведущих специалистов, материалах специализированных конференций и отчетах профильных научных учреждений. Анализ этих данных и их сопоставление с данными об изменениях климата выполняются с привлечением обычных методов прикладной статистики. Малочисленность пунктов, для которых сейчас имеется фактическая информация о заболеваемости населения инфекционными и паразитарными болезнями, по сравнению с сетью гидрометеорологических станций Росгидромета является обстоятельством, препятствующим получению оценок влияния изменения климата на заболеваемость в масштабе всей страны статистическими методами. Такие оценки возможно делать лишь для отдельных субрегионов.

Для получения оценок в масштабе всей страны необходимо привлекать методы математического моделирования. Хотя, судя по результатам фундаментальных исследований (Climate Change 2001, 2001; Хайнес и др., 2004), влияние изменения климата на заболеваемость человека многими инфекционными и паразитарными болезнями в XX веке несомненно, в реальных условиях действие климатических факторов сочетается с действием других мощных факторов — социально-экономических, демографических, зависит от уровня здравоохранения, доступности для населения медицинского обслуживания. На этом фоне выявить климатический сигнал весьма сложно. Для его оценки целесообразно сосредоточиться на климатозависимых составляющих биологических процессов, в максимальной степени исключив “социальный фактор” (Беэр, Эльпинер, 2004), и использовать для моделирования изменения ареалов простые эмпирические модели — прикладные климатические индексы, управляющие этими процессами (Ясюкевич, Семенов, 2004; Семенов и др., 2006). Их использование позволяет непосредственно по данным мониторинга климата проводить расчетные оценки изменения потенциальных ареалов видов-переносчиков и возбудителей многих инфекционных и паразитарных болезней человека, а также риска распространения заболевания. Приведем некоторые из них. Во всех прикладных климатических индексах, о которых идет речь ниже, используются климатические значения метеорологических величин, т.е. их средние значения за значительный период времени от года t_1 до года t_2

(обычно 30 лет и более). Тем самым биологические оценки характеризуют этот же период.

А. Среднее значение температуры за какой-либо промежуток времени в календарном году (в том числе за весь год).

П р и м е р. Порог -7°C для средней температуры января определяет границу ареала для видов комаров — переносчиков малярии человека, зимующих на фазе имаго в активном состоянии и питающихся кровью во время зимовки. При более низкой температуре они не перезимовывают (Беклемишев, 1970); это справедливо, в частности, для одного из таких переносчиков, встречающихся на территории России, — для *Anopheles atroparvus*.

Б. Сумма осадков за какой-либо промежуток времени в календарном году (в том числе за весь год).

П р и м е р. Порог 750 мм для годовой суммы осадков ограничивает пространственное распространение комара — переносчика малярии человека — *Anopheles pulcherrimus* (Беклемишев, 1970); при больших суммах осадков популяция неустойчива.

В. Сумма эффективных температур (сумма превышений за год среднесуточной температурой определенного порогового значения); этот индекс уже появлялся в разделе 2.1.3 при обсуждении климатических факторов, управляющих развитием саранчовых.

П р и м е р. Если сумма S превышений среднесуточной температурой за год заданного порогового значения T_r больше определенной константы C , то развитие возбудителя малярии в организме переносчика возможно, а в ином случае — невозможно. Значения констант T_r и C видоспецифично для возбудителей. Для трехдневной малярии *Plasmodium vivax* они равны $14,5$ и 105°C соответственно, а для тропической *Plasmodium falciparum* они равны 16 и 111°C соответственно (Мошковский, Рашина, 1951; Дегина, 1962; Detinova et al., 1962; Martens et al., 1999; Lieshout et al., 2004).

Г. Число суток в году, в которые среднесуточная температура превышает определенное пороговое значение.

П р и м е р. Если число суток в году N со среднесуточной температурой, большей заданного порога T_r , превышает определенную константу N_n , то данная точка пригодна для устойчивого существования популяции переносчиков малярии человека, а иначе — непригодна. Значение порога T_r и константы N_n видоспецифичны для комаров-переносчиков. Так, северная граница ареала комара *Anopheles pulcherrimus*, одного из переносчиков малярии человека, в Центральной Азии довольно точно совпадает с изолинией 110 суток в году со среднесуточными температурами не менее 20°C ;

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

при меньшем числе таких суток популяция неустойчива (Беклемишев, 1970). Северная граница распространения основного комплекса переносчиков малярии человека на территории России — *Anopheles maculipennis* совпадает с изолинией 85 суток в году со среднесуточной температурой не менее 10°C; при меньшем числе таких суток популяция неустойчива (Беклемишев, 1970).

Для вычисления этих прикладных климатических индексов в качестве исходной информации используются ряды среднесуточных значений температуры воздуха и суточной суммы осадков, полученных по данным измерений на сети 223 метеорологических станций международного обмена, передающих телеграммы СИНОП. Они расположены на территории России и соседних стран (территория бывшего СССР). Такие ряды для всего периода наблюдений (до 2005 г. включительно) были депонированы ВНИИГМИ-МЦД Росгидромета в сети Интернет для свободного использования (<http://www.cliware.meteo.ru/infer/index.html>).

Эта информация позволяет оценивать климатический годовой ход среднесуточной температуры и суточной суммы осадков для заданного периода времени от года t_1 до года t_2 (Семенов, Гельвер, 2002; Семенов и др., 2006); при сглаживании результатов оценки используются первые члены разложения в ряд Фурье, соответствующие гармоникам с периодами 1, 1/2, 1/3 и 1/4 года. Исходя из такого сглаженного годового хода вычисляются упомянутые выше прикладные климатические индексы А—Г. Интерполяция оценок на географический континуум проводилась по методике, изложенной в работах (Гельвер, 2002а, 2002б) в соответствии с основной задачей интерполяции — распространением геополя некоторой переменной с исходной (обычно нерегулярной) “редкой” сетки на “все пространство”, т. е. на регулярную плотную сетку (Берлянт, 1997).

Критерии, приведенные в примерах применения индексов А—Г, а также их сочетания позволяют определять пространственное расположение потенциальных *T*- и *R*-ареалов (т. е. ареалов, определяемых температурой и осадками) для видов-переносчиков и возбудителей малярии для заданного периода времени от года t_1 до года t_2 . Для другого периода времени этот расчетный ареал будет, вообще говоря, иным, и различия можно оценить и проанализировать.

2.1.6. Природные экосистемы суши

2.1.6.1. Параметры биоты

Имеющиеся фактические данные и методы в определенной степени позволяют в масштабе страны или же ее крупных регионов оценивать клима-

тогенные изменения биоты суши по следующим ее параметрам:

- даты фенологических событий;
- прирост деревьев;
- границы биомов (в частности, граница лес — тундра);
- видовой состав экосистем и численность популяций.

2.1.6.2. Фенологические события в жизни растений и животных

Изменения сроков наступления фенологических событий (распускания листьев, начала цветения, прилета птиц и т. д.) прямо отражают межсезонные и межгодовые вариации гидрометеорологических величин. В более явной форме эта связь с климатом выражена у растений и холоднокровных животных, в опосредствованной — у теплокровных животных (через изменения условий местообитания, кормовой базы и т. д.).

Источником данных о сроках наступления фенологических событий являются материалы наблюдений заповедников (Летопись природы), других научных учреждений, а также сообщения добровольных корреспондентов сети фенологического мониторинга, функционирующей в России (Минин, 2000, 2002).

Методика фенологических наблюдений разработана довольно детально и позволяет максимально их унифицировать (Фенологические наблюдения..., 1982; Куприянова и др., 2000). По всем природным зонам разработаны перечни рекомендуемых для наблюдения событий. При их выборе соблюдались принципы максимально широкого распространения наблюдаемого явления, четкого его проявления в природе (обеспечивает доступность для наблюдения не специалистами), охвата основных групп организмов и сезонов года.

В настоящее время накоплен значительный объем многолетней фенологической информации, что позволяет проводить детальные исследования. Материалы добровольных наблюдателей 1–2 раза в год направляются в Русское географическое общество (РГО) в Санкт-Петербург (все российские регионы) и в Москву (ИГКЭ и Московский филиал РГО) — в основном по Европейской территории России, где хранятся преимущественно в рукописном виде и частично на электронных носителях (Минин, 2002). Кроме того, во многих субъектах Российской Федерации действуют отделения РГО, куда поступают данные от региональных наблюдателей, часто не имеющих прямой связи с Москвой или Санкт-Петербургом. Число пунктов на ЕТР, по которым имеются многолетние фенологические ряды (20–25 лет и более), более 100.

Климатогенные изменения сроков наступления фенологических событий часто выявляются путем прямого анализа временных рядов данных наблюдений и их сопоставления с соответствующими временными рядами гидрометеорологических величин. Этот подход был реализован при оценке влияния потепления климата на продолжительность вегетационного периода (Воскова, Минин, 2005).

Если это по какой-то причине невозможно (например, вследствие недостатка данных наблюдений по данной точке географического пространства), то используется расчетный метод. При расчетных оценках сроков наступления фенологических событий у растений обычно используется сумма эффективных температур (эта величина уже появлялась в разделах 2.1.3 и 2.1.5), т. е. сумма превышения среднесуточными значениями температуры заданного порогового значения T_r за период времени от начала календарного года. Те сутки j_0 (номер суток в календарном году), в которые эта сумма превысит определенную константу S_0 , принимаются за расчетное значение срока наступления изучаемого фенологического события. Значения T_r и S_0 специфичны для биологического вида и типа события. Например, при $T_r = 5^\circ\text{C}$ для распускания листьев осины *Populus tremula* L. $S_0 = 132,2^\circ\text{C}$ (Семенов и др., 2006). Для начала зеленения березы бородавчатой *Betula pendula* Roth. $S_0 = 55^\circ\text{C}$ при $T_r = 5^\circ\text{C}$ (Шигалев, Шиманюк, 1949). Напомним еще раз (об этом уже упоминалось в разделах 2.1.3 и 2.1.5), что как интеграл сумма эффективных температур имеет размерность $^\circ\text{C} \times \text{время}$. Однако в том случае, если этот прикладной климатический индекс вычисляется, исходя из среднесуточных значений температуры (т. е. интеграл заменяется суммой), по традиции сумма эффективных температур дается просто в $^\circ\text{C}$.

В последние годы внимание к многолетним фенологическим рядам как источникам информации о межгодовой изменчивости состояния популяций и экосистем в связи с межгодовой изменчивостью гидрометеорологических величин существенно возросло как в России, так и в мире. В Европе активно идут процессы интеграции национальных фенологических сетей, унификации методик наблюдений и анализа многолетних рядов (Growth Stages..., 1997).

В качестве фенологических индикаторов изменения климата широко используются события зацветания растений, сдвиг сроков которых в сторону более ранних дат во второй половине XX века в умеренных широтах Северного полушария составил 6–7 суток и более (Penuelas and Filella, 2001; Минин, 2000; Гордиенко, Минин, 2006). Часто используется также такой индикатор, как продолжительность вегетационного периода. Так, для территории Европы был выполнен анализ данных

наблюдений сети международных фенологических садов (International Phenological Gardens — IPG) за 1959–1993 гг. (Menzel and Fabian, 1999). Как показало это исследование, в среднем увеличение продолжительности вегетационного периода составило 11 суток за счет более раннего наступления вегетации весной и более позднего ее завершения осенью.

2.1.6.3. Прирост деревьев

Лесные экосистемы, широко представленные на большей части территории России, весьма чувствительны к изменению климата. Это касается практически всех структурных и функциональных их компонентов (Гитарский, Карабань, 2001).

В России в конце XX века создана сеть пунктов дендроклиматического мониторинга (Ваганов и др., 1996). Их расположение приведено на рис. 2.1.2. По результатам работы российской сети дендроклиматического мониторинга получено 285 длительных древесно-кольцевых хронологий, по которым можно получать количественные характеристики отклика древесных растений на изменение климата в пространстве и во времени. Поскольку российская сеть дендроклиматического мониторинга создана в последнее десятилетие XX века, то ее данные описывают как прошлые, так и текущие изменения прироста древесных растений. В этом ее преимущество перед большинством европейских и североамериканских сетей, на которых древесно-кольцевые хронологии были получены в основном в 1960–1970-х годах, т. е. они характеризуют лишь середину XX века и более ранние периоды времени. Основным параметром, измеряемым на сети дендроклиматического мониторинга, является значение радиального прироста деревьев за год и (или) за определенные интервалы времени в пределах вегетационного периода. Данные дендроклиматического мониторинга хранятся в Институте леса им. В. Н. Сукачева СО РАН (г. Красноярск). Они интегрированы в международные архивы дендроклиматических данных.

Для получения данных на сети дендроклиматического мониторинга используются только те деревья, которые в прошлом не подвергались кратковременному (за время менее года) воздействию иных (неклиматических) абиотических факторов и биотических факторов (оползни, подтопления, пожары, ветровалы, вспышки массового размножения насекомых-вредителей, повреждение животными и др.). Депрессии в приросте, связанные с такими факторами, выявляются дендрохронологическим методом — перекрестным датированием серий прироста годичных колец, и соответствующие данные отбраковываются.

Для анализа изменчивости во времени радиального прироста древесных растений использу-

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

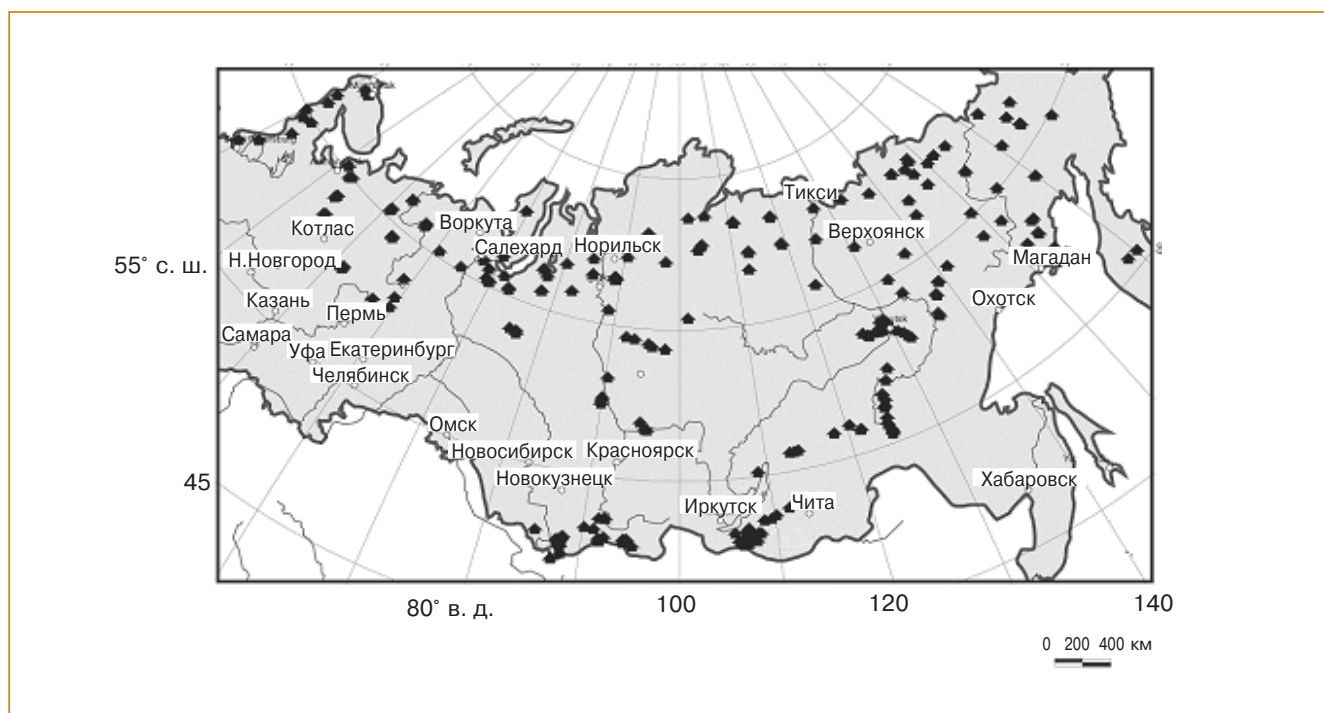


Рис. 2.1.2. Сеть пунктов дендроклиматического мониторинга на территории России.

ются разные индексы радиального прироста (Ваганов, Шашкин, 2000). Годичное кольцо дерева формируется под влиянием комплекса факторов среды, среди которых наиболее заметную роль играют возрастной (радиальный прирост данного дерева прямо зависит от его возраста), фитоценотический (конкуренция с соседями за ресурсы влияет на радиальный прирост) и климатический (гидрометеорологические условия заметно влияют на радиальный прирост деревьев). Выделение климатического сигнала обеспечивается процедурой *стандартизации*. Это один из основных методических приемов в дендроклиматологии, который позволяет в значительной мере подавлять влияние первых двух факторов — обеспечивает фильтрацию низкочастотной составляющей в многолетних колебаниях прироста, связанной с возрастом и эндогенными фитоценотическими факторами. Необходимо отметить, что в годичных кольцах древесных растений, произрастающих на северном и верхнем пределе своего распространения, содержится сильный климатический сигнал в связи с кратковременностью вегетационного периода и значительной изменчивостью климатических условий. Доля изменчивости радиального прироста, которая объясняется изменчивостью летней температуры, иногда достигает 70% (Ваганов и др., 1996).

Для построения расчетных оценок влияния изменения и изменчивости климата на радиальный прирост деревьев используются имитационные модели “климат — прирост деревьев”. Так, в

работе (Ваганов, Шашкин, 2000) предложена модель, содержащая сравнительное небольшое число параметров, описывающих как биологические свойства дерева, так и локальные экологические и климатические условия.

Данные дендроклиматического мониторинга широко используются для реконструкции значений температуры в прошлом. Основы этого метода были заложены еще в классических работах американской школы (Fritts, 1976). Фактические данные об изменении температуры в Северном полушарии доступны в открытых базах данных или на открытых сайтах в сети Интернет. Такие данные представлены на веб-странице Климатического отдела Университета Восточной Англии, Великобритания (Climate Research Unit, University of East Anglia, UK), см. (Jones and Moberg, 2003). Эти данные были использованы для совместного с древесно-кольцевыми хронологиями анализа для Северной Евразии (Ваганов и др., 1996; Ваганов, Шиятов, 1999).

2.1.6.4. Граница леса

Исследовались сдвиги границы лес — тундра на севере страны и верхней границы леса в некоторых горных экосистемах (Шиятов и др., 2001; Харук и др., 2006; Kapralov et al., 2006). Оценка проводилась с помощью сравнений обычных фотографий местности или же изображений, полученных дистанционно, которые относятся к разным пери-

одам времени в XX веке. В последнем случае контролируемым показателем была сомкнутость древостоев.

2.1.6.5. Опустынивание

Процесс опустынивания есть деградация земель, происходящая по различным причинам. Для характеристики этого процесса предложены различные методологические подходы и концепции. Если в последние десятилетия XX века этот процесс рассматривался отдельно почвоведомы, геоботаниками, геоморфологами и агрометеорологами с позиций соответствующих областей науки, то в последние годы наиболее оправданным считается комплексный подход. Этот методологический подход закреплен в международной “Конвенции по борьбе с опустыниванием” (КБО), подписанной более 170 странами мира, в том числе и Российской Федерацией в 2003 г. (Постановление правительства РФ, № 303 от 27.05.2003). КБО определяет опустынивание как “деградацию земель в засушливых, полусушливых и сухих субгумидных районах в результате действия разных факторов, включая изменения климата и деятельность человека” (Конвенция..., 1994). Для оценки и картографирования процессов опустынивания предложена методика, разработанная международными организациями ФАО и ЮНЕП (Provisional Methodology..., 1983). Эта методика общепризнана и с небольшими изменениями применяется во многих странах мира, в том числе и в России (Борликов и др., 2000).

Согласно концепции ФАО/ЮНЕП, выделяются *типы, классы и аспекты опустынивания*. Типы опустынивания включают типы деградации земель: водная эрозия, ветровая эрозия, засоление почв, коркообразование и уплотнение почв, сокращение органического вещества в почве, наличие токсичных веществ и деградацию растительного покрова. Эти типы деградации земель рекомендуется оценивать по 4 классам опустынивания: слабое, умеренное, сильное и очень сильное. К аспектам опустынивания относятся: современ-

ное состояние (СС); темпы развития опустынивания или скорость процесса (ТО); внутренняя опасность опустынивания (ВОО), зависящая, в частности, от свойств ландшафта (характеризует его стабильность при деградации); влияние животных на окружающую среду (ВЖ), определяемое количеством выпасаемого скота на единице площади; влияние плотности населения (ПН), определяемое по числу жителей сельской местности на 1 км². Показатель суммарной опасности опустынивания (СОО) охватывает все аспекты опустынивания:

$$СОО = СС + ТО + ВОО + ВЖ + ПН.$$

Определение суммарной опасности опустынивания, согласно (Provisional Methodology..., 1983), показано в табл. 2.1.3; степень влияния каждого аспекта определена эмпирически и выражена в баллах.

Приведенные критерии носят региональный характер и могут включать и дополнительные характеристики.

В данном докладе основное внимание уделяется специальному виду опустынивания — климатическому опустыниванию. Климатическое опустынивание есть результат взаимодействия региональных процессов аридизации и деградации засушливых земель в климатической системе с положительной и отрицательной обратными связями альbedo — осадки (Золотокрылин, 2003, 2005). Засушливые, полусушливые и сухие субгумидные земли включают районы (помимо полярных и субполярных районов), в которых отношение среднего ежегодного уровня осадков к потенциальной эвапотранспирации колеблется в диапазоне от 0,05 до 0,65 (Конвенция..., 1994). В качестве показателя аридности климата вегетационного сезона удобно использовать гидротермический коэффициент Селянинова *ГТК* (Селянинов, 1928, 1958) (см. раздел 2.1.3). Разумное научное обоснование и простота вычисления *ГТК* стали причинами его включения в стандартный перечень индексов аридности (Stadler, 1987). В развитии процесса

Таблица 2.1.3. Определение суммарной опасности опустынивания

Класс опустынивания	Баллы					Суммарный индекс	
	СС	ТО	ВОО	ВЖ	ПН	Сумма баллов	Среднее значение
Слабое	3	3	3	4	2	≤ 30	≤ 6,0
Умеренное	6	6	6	8	4	31–45	6,1
Сильное	12	12	12	15	8	46–60	9,1–12,0
Очень сильное	18	18	18	25	12	> 60	> 12,0

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

климатического опустынивания велика роль опасных (катастрофических) засух — атмосферных и почвенных (Гречиха, 2004).

Аридизация поддерживается положительной обратной связью в региональной климатической системе с доминированием радиационного регулирования температуры земной поверхности. Следствием аридизации является природная деградация засушливых земель. Внешним регулятором положительной обратной связи выступают изменения суммы осадков и частоты экстремальных осадков (особенно засух). Аридизация порождается не только уменьшением количества осадков, но также уменьшением частоты эффективных осадков (более 5 мм/сутки). Во второй половине XX века возрастает значение антропогенной деградации засушливых земель как дополнительного регулятора положительной обратной связи.

Распространению положительной обратной связи препятствует отрицательная с доминированием эвапотранспирационного регулирования температуры земной поверхности. Наступление аридизации — смена отрицательной обратной связи на положительную — происходит тогда, когда зеленая фитомасса и ее индикатор — вегетационный индекс NDVI — уменьшаются до пороговых значений: 0,5 т/га в сухом весе и 0,07 соответственно (Золотокрылин, 2003). Это происходит в период часто повторяющихся опасных засух или (и) обширной антропогенной деградации засушливых земель. Таким образом, антропогенная деградация растительности, обусловленная чаще всего перевыпасом, ускоряет достижение фитомассой порогового значения и, следовательно, распространение климатического опустынивания.

Концепция NDVI базируется на разном отражении радиационных потоков растительным покровом в видимом (0,58–0,68 мкм) диапазоне солнечного спектра (K1) и ближнем инфракрасном (0,725–1,10 мкм) диапазоне (K2). Спектральная яркость почвенного и растительного покровов, регистрируемая в этих диапазонах с пространственным разрешением 8 и 1 км, достаточно четко характеризует разные процессы опустынивания по значению NDVI. Образование хлорофилла и отражение радиации листьями являются причиной низкого отражения в диапазоне K1 и высокого — в диапазоне K2. Разность между оценками отраженных потоков в этих диапазонах с последующей нормировкой на их сумму используется для вычисления NDVI:

$$NDVI = (K2 - K1)/(K2 + K1).$$

NDVI меняется от минимальных значений (0,01–0,03) на гипераридных землях до 0,7–0,8 в

лесах экваториальных и умеренных широт. NDVI хорошо коррелирует с показателями зеленой фитомассы и продукции на засушливых землях, а также с осадками (Tucker et al., 1985; Золотокрылин и др., 2000). NDVI, или вегетационный индекс (ВИ), является косвенным показателем густоты стояния и продуктивности естественного растительного покрова (Kharin et al., 1998), его фенологического состояния — фазы сезонного развития (Борликов и др., 2000), уровня увлажнения поверхности почвы; величина ВИ зависит также от региональных факторов (Харин, Грингоф, 2002). При развитии процессов опустынивания величина NDVI существенно снижается.

Отраженная земной поверхностью радиация измеряется усовершенствованным радиометром очень высокого разрешения (AVHRR) со спутников Национального управления по океану и атмосфере (NOAA) США с 1982 г. Месячные данные об NDVI с пространственным разрешением $1 \times 1^\circ$ и 8×8 км за период 1982–2001 гг. были подготовлены в центре (Distributed Active Archive Center, DAAC) Годдардовского центра космических полетов США (Pathfinder...).

Показатель NDVI применялся, в частности, для определения и мониторинга области с доминированием климатического опустынивания в засушливых землях России, Казахстана и государств Средней Азии за период 1982–2001 гг. Область выделялась следующим образом: на исследуемой территории в каждой одноградусной ячейке вычислялось число месяцев с $NDVI \leq 0,07$ за вегетационный сезон (май — сентябрь) каждого года, которое принималось в качестве показателя продолжительности климатического опустынивания. Нулевая изолиния показателя определяла границу области. Показатель увеличивался с ростом аридности климата. Предельное значение показателя — продолжительность вегетационного сезона.

Ближайшая к России область климатического опустынивания — Северо-Туранская, которая простирается от Каспийского моря до предгорий Горного Алтая и не достигает границ России (Золотокрылин, 2003). Преобладающая ее часть находится на территории Казахстана, а незначительная часть — на территории Туркменистана и Узбекистана. Масштаб области — зонально-региональный. Во время повторяющихся опасных засух климатическое опустынивание распространялось на деградированные в результате деятельности человека полусухие и сухие субгумидные земли России с доминированием антропогенной составляющей опустынивания в Астраханской области, Республике Калмыкия, на востоке Волгоградской области, на юге Саратовской и Оренбургской областей, на юге Западной Сибири и в западной части Алтайского края. Большая часть этих земель

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

хозяйственно освоена с середины 1950-х годов и с тех пор подвержена разной степени антропогенного опустынивания (Глазовский, Орловский, 1996; Куст и др., 2002; Петров, 2005; Свинцов, 2005). Сравнение местоположения Северо-Туранской области в 1992–2001 гг. и 1982–1991 гг. представлено в разделе 2.6.5.

2.1.6.6. Особо охраняемые природные территории

Экосистемы заповедников представляют особый интерес в плане оценок влияния изменения климата по следующим причинам.

1. Заповедники расположены в зонах минимального непосредственного антропогенного влияния по сравнению с незаповедными территориями. Непосредственное хозяйственное воздействие (вырубка леса, охота, строительство и т. д.) на последних является мощным фактором, маскирующим климатический сигнал, а на территории заповедников эти факторы либо отсутствуют, либо их действие сильно ограничено. Поэтому потенциально отношение климатический сигнал — шум на заповедных территориях выше, и шансов на выделение сигнала больше.

2. Заповедники обычно расположены на территориях, являющихся представительными для сво-

его региона в отношении основных черт их экосистемы. Поэтому выделяемый в изменении состояния экосистем заповедников климатический сигнал может оказаться типичным для региона.

3. Обитающие в заповедниках редкие или находящиеся под угрозой исчезновения виды растений и животных могут оказаться подверженными влиянию изменения климата. Изучение механизма этого влияния может помочь сохранению этих видов, что является одной из основных функций заповедников.

Оценка влияния изменения климата на экосистемы заповедников основана на применении в основном статистических методов при анализе динамики популяций растений и животных (многолетних рядов данных наблюдений) совместно с данными метеонаблюдений на заповедных и сопредельных территориях (Охраняемые природные территории..., 2001).

Как известно, горные экосистемы (наряду с экосистемами, расположенными в высоких широтах) наиболее чувствительны к изменениям климата. Изучение влияния изменения климата на экосистемы горных биосферных заповедников России (рис. 2.1.3) входит в Программу сохранения биологического разнообразия и устойчивого управления природными ресурсами в горных биосферных заповедниках России на основе исследо-

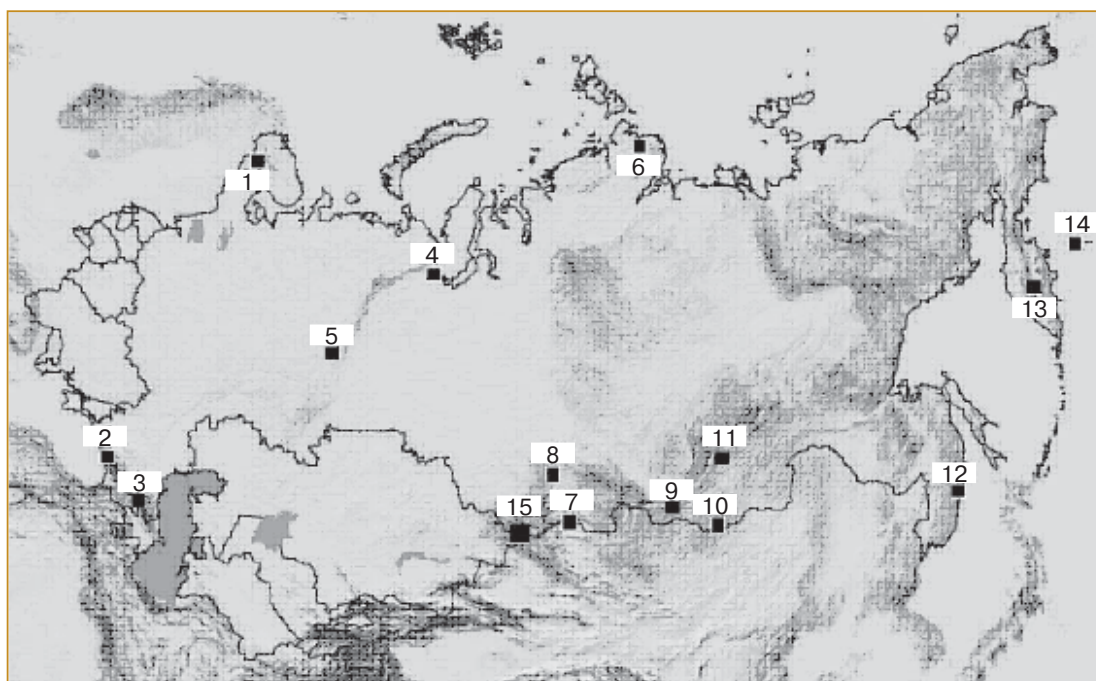


Рис. 2.1.3. Горные биосферные заповедники России. 1) Лапландский, 2) Кавказский, 3) Тебердинский, 4) Печоро-Ильчский, 5) Висимский, 6) Таймырский, 7) Убсунурский, 8) Саяно-Шушенский, 9) Байкальский, 10) Сохондинский, 11) Баргузинский, 12) Сихотэ-Алинский, 13) Кроноцкий, 14) Командорский, 15) Катунский (Badenkov and Drexler, 2006).

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

ваний глобальных изменений и их воздействия на биологическое разнообразие (Исследование глобальных изменений..., 2007).

2.1.7. *Континентальная многолетняя мерзлота и ледниковые системы*

2.1.7.1. *Тенденции изменения современного состояния криолитозоны*

Традиционно основным источником данных о состоянии многолетнемерзлых грунтов, в том числе о вертикальном распределении температуры, служили детальные измерения на мерзлотных станциях и измерения температуры почвы до глубины 3,2 м, проводимые на сети метеорологических станций (Израэль и др., 1999, 2002; Павлов, 1997; Павлов, Малкова, 2005; Zhang et al., 2001; Frauenfeld et al., 2004).

Для оценки изменения состояния континентальной многолетней мерзлоты в условиях современного потепления требуются данные о температуре воздуха, осадках и температуре почвогрунтов. Это необходимо для правильной атрибуции наблюдаемых изменений температурного режима многолетнемерзлых пород (ведь температура воздуха не всегда является определяющим фактором для термического режима почвогрунтов), а также для оценки переходных процессов. В XX веке такие комплексные наблюдения проводились, но они не были массовыми.

При исследованиях современных изменений температуры различные авторы в зависимости от стоящих перед ними задач и доступности исходных данных выбирают для сравнения разные периоды наблюдений (Гаврилова, 2005; Четвертое национальное сообщение РФ, 2006).

Так, в работе (Четвертое национальное сообщение РФ, 2006) проанализированы данные наблюдений за температурой воздуха, температурой почвы на глубинах 80 и 160 см, количеством осадков и высотой снежного покрова на 34 метеорологических станциях, в основном охватывающих равнинные регионы севера России. Для проведения ретроспективного анализа были сформированы временные ряды среднемесячных значений упомянутых выше величин за 1961–2003 гг., которые трансформировались в ряды среднегодовых значений, а также в ряды значений, осредненных для холодного и теплого периодов календарного года. При обработке данных были использованы стандартные процедуры корреляционного и регрессионного анализа временных рядов и статистического оценивания (Езекиэл, Фокс, 1986; Закс, 1986; Четыркин, 1977).

В начале 1990-х годов была организована международная программа циркумполярного монито-

ринга многолетней мерзлоты, в рамках которой были предусмотрены измерения ее параметров на репрезентативных площадках в разных геокриологических зонах (Brown et al., 2000). Эта программа предусматривала организацию стандартных наблюдательных площадок размером 1 × 1 км, на которых через каждые 100 м ежегодно проводятся измерения глубины сезонного протаивания (погружением ручного щупа до упора его в мерзлый грунт). В настоящее время имеется более 140 таких площадок в 7 странах, в том числе более 20 площадок в России. Продолжительность наблюдений на площадках составляет от 1–2 до 10 лет. Данные о расположении площадок, методике и результатах ежегодно обновляемых измерений доступны в Интернет на странице <http://www.udel.edu/Geography/calm/>.

В последние несколько лет наряду с программой циркумполярного мониторинга глубины сезонного протаивания была организована международная сеть наблюдений за температурой в скважинах, пробуренных в многолетней мерзлоте (GTN-P, Global Terrestrial Network — Permafrost). В отличие от предыдущей программы, которая поставляет данные лишь о современных изменениях многолетней мерзлоты, GTN-P дает возможность восстановить изменения температуры мерзлого грунта в прошлом, по крайней мере на протяжении нескольких предшествующих десятилетий, поскольку предполагается получение информации о профиле температуры мерзлого грунта. Эта программа в настоящее время находится в стадии формирования.

Достаточно полную картину крупномасштабных изменений многолетней мерзлоты в условиях современного и прогнозируемого на будущее климата можно получить, используя математическое моделирование. Модели различной степени сложности, описывающие состояние и динамику многолетней мерзлоты, описаны в научной литературе (Анисимов, Белолуцкая, 2003; Анисимов, Нельсон, 1990, 1993, 1997, 1998; Анисимов и др., 1999; Демченко и др., 2002; Израэль и др., 2002; Малевский-Малевиц и др., 2000; Малевский-Малевиц, Надежина, 2002; Anisimov and Nelson, 1996, 1997; Goodrich, 1978, 1982; Nelson and Outcalt, 1978, 1983, 1987; Waelbroeck, 1993).

Математический формализм моделей многолетней мерзлоты основан на уравнениях теплопроводности в многослойной расчетной области, верхней границей которой является верхняя граница растительного или снежного покрова, а нижняя граница зависит от конкретной задачи. Особенностью задачи применительно к многолетней мерзлоте является наличие подвижных границ раздела мерзлого и талого грунта, на которых происходят фазовые переходы воды. Для решения задачи ис-

пользуются либо приближенные полуэмпирические формулы, основанные на частных решениях задачи Стефана, либо численные алгоритмы, осуществляющие расчет изменения во времени вертикального профиля температуры и положения границ раздела фаз в грунте.

2.1.7.2. Ледниковые системы

Размеры и режим ледников весьма изменчивы, и причиной их изменений могут служить как внешние условия, определяемые климатом, так и внутренние динамические процессы, происходящие в ледниках. Состояние оледенения на территории бывшего СССР в целом подверглось детальному исследованию в 1960–1970-х годах, когда проводились широкие гляциологические работы по Международной гидрологической программе. Их итогом стал составленный на основании специального руководства (Руководство по составлению Каталога ледников СССР, 1967) Каталог ледников СССР, в основу которого легли картографические и аэрофотосъемочные материалы, относящиеся в основном к 1950–1960 гг. С тех пор климат на Земле существенно изменился, что отразилось на состоянии оледенения: во многих местах за вторую половину XX века ледники сильно отступили, и режим их претерпел серьезные изменения (Оледенение Северной и Центральной Евразии..., 2006). Приведем в связи с этим источники фактических данных и некоторые методические замечания.

Северо-восток России. Изменение состояния горных ледников северо-востока России в XX веке оценивалось по данным дистанционной спутниковой съемки. Для измерения площадей ледников использованы цифровые космические снимки, полученные камерами ETM+ со спутников серии “Landsat”. Эти снимки представляют собой многозональные изображения с добавлением панхроматического (в градациях серого) канала. Пространственное разрешение зональных каналов составляет 30 м, кроме тепловых, разрешение которых 60 м. Панхроматическое изображение имеет разрешение 15 м. Анализировались следующие параметры: длина, площадь ледника, расстояние от конца ледника до конца конечной морены, а также определялись изменения форм ледников, их дезинтеграция или слияние. Получаемые таким методом оценки суммарного изменения (отступления или наступания) были дополнены расчетами, поскольку снимки “Landsat” охватывали не всю территорию региона, покрытую ледниками.

Большой Кавказ. Изучение оледенения Кавказа начато в конце XIX столетия. В 1911 г. по топографическим картам съемки 1880–1910 гг. и материалам полевых исследований составлен каталог

ледников Кавказа (Подозерский, 1911). В 1965–1975 гг. составлен новый каталог ледников (Каталог ледников СССР. Том 8, том 9, 1967–1978). Современное состояние ледников Большого Кавказа описано в монографии (Лурье, 2002). Сравнительный анализ этих данных позволил обнаружить ряд тенденций в состоянии оледенения Большого Кавказа.

2.1.8. Северные моря

2.1.8.1. Климат и ледовый покров

Информационной основой для оценки многолетних изменений климата в Арктике является база данных об атмосфере северной полярной области. Архив метеорологических характеристик приземной атмосферы северной полярной области включает среднемесячные данные наблюдений на 247 метеорологических станциях, расположенных севернее 60° с. ш. (Александров, Дементьев, 1995; Arctic Climatology Project, 2000; National Snow and Ice Data Center, 2003). В архив включены также данные наблюдений дрейфовавших в 1937–1991 гг. станций “Северный Полюс” (СП-1 — СП-31) и данные наблюдений с новых станций СП-32 (4), СП-33 и СП-34. Около 4% станций в архиве имеют период наблюдений с середины 1800-х годов, 8% — с начала 1900-х, 34% — с 1920-х годов и 54% с 1940-х годов. В 1990-е годы произошло сокращение числа работающих станций.

Систематические сведения о границе морского арктического льда в приатлантической части Арктики имеются с самого начала XX столетия. Данные о положении ледовой кромки в сибирских арктических водах Северного Ледовитого океана покрывают период с середины 1920-х годов и по настоящее время. Собранные за период инструментальных наблюдений данные о протяженности, сплоченности, возрасте морских льдов сосредоточены в двух мировых центрах данных: в Национальном центре данных о снеге и льде (NSIDC, Boulder, Colorado, США) и в Арктическом и антарктическом научно-исследовательском институте (АНИИ, Санкт-Петербург, Россия, <http://www.aari.nw.ru/gdsidb>).

Имеющиеся оценки протяженности морских льдов в Северо-Европейском бассейне охватывают период с середины XIX столетия, в Северном полушарии — с 1900 г., в Северном Ледовитом океане и арктических морях — с 1920-х годов (Chapman and Walsh, 1993; Vinje, 2001). Сравнение рядов оценок протяженности морских льдов, полученных из разных источников и для разных районов Северного полушария, показывает значительные расхождения между изменчивостью протяженности льда в отдельные месяцы года

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

и лучшее согласие для средних за год. После 1979 г. оценки становятся близкими между собой, поскольку они основаны на спутниковых наблюдениях (Johannessen et al., 2000).

2.1.8.2. Биологические системы северных морей

Для оценки изменения состояния морских экосистем под влиянием меняющегося климата или же загрязнения морской среды используются как структурные, так и функциональные характеристики.

К структурным характеристикам морских экосистем относятся:

- численность и биомасса бактериопланктона (микробиологические показатели);
- численность, видовой состав (биоразнообразие) и биомасса фитопланктона;
- численность, видовой состав (биоразнообразие) и биомасса зоопланктона;
- численность, видовой состав (биоразнообразие) и биомасса бентоса;
- показатели состояния популяций промысловых морских рыб;
- показатели состояния популяций морских птиц;
- показатели состояния популяций морских млекопитающих.

К функциональным характеристикам морских экосистем относятся:

- скорости продукционно-деструкционных процессов и соотношение продукционного и деструкционного потоков в экосистеме;
- скорость биологической седиментации органического вещества.

Эти и некоторые другие параметры морских экосистем исследуются при осуществлении программ экологического мониторинга морской среды (Израэль, Цыбань, 1989), в том числе на северных морях. Мониторинг осуществляется в следующих формах:

- периодические комплексные экологические исследования в биопродуктивных и наиболее уязвимых экосистемах Мирового океана, расположенных в разных географических зонах и находящихся под антропогенным воздействием различной интенсивности;
- постоянные наблюдения на контролируемых акваториях внутренних и окраинных морей России силами морской сети Росгидромета.

Наблюдения, выполняемые в рамках второго направления, имеют особую актуальность, так как они проводились до 1992 г. в основном в прибрежных зонах морей, заливах, бухтах, на устьевых взморьях, т. е. в зонах хозяйственной деятельности человека.

Биологические показатели состояния северных морей определяются также в ходе специализированных экспедиций на научно-исследовательских судах. Институтом глобального климата и экологии Росгидромета и РАН были проведены долгопериодные комплексные исследования в Беринговом море с 1981 по 1993 г. во время совместных работ четырех советско- и российско-американских экспедиций (БЕРПАК). Основная цель этих экспедиций состояла в развитии долгопериодных исследований динамики Берингова и Чукотского морей в условиях антропогенного воздействия и глобального изменения климата. Экологические последствия влияния изменения климата на морские экосистемы в первую очередь могут проявиться в арктических районах океана и оказать воздействие на фундаментальные природные явления и биологическую продуктивность арктических морей (Динамика экосистем..., 2000). В ходе экспедиционных работ проведены специальные эксперименты в рамках климатической экологии океана, в частности, по изучению воздействия биологически активной УФ-радиации на важнейшие биологические процессы.

При анализе данных биологических показателей состояния северных морей для описания современного состояния морских экосистем и оценки их изменения, связанного с изменением климата, используются методы оценки трендов и тенденций в имеющихся рядах качественных и количественных характеристик. При этом используются обычные методы сравнения и выявления отклика отдельных показателей на изменение климата.

2.1.9. Южные моря

В данном докладе к южным морям отнесены Черное, Азовское и Каспийское.

2.1.9.1. Анализ гидрометеорологического режима Азовского и Каспийского морей по данным мониторинга в приповерхностном слое

Для выполнения оценок были отобраны наиболее репрезентативные гидрометеорологические данные, полученные береговыми и островными гидрометеорологическими станциями на Азовском и Каспийском морях, а также данные комплексного мониторинга открытой части морей (Гидрометеорология..., 1991; Гидрометеорология..., 1992).

Инструментом анализа связей гидрометеорологических параметров исследуемых морей с параметрами глобальной атмосферной циркуляции был выбран многофакторный регрессионный ана-

лиз. Изменчивость климатических характеристик оценивалась с использованием повторяемости разных типов атмосферной циркуляции над Европейской территорией России. В качестве составляющих водного баланса моря, непосредственно зависимых от атмосферных процессов, были взяты значения речного стока, осадков и испарения.

При оценке тенденций изменения гидрологических характеристик Азовского моря и их связи с режимообразующими факторами основным предиктором был выбран сток Дона, составляющий 3/4 суммарного речного стока в Азовское море.

Для выявления зависимости гидрологических характеристик от циркуляционных процессов над водосбором Дона был проведен многофакторный регрессионный анализ его связи с индексами атмосферной циркуляции Вангенгейма — Гирса — западной (*W*), меридиональной (*C*) и восточной (*E*). Было исследовано суммарное воздействие всех трех типов циркуляции, а также каждого типа по отдельности. При этом были использованы результаты исследований ГОИН, Гидрометцентра России, ГГО и других институтов, установивших зависимости отдельных составляющих гидрометеорологического режима южных и северо-западных морей России от индексов циркуляции Вангенгейма — Гирса. При оценке многолетних тенденций гидрометеорологических характеристик использовались сглаженные данные — применялось 11-летнее скользящее среднее.

2.1.9.2. Дистанционные измерения

Уровень моря. С 1992 г. по настоящее время проводится постоянный мониторинг водной поверхности Мирового океана, окраинных и внутренних морей альтиметрами (высотомерами) с борта космических аппаратов. Этот метод дистанционного измерения высоты морской поверхности относительно центра масс Земли (Chelton et al., 2001; Лебедев, Костяной, 2005) позволяет исключить влияние вертикального движения земной коры при расчетах межгодовой изменчивости уровня Мирового океана и морей (Татевян, 1997; Cazenave et al., 1997; Nerem and Mitchum, 2001; Васильев и др., 2002, 2003; Костяной, Лобковский, 2003; Kostianoy et al., 2004; Лебедев, Костяной, 2004, 2005).

Для анализа межгодовой и сезонной изменчивости уровня южных морей использовались данные спутников “ТОРЕХ/Poseidon” и “Jason-1”. Этот выбор обусловлен следующими причинами. Точность измерения высоты спутника над морской поверхностью составляет 1,7 см (Fu and Pihos, 1994), а расчета самой высоты моря относительно

отсчетного эллипсоида для открытого океана — 4,2 см, что является наилучшей характеристикой по сравнению с другими программами альтиметрических измерений (Chelton et al., 2001). Временной масштаб повторения измерений вдоль треков (9,916 суток) наиболее приемлем для исследования синоптической и сезонной изменчивости уровня южных морей. Массив данных “ТОРЕХ/Poseidon” представляет собой непрерывный и наиболее длинный по времени ряд измерений (с сентября 1992 г. по август 2002 г.) с возможностью его дополнения данными спутника “Jason-1” (с января 2002 г. по настоящее время). Расположение треков последнего полностью совпадает с расположением треков спутника “ТОРЕХ/Poseidon” до совершения последним маневра коррекции орбиты 19 августа 2002 г.

Таким образом, для оценок были использованы объединенные данные спутников “ТОРЕХ/Poseidon” и “Jason-1” (сентябрь 1992 г. — декабрь 2006 г.) из Интегрированной базы данных спутниковой альтиметрии (ИБДСА), разработанной в Геофизическом центре РАН (ГЦ РАН) (Лебедев, 1996; Medvedev et al., 1997; Лебедев, Медведев, 2000) на основе исходных данных спутниковой альтиметрии (AVISO, 1996; Venada, 1997; Picot et al., 2003). Последние были получены из архива по физической океанографии Лаборатории реактивного движения Калифорнийского технологического института (PODAAC JPL NASA) и архива спутниковой океанографии (AVISO).

ИБДСА модернизируется и регулярно пополняется спутниковой информацией. Она внесена в Государственный регистр баз данных Федерального агентства по информационным технологиям Министерства информационных технологий и связи Российской Федерации (№ 0229905292, свидетельство № 4989 от 28 марта 2006 г.*).

ИБДСА содержит необходимые параметры, которые позволяют не только физически корректно рассчитать высоту морской поверхности с учетом особенностей метода спутниковой альтиметрии (Лебедев, Костяной, 2005), но и исследовать изменчивость ветрового режима, режима волнения и ледового покрова на акватории южных морей (Костяной, Лобковский, 2003; Kouraev et al., 2003, 2004a, 2004b; Лебедев, Костяной, 2004, 2005).

Для Каспийского моря создана специализированная Интегрированная база данных спутниковой альтиметрии Каспийского моря (ИБДСА “Каспий”). Она основана на новых технологиях дистанционного определения уровня Каспийского моря, скорости приводного ветра и высоты волн, а также расхода (стока) реки Волга по данным

* Первоначальное свидетельство № 4889 от 19 апреля 1999 г. было заменено при перерегистрации ГЦ РАН.

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

спутниковой альтиметрии. База данных содержит результаты измерений следующих параметров: время, координаты, высота морской поверхности, высота ветровых волн, скорость приводного ветра. Они дополнены результатами расчетов высот геоида, аномалий силы тяжести, средних высот поверхности моря, а также данными динамической топографии, данными о глубине моря и ряде признаков, характеризующих режим работы альтиметра. ИБДСА “Каспий” включает программно-методическое обеспечение для сбора, хранения, обработки и анализа спутниковой альтиметрической информации. ИБДСА “Каспий” зарегистрирована в Государственном регистре баз данных Федерального агентства по информационным технологиям Министерства информационных технологий и связи Российской Федерации (№ 0220611211, Регистрационное свидетельство № 10505 от 14 июля 2006 г.).

Исследование межгодовой и сезонной изменчивости уровня южных морей проводилось на основе анализа изменчивости высот морской поверхности в точках пересечения восходящих и нисходящих треков. Для морей, на акватории которых точки пересечения отсутствуют (Азовское море и Малый Арал), выбиралась точка на треке, равноудаленная от береговой линии.

Температура поверхности моря (ТПМ). ТПМ — важнейший гидрофизический параметр, определяющий теплообмен между морем и атмосферой. Она влияет также на циркуляцию вод и экологическое состояние бассейна. Из-за малой толщины верхнего перемешанного слоя (примерно 10 м летом и не более 100 м зимой) в южных морях температура поверхностного слоя (и поверхности) быстро реагирует на изменение гидрометеорологических характеристик атмосферы, вследствие чего ТПМ подвержена существенной пространственной и временной (межгодовой, сезонной и синооптической) изменчивости. Основой исследования этой изменчивости ТПМ, особенно в условиях сокращения региональных гидрологических измерений и съемок в масштабе моря, может быть только регулярная и непрерывно пополняемая спутниковая информация с высоким пространственно-временным разрешением.

В исследованиях изменчивости ТПМ Черного (Гинзбург и др., 2001; Ginzburg et al., 2004), Каспийского (Гинзбург и др., 2004; Ginzburg et al., 2005) и Аральского (Гинзбург и др., 2002; Ginzburg et al., 2003) морей в период с 1982 по 2000 г. в качестве исходного использовался доступный через Интернет глобальный массив температурных данных NODS/MCSST (the NASA Ocean Data System/Multi-Channel Sea Surface Temperature), создаваемый в JPL (Jet Propulsion Laboratory), США, на основе измерений радиометрами AVHRR

(Advanced Very High Resolution Radiometer) спутников NOAA. Еженедельные данные этого массива имеют пространственное разрешение $1/6^\circ$ (около 18 км) (данные доступны на сайте <http://podaac.jpl.nasa.gov/products/product16.html>).

Массив NODS/MCSST существует в двух видах: “истинные” (“valid”) значения ТПМ, восстановленные по измерениям радиометра на свободных от облачности участках поверхности моря, и интерполированные (“interpolated”), когда значения ТПМ в пикселах с отсутствующими измерениями получены путем интерполяции как средние из значений в соседних пикселах. В вышеупомянутых исследованиях использовались интерполированные данные о ТПМ. При этом из глобального массива интерполированных данных выбирались файлы для каждой недели в пределах исследуемого периода, относящиеся к выбранной акватории. Полное количество пикселей ($1/6 \times 1/6^\circ$) в массивах, соответствующих Черному, Каспийскому и Аральскому морям, оказалось равным соответственно 1416, 1260 и 213.

В работе (Ginzburg et al., 2007) при исследовании изменчивости температурного режима Черного моря в период 1982–2002 гг. использовались комбинированные спутниковые данные о температуре: еженедельные значения ТПМ массива NODS/MCSST (1982–1984 гг.) и среднемесячные значения ТПМ проекта “Pathfinder” (совместного проекта NOAA/NASA, нацеленного на построение высококачественной глобальной базы данных о ТПМ). Этот массив данных, подготавливаемый также в JPL, доступен через Интернет с 1985 г. по настоящее время. Массив данных Pathfinder-ТПМ существует в двух видах: “все” (“all”) значения ТПМ и “лучшие” (“best”), прошедшие тестирование различными методиками. В данной работе использовались данные о ТПМ с флагами 4–7 (“best”) и пространственным разрешением около 9 км (данные доступны на сайте <http://podaac.jpl.nasa.gov/products/product102.html>).

Данные о ТПМ обоих массивов, NODS/MCSST и Pathfinder, полученные на основе одних и тех же измерений радиометром AVHRR, но с использованием разных алгоритмов восстановления ТПМ ((McClain et al., 1985; Walton, 1988) соответственно), имеют разрешение по температуре около $0,1^\circ\text{C}$. Для исключения эффекта дневного прогрева, который в солнечную штилевую погоду может достигать $\sim 3,5^\circ\text{C}$ (Федоров, Гинзбург, 1988), использовались данные, соответствующие ночным измерениям. Поскольку в качестве опорных при восстановлении ТПМ по данным радиометров AVHRR используются подповерхностные измерения (в основном с помощью дрейфующих буев, см. (McClain et al., 1985)), данные массивов NODS/MCSST и Pathfinder фактически соответ-

ствуют поверхностному слою моря (Федоров, Гинзбург, 1988) и могут сопоставляться с результатами гидрологических измерений вблизи поверхности моря.

Обработка исходных массивов дистанционно измеренных значений ТПМ включала:

1. Расчет средних недельных, месячных, сезонных значений ТПМ для всего моря и выделенных в его пределах районах с заметно различающимися, вследствие различия локальных физико-географических условий, глубины и особенностей циркуляции вод, гидрологическими параметрами. В Каспийском море были выделены 4 таких района: Северный, Средний и Южный Каспий, залив Кара-Богаз-Гол (Гинзбург и др., 2004; Ginzburg et al., 2005), в Аральском — 3 района, расположенные в западной и центральной частях Большого моря и в Малом море (Гинзбург и др., 2002; Ginzburg et al., 2003);

2. Построение сезонных циклов средних недельных (или среднемесячных) значений ТПМ в рассматриваемый период;

3. Нахождение средней годовой ТПМ для всего моря и выделенных в его пределах районов для каждого года в рассматриваемый период;

4. Определение долговременного тренда средней для моря ТПМ в рассматриваемый период и характера изменения этого тренда в отдельные подпериоды.

На основании результатов обработки дистанционных измерений ТПМ выполнено сравнение характера ее изменения в рассматриваемый период с таковым в предшествующий период (по опубликованным данным).

Валидация дистанционных измерений ТПМ в южных морях на основе синхронных спутниковых и гидрологических измерений в масштабе моря отсутствует, хотя результаты такой валидации для глобального массива NODS/MCSST известны: среднее смещение значений ТПМ на основе дистанционных измерений относительно данных дрейфующих буев составляет $0,1^{\circ}\text{C}$ при среднеквадратическом отклонении $0,5^{\circ}\text{C}$ (McClain et al., 1985). Для Черного моря валидация данных массивов NODS/MCSST и Pathfinder в работе (Ginzburg et al., 2007) выполнена на основе сопоставления вычисленных средних по морю значений ТПМ для февраля–марта каждого года в период 1985–1995 гг. с соответствующими значениями гидрологических измерений, представленными в работе (Belokopytov, 1998). Установлено, что разность между дистанционными и гидрологическими измерениями ТПМ не превышает в большинстве случаев $0,3^{\circ}\text{C}$, а ее среднее значение равно $0,15^{\circ}\text{C}$. При этом значения ТПМ массива NODS/MCSST в среднем больше, а массива Pathfinder меньше значений температуры по дан-

ным гидрологических измерений. Разность среднесезонных (весенних и осенних) значений ТПМ, оцененных по данным массивов NODS/MCSST и Pathfinder, может достигать $0,5\text{--}0,7^{\circ}\text{C}$ и иметь разные знаки, но при расчете среднегодовых значений ТПМ эти сезонные различия данных практически компенсируют друг друга (Ginzburg et al., 2007).

Плотность биомассы фитопланктона. Анализ пространственно-временных вариаций биомассы фитопланктона в Черном и Каспийском морях выполнен на основе спутниковых данных радиометров Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor на спутнике “OrbView-2” (SeaWiFS; использовались данные с сентября 1997 г. по конец 2004 г. для Каспия и по май 2006 г. для Черного моря) и MODerate resolution Imaging Spectroradiometer на спутнике “Aqua” (MODIS-A; данные начиная с июля 2002 г.). Спутниковые данные были получены из открытых архивных центров Национального управления по аэронавтике и космосу США (National Aeronautics and Space Administration; NASA GSFC DAAC). Формат использованных данных представляет собой регулярную сетку, охватывающую весь земной шар с пространственным разрешением около 9 км для данных SeaWiFS и 4,5 км для MODIS-A. Концентрация хлорофилла в поверхностном слое вычисляется исходя из спектральных характеристик водной поверхности по стандартным алгоритмам, разработанным для открытого океана (O’Reilly et al., 1998), которые дают завышенную оценку для замкнутых морей с большим содержанием взвешенного вещества.

В отсутствие общепринятых региональных алгоритмов пересчета данных (Kopelevich et al., 2004) использование спутниковых методов для количественной оценки абсолютных значений продуктивности Черного и Каспийского морей представляется нецелесообразным. Тем не менее спутниковые данные предоставляют уникальную возможность оценить целостную картину распределения биомассы фитопланктона, включая пространственно-временные градиенты, которую невозможно получить другими методами. Поэтому данные SeaWiFS и MODIS-A могут с успехом использоваться для анализа сезонной и межгодовой изменчивости пелагической экосистемы под воздействием таких факторов, как стратификация водной толщи, солнечная радиация, речной сток и т. д. (Nezlin et al., 1999; Nezlin, 2000, 2001, 2005). Для установления причинно-следственных связей также использовались спутниковые данные о температуре поверхности моря с радиометров AVHRR NOAA (1997–2005 гг.) и MODIS-A (2002–2006 гг.) из открытых архивов NASA (JPL PODAAC) с разрешением 4,5 км. Данные о концентрации хлорофилла и ТПМ пересчитывались в

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

среднемесячные значения. Использовались также модельные данные о скорости ветра (NCEP), предоставляемые вместе с данными SeaWiFS и MODIS и используемые при их обработке. Скорость ветра на высоте 10 м (охватывающая весь земной шар сетка с пространственным разрешением 1° широты и долготы) была преобразована в напряжение трения по общепринятой формуле (Large and Pond, 1981). Были также использованы ежемесячные данные о речном стоке Волги (в районе Волгоградской электростанции) и Дуная (г. Измаил). Для анализа межгодовых колебаний использовались ежемесячные климатические индексы североатлантического колебания (NAO), южного колебания (SOI) и Эль-Ниньо 3 (Niño 3), полученные с интернет-сайта Колумбийского университета (США).

2.1.10. *Последствия экстремальных метеорологических явлений*

2.1.10.1. *Вводные замечания*

Наиболее распространенными широкомасштабными последствиями экстремальных метеорологических явлений являются засухи, лесные пожары и экстремальные гидрологические явления — наводнения. Они часто приводят к значительному материальному ущербу и в некоторых случаях сопровождаются увеличением заболеваемости и смертности населения.

2.1.10.2. *Засухи*

Метеорологические предпосылки засухи — аномальная относительно местных климатических условий и времени года жаркая и засушливая погода. Засуха считается биогидрометеорологическим явлением, заключающимся в резком нарушении соответствия между притоком влаги к растениям и ее расходом. Засуха — явление природы, обусловленное циркуляционными процессами в атмосфере и характеризующееся длительным отсутствием осадков (или значительным их сокращением по сравнению со среднегодовыми нормами), повышенной температурой воздуха и сильными ветрами (Грингоф, Пасечнюк, 2005). Формирование засух на территории России связано с циркуляцией атмосферы, приводящей к установлению длительного периода антициклонической погоды.

Существуют три типа засух: атмосферная, почвенная и атмосферно-почвенная (общая). Последняя представляет наибольшую опасность для сельскохозяйственных культур.

Основным признаком атмосферной засухи считают устойчивую антициклоническую погоду с длительными засушливыми периодами, высокой

температурой и большой сухостью воздуха. Почвенная засуха возникает как следствие атмосферной засухи, когда при усиленном испарении запасы влаги в почве быстро уменьшаются и становятся недостаточными для нормального роста и развития растений.

Атмосферно-почвенная засуха — это сочетание условий, характеризующих атмосферную и почвенную засуху. По интенсивности и охвату территории они делятся на сильные, средние и слабые. По времени наступления засух выделены весенние, летние, осенние и зимние (Грингоф, Пасечнюк, 2005). Весенняя засуха характеризуется невысокой температурой и малой влажностью воздуха, малыми запасами продуктивной влаги в почве, сухими ветрами. Летняя засуха обычно отличается высокой температурой, горячими сухими ветрами (суховеями), вызывающими повышенное испарение воды из почвы и интенсивную транспирацию растений. Осенняя засуха характеризуется невысокой температурой воздуха и малыми запасами продуктивной влаги в корнеобитаемых горизонтах почвы. Зимняя засуха наступает в условиях снежного покрова при недостатке влаги в корнеобитаемых горизонтах почвы и при температуре воздуха выше 0°C , когда возобновляется транспирация некоторых растений (в частности, озимых культур), усиливающаяся при солнечной и ветреной погоде.

Считается, что почвенная засуха является следствием атмосферной. Зависимость возникновения почвенных засух разной интенсивности от атмосферных засух также разной интенсивности с учетом периодов вегетации растений исследована в работе (Хомякова, Зоидзе, 2002). Исходными материалами для этого исследования послужили данные о почвенных и атмосферных засухах 1951–1985 гг. Полученные регрессионные уравнения дают возможность оценки вероятности почвенных засух на Европейской территории России по данным о вероятности атмосферных засух.

Для оценки влияния засух на сельское хозяйство используются данные мониторинга и специальные прикладные климатические индексы. Программа агрометеорологического мониторинга на станциях наблюдательной сети Росгидромета включает измерения комплекса метеорологических показателей в сочетании с измерением параметров состояния почвы, роста и развития сельскохозяйственных культур, трав и древесной растительности. Эта работа выполняется в соответствии с Наставлением гидрометеорологическим станциям и постам, а также со специальными инструкциями.

Удобным и весьма распространенным показателем степени увлажненности территории (прикладным климатическим индексом), который ис-

Таблица 2.1.4. Шкала для классификации уровней влагообеспеченности по значению ГТК (Зоидзе, Хомякова, 2006)

ГТК	Характеристика влагообеспеченности	ГТК	Характеристика степени влагообеспеченности
≤ 0,20	Очень сильная засуха	0,76–1,00	Недостаточная
0,21–0,39	Сильная засуха	1,10–1,40	Оптимальная
0,40–0,60	Средняя засуха	1,41–1,50	Повышенная
0,61–0,75	Слабая засуха	≥ 1,50	Избыточная

пользуется при анализе засух, является гидротермический коэффициент (ГТК) Г. Т. Селянинова

$$ГТК = (\Sigma R) / (0,1 \Sigma T).$$

Здесь ΣR — сумма осадков (мм) за какой-либо период календарного года, а ΣT — сумма активных температур, т. е. сумма среднесуточных значений температуры воздуха в °С за те сутки этого периода календарного года, когда температура превышала 10°С. В этой формуле знаменатель характеризует испаряемость. Этот показатель уже появлялся в разделе 2.1.3, касающемся гидрометеорологических условий произрастания сельскохозяйственных растений. В этом случае суммирование в формуле для вычисления ГТК производится для летних месяцев, т. е. для периода июнь – август.

В работе (Зоидзе, Хомякова, 2006) представлена шкала (табл. 2.1.4) для характеристики влагообеспеченности территории, использующая значения ГТК, которые вычисляются по рядам суточных значений температуры и осадков, характерных для данной территории. При этом могут использоваться как значения ГТК для какого-либо конкретного года, так и средние значения за определенный период (например, десятилетие, двадцатилетие и т. д.). Для характеристики обширных территорий употребляется также осреднение по пространству.

2.1.10.3. Горимость леса (потенциальная пожароопасность)

Пожароопасная обстановка в лесах создается при установлении сухой и жаркой погоды и нарастает с увеличением продолжительности периода с такими условиями погоды. При возникновении таких экстремальных условий пожар может возникнуть как по естественной причине (например, из-за разряда молнии), так и по антропогенной причине — неосторожного обращения с огнем. Возникший пожар распространяется тем быстрее, чем суше лесная подстилка, выше температура воздуха, меньше его относительная влажность и

больше скорость ветра. В летнее время лес достигает определенной сухости при длительных антициклональных условиях погоды.

Для оценки степени потенциальной пожароопасности леса в зависимости от метеорологических условий используется индекс горимости леса, который определяется по формуле, предложенной В. Г. Нестеровым (Методические указания..., 1975; Хандожко, 1981; Шерстюков, 2003). Индекс горимости G вычисляется для текущих суток календарного года следующим образом:

$$G = \sum_i (T_i d_i).$$

Здесь T_i — температура (°С) воздуха в полдень (13 ч), d_i — дефицит точки росы в полдень (°С); суммирование производится по совокупности текущих и всех предшествующих идущих подряд бездождных суток (т. е. с осадками < 2,5 мм/сутки). Размерность G есть (°С)². Этот индекс может быть вычислен на основе данных срочных наблюдений, проводимых на метеостанциях сети Росгидромета.

При выполнении качественных оценок удобно пользоваться не непрерывным спектром значений индекса G , а дискретными шкальными значениями — классами горимости. Их определение дано в табл. 2.1.5.

Гидрометеорологическая обстановка, которой соответствует горимость IV и V классов, включена в список особо опасных явлений для народного хозяйства.

Количество суток N за календарный год или за какой-либо период года (например, сезон), имевших заданный класс горимости леса (или класс горимости которых был не ниже заданного), часто употребляется в климатических обобщениях.

Долговременные изменения количества суток с заданным классом горимости (или же с “заданным и выше”) оценивается по относительному изменению количества суток с заданным классом, соответствующего линии линейного тренда. За многолетний период времени от года t_0 до года t_1 для значений N строится уравнение линейной регрессии $N^*(t)$ и вычисляются значения в начале

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

Таблица 2.1.5. Классы горимости (Шерстюков, 2003)

Класс горимости	Выраженность горимости	Диапазон значений индекса горимости, (°C) ²
I	Отсутствует или малая	0–300
II	Средняя	301–1000
III	Высокая	1001–4000
IV	Особо опасная	4001–10 000
V	Чрезвычайная	> 10 000

рассматриваемого периода времени $N^*(t_0)$ и в конце периода $N^*(t_1)$. Отношение их разности к значению $N^*(t_0)$, выраженное в процентах, является характеристикой изменения потенциальной пожарной опасности леса на отрезке времени $[t_0, t_1]$:

$$\Delta_{\%}N^* = 100(N^*(t_1) - N^*(t_0))/N^*(t_0).$$

Использование процедуры сглаживания с помощью уравнения линейной регрессии (т. е. использование значений N^* вместо исходных N) дает возможность уменьшить влияние межгодовой изменчивости на результаты оценки.

Иногда вместо значения N^* в базовый год t_0 в этой формуле используется среднее за какой-либо базовый период (например, 1961–1990 гг.), а вместо значения N^* в последний год t_1 — среднее по некоторому интервалу последних лет.

2.1.10.4. Наводнения

Наводнение — экстремальное гидрологическое явление, возникающие при отклонениях гидрологических характеристик от средних многолетних значений, свойственных определенному водному объекту (реке, озеру, водохранилищу). Причинами наводнений могут быть:

— экстремальные метеорологические явления — резкое повышение прихода водных масс с осадками или вследствие нагонных процессов или интенсивное таяние снега и льда вследствие экстремально высоких значений температуры воздуха;

— экстремальные гидрологические явления в прибрежных зонах — цунами;

— аварии на гидротехнических сооружениях, связанные с естественными или же антропогенными факторами.

Для оценок выраженности наводнений используются результаты срочных наблюдений комплекса гидрологических характеристик на сети гидрологического мониторинга, выполняемых согласно соответствующим наставлениям: расходов и уровня воды, сроков установления и продолжительности ледостава и др.

Для выполнения оценок опасности наводнений при весенних половодьях и дождевых паводках используются показатели максимального уровня или расхода воды X и их верхние квантили $X_{0,05}$, $X_{0,1}$, $X_{0,25}$ и $X_{0,4}$ (Доброумов, Тумановская, 2002). Методами статистического анализа многолетних гидрологических рядов (Analyzing..., 1988; Семенов и др., 1994) оцениваются направленность и вероятность изменений экстремальных значений расходов воды на реках или уровней воды на водоемах, что дает информацию об увеличении или уменьшении вероятности высоких наводнений.

Используется следующая классификация наводнений, весенних половодий и дождевых паводков (их типичные последствия приведены в соответствии с учетом категорий чрезвычайных ситуаций, введенных Министерством Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий — МЧС РФ):

— *катастрофическое наводнение*: $X > X_{0,05}$. Может привести к продолжительному (более 7 суток) и значительному по площади (более 50%) затоплению городов и населенных пунктов. Катастрофическое наводнение может привести к экологическому бедствию и иметь характер чрезвычайной ситуации всех уровней;

— *опасное наводнение*: $X_{0,1} < X < X_{0,05}$. Может привести к частичному (25–50% площади) и непродолжительному (от 3 до 7 суток) затоплению городов, населенных пунктов и пойменных массивов, используемых под сельское хозяйство. Опасное наводнение может создать экологическую опасность и иметь характер чрезвычайной ситуации всех уровней;

— *высокое весеннее половодье или высокий дождевой паводок*: $X_{0,25} < X < X_{0,1}$. Может привести к незначительному (10–25%) и непродолжительному (от 1 до 3 суток) затоплению населенных пунктов и пойменных массивов, используемых под сельское хозяйство. Этот вид наводнения может иметь характер локальной и местной чрезвычайной ситуации;

— *среднее весеннее половодье или средний дождевой паводок*: $X_{0,4} < X < X_{0,25}$. Может привести к



Рис. 2.1.4. Районы наводнений, классифицированные по степени их опасности. Пояснения приведены в тексте.

незначительному (менее 10%) и непродолжительному (менее суток) затоплению лишь пойменных массивов, используемых под сельское хозяйство. Это явление в исключительных случаях может иметь характер локальной чрезвычайной ситуации.

С 1991 г. во ВНИИГМИ-МЦД ведется учет выдающихся наводнений, их продолжительности, причиненного ущерба на территории всех субъектов Российской Федерации. Эти материалы используются для приближенной оценки направленности изменений частоты и продолжительности опасных наводнений разного генезиса на реках России.

Районирование территории России по степени опасности и причиняемому наводнениями ущербу с учетом их генезиса, повторяемости, высоты наводнений представлено на рис. 2.1.4 (Семенов, Коршунов, 2006; Доброумов, Тумановская, 2002). Следующие районы обозначены на карте следующими цифрами 1–5.

1. Катастрофические и опасные наводнения, вызванные весенним и весенне-летним половодьем (при отсутствии заторов и зажоров) на густонаселенных (с плотностью свыше 100 тыс. человек на 1 км²) территориях предгорий Кавказа, бассейна р. Дон и междуречья его с Волгой. В этом районе интенсивный выход воды на пойму отмечается раз в 5 лет, а при максимальных расходах воды повторяемостью раз в 100 лет с семикратным превышением среднегодовым максимальных расходов воды может сформироваться катастрофическое наводнение с нанесением очень большого ущерба.

2. Катастрофические и опасные наводнения, вызванные дождевыми половодьями, смешанными паводками и селевыми потоками на реках горных и предгорных районов Северного Кавказа, а также рек бассейна Амура, Западных и Восточных Саян, где интенсивный выход воды на пойму наблюдается раз в 20 лет, а максимальные расходы редкой повторяемости превышают их средние многолетние значения в 5–10 раз и приводят к значительному материальному ущербу. Особенно острая ситуация в результате наводнений складывается в нижнем течении Терека, где русло реки находится выше окружающей местности и активно развиваются русловые процессы. В период участвовавших паводков река прорывает дамбы обвалования и затапливает большие территории, нанося огромный материальный ущерб.

3. Катастрофический и опасный характер имеют высокие весенние и весенне-летние половодья на территориях предгорий Урала, Алтая, рек юга Западной Сибири с плотностью населения в среднем менее 25 человек на 1 км², где интенсивный выход воды на пойму наблюдается раз в 10 лет, а в отдельные годы может сформироваться половодье, при котором максимум расхода воды в 5 раз превышает средний многолетний максимальный расход. По этой причине, например, в городах Барнаул, Бийск (предгорья Алтая), Орск, Уфа (предгорья Урала) частичное затопление во время наводнений в последние годы бывает раз в 2–3 года.

4. Катастрофические и опасные наводнения в период весеннего половодья на реках с площа-

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

дью водосбора более 50 тыс. км² во многих районах России (центральные и северные районы ЕТР, Восточной Сибири и северо-востока страны, Камчатка), где максимальные расходы воды осложняются заторами льда, продолжительность затопления пойменных участков может составлять от 12 до 24 суток, а максимальные расходы могут превышать их средние многолетние значения в 2 раза.

5. Катастрофические наводнения, обусловленные ледовыми заторами и зажорами (в первом случае перегораживанием водотока льдом, во втором — резким сужением проходного сечения русла из-за накопления льда), характерные для рек Сибири и севера ЕТР, особенно в местах выхода рек из гор на равнину. Иногда катастрофические наводнения при ледовых заторах бывают и в южных районах страны (например, в Краснодарском крае в 2002 г.).

На всей территории России большую опасность представляют дождевые паводки редкой повторяемости на водосборах площадью менее 25–50 км². Они приводят в летне-осенний период к затоплению сельскохозяйственных угодий, наносят тем самым значительный материальный ущерб, снижая урожайность сельскохозяйственных культур.

2.1.11. Литература

- Александров Е. И., Дементьев А. А., 1995.** База приземных метеорологических данных полярных районов и ее использование, в кн.: Формирование базы данных по морским льдам и гидрометеорологии, СПб, Гидрометеоиздат, с. 67–75.
- Александрова А. А., 2006.** Климатологическое обеспечение теплового режима зданий на северо-западе Европейской территории России. Автореферат на соискание ученой степени кандидата географических наук, 25 с.
- Аненхонов О. А., Кривобоков Л. В., 2006.** Тенденции изменения флористического состава лесной растительности Северного Прибайкалья при потеплении климата, Экология, № 4, с. 280–286.
- Анисимов О. А., Белолуцкая М. А., 2003.** Влияние изменения климата на вечную мерзлоту: прогноз и оценка неопределенности, в кн.: Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем, СПб, Гидрометеоиздат, т. XIX, с. 21–38.
- Анисимов О. А., Нельсон Ф. Э., 1990.** О применении математических моделей для исследования взаимосвязи климат — вечная мерзлота, Метеорология и гидрология, № 10, с. 13–19.
- Анисимов О. А., Нельсон Ф. Э., 1993.** Зональность криолитозоны России в условиях антропогенного изменения климата, Метеорология и гидрология, № 10, с. 87–93.
- Анисимов О. А., Нельсон Ф. Э., 1997.** Влияние изменения климата на вечную мерзлоту в Северном полушарии, Метеорология и гидрология, № 5, с. 71–80.
- Анисимов О. А., Нельсон Ф. Э., 1998.** Прогноз изменения мерзлотных условий в Северном полушарии: применение результатов балансовых и транзитивных расчетов по моделям общей циркуляции атмосферы, Криосфера Земли, т. 2, № 2, с. 53–57.
- Анисимов О. А., Нельсон Ф. Э., Павлов А. В., 1999.** Прогнозные сценарии эволюции криолитозоны при глобальных изменениях климата в XXI веке, Криосфера Земли, т. 3, № 4, с. 15–25.
- Анисимов О. А., Белолуцкая М. А., Лобанов В. А., 2003.** Современные изменения климата в области высоких широт Северного полушария, Метеорология и гидрология, № 1, с. 18–30.
- Афонин А. Н., Гринн С. Л., Дзюбенко Н. И., Фролов А. Н., 2006.** Интерактивный атлас полезных растений, их вредителей и экологических факторов России и сопредельных государств (Интернет-версия 1.0), СПб, Россия, Санкт-Петербургский государственный университет, Факультет географии, <http://www.agroatlas.ru>.
- Беклемишев В. Н., 1970.** Биоэкологические основы сравнительной паразитологии, М., Наука, 502 с.
- Берлянт А. М., 1997.** Геоинформационное картографирование, М., Изд-во МГУ, 64 с.
- Безр С. А., Эльпинер Л. И., 2004.** Паразитарные системы и заболеваемость паразитозами в связи с изменением климата, в кн.: Изменение климата и здоровье России в XXI веке. Сборник материалов международного семинара (5–6 апреля 2004 г.), под ред. Н. Ф. Измерова, Б. А. Ревича, Э. И. Коренберга, М., Издательское товарищество “АдамантЪ”, с. 157–166.
- Борликов Г. М., Харин Н. Г., Бананова В. А., Татеиши Р., 2000.** Опустынивание засушливых земель Прикаспийского региона, Ростов-на-Дону, Изд-во СКНЦ ВШ, 89 с.
- Ваганов Е. А., Шашкин А. В., 2000.** Рост и структура годичных колец хвойных, Новосибирск, Наука, 232 с.
- Ваганов Е. А., Шиятов С. Г., 1999.** Роль дендроклиматических и дендрогидрологических исследований в разработке глобальных и региональных экологических проблем (на примере азиатской части России), Сибирский экологический журнал, т. VI, № 2, с. 111–115.
- Ваганов Е. А., Шиятов С. Г., Мазепа В. С., 1996.** Дендроклиматические исследования в Урало-Сибирской субарктике, Новосибирск, Наука, 324 с.
- Васильев А. С., Лапшин В. Б., Лупачев Ю. В., Медведев П. П., Победоносцев С. В., 2002.** Исследование уровня Каспийского моря по спутниковым альтиметрическим измерениям, Труды ГОИН, вып. 208, с. 277–292.
- Васильев А. С., Лапшин В. Б., Лупачев Ю. В., Победоносцев С. В., 2003.** К проблеме монито-

- ринга среднего уровня Каспия по данным спутниковой альтиметрии, в кн.: Гидрометеорологические аспекты проблемы Каспийского моря и его бассейна, под ред. И. А. Шикломанова, А. С. Васильева, с. 131–140.
- Венгорек В., 1958.** Биология и экология колорадского жука (*Leptinotarsa decemlineata* Say) в Польской Народной Республике, в сб.: Колорадский жук и меры борьбы с ним, т. 2, М., Изд-во АН СССР, с. 74–80.
- Воскова А. В., Минин А. А., 2005.** Современные тенденции изменения продолжительности вегетационного периода в центральной части Русской равнины, в сб.: Геология в школе и вузе: Геология и цивилизация. Материалы IV Международной конференции, СПб, Эпиграф, с. 273–275.
- Гаврилова М. К., 2005.** Изменение климата в области вечной мерзлоты Евразии в XX столетии, в сб.: Материалы Третьей конференции геоэкологов России, т. 2, М., МГУ, с. 45–50.
- Гаппаров Ф. А., 1987.** Влияние экологических факторов на поведение саранчовых, в кн.: Интегрированный метод защиты хлопчатника и сопутствующих культур от вредителей, болезней и сорняков, Ташкент, САНИИЗР Госагропрома СССР, с. 44–47.
- Гельвер Е. С., 2002а.** Об одном методе геоэкологически ориентированного картирования климата, в кн.: Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем, т. 18, СПб, Гидрометеоиздат, с. 358–367.
- Гельвер Е. С., 2002б.** Учет неопределенности и пропусков в данных при когерентном отображении состояния окружающей среды и климата, в кн.: Научные аспекты экологических проблем России. Труды Всероссийской конференции, Москва, 13–16 июня 2001 г., М., Наука, т. 2, с. 147–152.
- Георгиевский В. Ю., Ежов А. В., Шалыгин А. Л., 1997.** Оценка изменений стока рек под влиянием хозяйственной деятельности и глобального потепления климата. Доклады международного симпозиума “Расчеты речного стока”, ЮНЕСКО, с. 75–81.
- Георгиевский В. Ю., Ежов А. В., Шалыгин А. Л., Шикломанов И. А., Шикломанов А. И., 1996.** Оценка влияния возможных изменений климата на гидрологический режим и водные ресурсы рек территории бывшего СССР, Метеорология и гидрология, № 11, с. 89–99.
- Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР, 1991.** Проект “Моря СССР”. Том V, Азовское море, СПб, Гидрометеоиздат, 236 с.
- Гидрометеорология и гидрохимия морей, 1992.** Проект “Моря”. Т. VI, Каспийское море. Вып. 1, Гидрометеорологические условия, СПб, Гидрометеоиздат, 359 с.
- Гинзбург А. И., Костяной А. Г., Шерemet Н. А., 2001.** Об использовании спутниковых данных в исследовании сезонной и межгодовой изменчивости температуры поверхности Черного моря, Исследование Земли из космоса, № 1, с. 51–61.
- Гинзбург А. И., Костяной А. Г., Шерemet Н. А., 2002.** Термический режим Аральского моря в современный период (1982–2000) по спутниковым данным, Исследование Земли из космоса, № 4, с. 62–69.
- Гинзбург А. И., Костяной А. Г., Шерemet Н. А., 2004.** Сезонная и межгодовая изменчивость температуры поверхности Каспийского моря, Океанология, т. 44, № 5, с. 645–659.
- Гитарский М. Л., Карабань Р. Т., 2001.** Реакция лесных экосистем Европейской части России на изменение климата, в кн.: Влияние изменения климата на экосистемы. Охраняемые природные территории России: анализ многолетних наблюдений, под ред. А. Кокорина, А. Кожаринова, А. Минина, ч. 1, М., с. 24–27.
- Глазовский Н. Ф., Орловский Н. С., 1996.** Проблемы опустынивания и засух в СНГ и пути их решения, Известия РАН, сер. географ., № 4, с. 7–23.
- Гордиенко Н. С., Минин А. А., 2006.** Фенологические тенденции последних десятилетий в природе Южного Урала, Известия РАН, серия географ., № 3, с. 48–56.
- Государственный доклад “О санитарно-эпидемиологической обстановке в Российской Федерации в 2000 г.”, 2001.** М., Минздрав России, 188 с.
- Государственный доклад “О санитарно-эпидемиологической обстановке в Российской Федерации в 2004 году”, 2005.** М., Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 269 с.
- Государственный доклад “О санитарно-эпидемиологической обстановке в Российской Федерации в 2005 году”, 2006.** М., Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 293 с.
- Гречиха А. П., 2004.** Определение опасных гидрометеорологических явлений. Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций, Труды III научно-практической конференции, 22–23 октября 2003 г., М., Едиториал УРСС, с. 19–29.
- Грингоф И. Г., Пасечнюк А. Д., 2005.** Агрометеорология и агрометеорологические наблюдения, СПб, Гидрометеоиздат, 552 с.
- Груза Г. В., Ранькова Э. Я., 2004.** Обнаружение изменений климата: состояние, изменчивость и экстремальность климата, Метеорология и гидрология, № 4, с. 50–66.
- Демченко П. Ф., Величко А. А., Елисеев А. В., Мохов И. И., Нечаев В. П., 2002.** Зависимость условия распространения вечной мерзлоты от уровня глобального потепления: сравнение моделей, сценариев и данных палеорекоkonструкций, Известия РАН. Физика атмосферы и океана, т. 38, № 2, с. 165–174.

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

- Детинова Т. С., 1962. Методы установления возрастного состава двукрылых насекомых, имеющих медицинское значение, Женева, ВОЗ, 220 с.
- Динамика экосистем Берингова и Чукотского морей, 2000. Под ред. Ю. А. Израэля, А. В. Цыбань, М., Наука, 357 с.
- Доброумов Б. М., Тумановская С. М., 2002. Наводнения на реках России: их формирование и районирование, Метеорология и гидрология, № 12, с. 70–78.
- Езекиэл М., Фокс К. А., 1986. Методы анализа корреляций и регрессий, М., Статистика, 558 с.
- Ермаков А. В., 1998. Будет ли саранча в 1998 году?, Защита и карантин растений, № 3, с. 18–19.
- Журавлев В. Н., 1960. Некоторые особенности биологии колорадского жука в Калининградской области, Защита растений от вредителей и болезней, № 9, с. 50–51.
- Журавлев В. Н., 1964. Биология колорадского жука (*Leptinotarsa decemlineata* Say) и его значение как вредителя картофеля в Калининградской области. Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. биол. наук, Л., с. 1–23.
- Журавлев В. Н., 1993. Всегда ли опасен колорадский жук?, Защита растений, № 5, с. 6–8.
- Закс Л., 1986. Статистическое оценивание, М., Статистика, 360 с.
- Захаров Л. З., 1950. Поведение азиатской саранчи, Ученые записки Саратовского государственного университета, т. XXVI.
- Золотокрылин А. Н., 2003. Климатическое опустынивание, отв. ред. А. Н. Кренке, М., Наука, 246 с.
- Золотокрылин А. Н., 2005. Мониторинг климатической составляющей опустынивания, в сб.: Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем, под ред. Ю. А. Израэля, СПб, Гидрометеиздат, т. XX, с. 105–123.
- Золотокрылин А. Н., Коняев К. В., Титкова Т. Б., 2000. Зависимость между аномалиями индекса вегетации и аномалиями месячных сумм осадков в зоне умеренного и недостаточного увлажнения, Исследование Земли из космоса, № 6, с. 74–78.
- Зондзе Е. К., Хомякова Т. В., 2006. Моделирование формирования влагообеспеченности территории Европейской России в современных условиях и основы оценки агроклиматической безопасности, Метеорология и гидрология, № 2, с. 98–105.
- Израэль Ю. А., Цыбань А. В., 1989. Антропогенная экология океана, Л., Гидрометеиздат, 528 с.
- Израэль Ю. А., Павлов А. В., Анохин Ю. А., 1999. Анализ современных и ожидаемых в будущем изменений климата и криолитозоны в северных регионах России, Метеорология и гидрология, № 3, с. 18–27.
- Израэль Ю. А., Анохин Ю. А., Павлов А. В., 2002. Эволюция криолитозоны при современных изменениях глобального климата, Метеорология и гидрология, № 1, с. 22–34.
- Израэль Ю. А., Семенов С. М., Эскин В. И., 2002. Имитационная модель для оценки влияния усиления парникового эффекта на сезонный ход температуры в приповерхностном слое литосферы, в кн.: Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем, СПб, Гидрометеиздат, т. XVIII, с. 9–22.
- Исследование глобальных изменений в горных биосферных заповедниках России, 2007. Проект программы и рекомендации по ее выполнению. CD ROM, М., Институт географии РАН и Министерство природных ресурсов РФ.
- Каталог ледников СССР, 1967–1977. Т. 8, Северный Кавказ, ч. 1–12, Л., Гидрометеиздат.
- Каталог ледников СССР, 1975–1978. Т. 9, Закавказье и Дагестан, вып. 1–4, Л., Гидрометеиздат.
- Кожанчиков И. В., 1956. Об особенностях диапаузы яиц саранчовых насекомых, Энтомологическое обозрение, т. XXXV, вып. 1.
- Колорадский картофельный жук *Leptinotarsa decemlineata* Say, 1981. Под ред. Р. С. Ушатинской, М., Наука, 337 с.
- Колосов П. А., Минин А. А., 1991. Показатели климатической изменчивости, Известия АН СССР, сер. географ., № 2, с. 32–42.
- Конвенция Организации Объединенных Наций по борьбе с опустыниванием в тех странах, которые испытывают серьезные засухи и (или) опустынивание, особенно в Африке, 1994. Париж, 78 с.
- Костяной А. Г., Лобковский Л. И., 2003. Спутниковый мониторинг Каспийского моря, Вестник Каспия, № 6, с. 56–65.
- Кузнецов Е. П., Кобышева Н. В., 2004. Качество теплоснабжения городов, СПб, ПЭИПК, 293 с.
- Куприянова М. К., Новоженев Ю. И., Щенникова З. Г., 2000. Фенологические наблюдения во внеклассной краеведческой работе: Учебное пособие для учителей биологии, географии, естествознания и природоведения средних школ, Екатеринбург, Банк культурной информации, 244 с.
- Куст Г. С., Глазовский Н. Ф., Андреева О. В. и др., 2002. Основные результаты по оценке и картографированию опустынивания в Российской Федерации, Аридные экосистемы, т. 8, № 16, с. 7–27.
- Ларченко К. И., 1955. Питание и диапауза колорадского жука (*Leptinotarsa decemlineata* Say), в сб.: Колорадский жук и меры борьбы с ним, т. 1, М., Изд-во АН СССР, с. 42–59.
- Ларченко К. И., 1958. Длительность развития колорадского жука (*Leptinotarsa decemlineata* Say) в зависимости от температуры, в сб.: Колорадский жук и меры борьбы с ним, т. 2, М., Изд-во АН СССР, с. 81–92.
- Лебедев С. А., 1996. Возможности автоматизированной реляционной геодисциплинарной опе-

- ративной системы АРГОС при работе со спутниковой информацией, *Метеорология и гидрология*, № 2, с. 110–115.
- Лебедев С. А., Костяной А. Г., 2004.** Спутниковая альтиметрия Каспийского моря, *Вестник Каспия*, № 3, с. 82–101.
- Лебедев С. А., Костяной А. Г., 2005.** Спутниковая альтиметрия Каспийского моря, М., *Море*, 366 с.
- Лебедев С. А., Медведев П. П., 2000.** Интегрированная база данных спутниковой альтиметрии. VI Международная научно-техническая конференция “Современные методы и средства океанологических исследований”, 15–17 ноября 2000 г., Москва. Материалы конференции, М., ИО РАН, ч. 2, с. 52–57.
- Лурье П. М., 2002.** Водные ресурсы и водный баланс Кавказа, СПб, Гидрометеиздат, 506 с.
- Малевский-Малевич С. П., Молькентин Е. К., Надежина Е. Д., 2000.** Модельные оценки эволюции вечной мерзлоты и распределения слоя сезонного протаивания в зависимости от климатических условий в северных регионах Западной Сибири, *Криосфера Земли*, т. 4, № 4, с. 49–57.
- Малевский-Малевич С. П., Надежина Е. Д., 2002.** Оценки влияния изменений климата на вечную мерзлоту в России, основанные на модельных сценариях изменений климата, в кн.: *Изменения климата и их последствия*, Наука, СПб, с. 231–239.
- Матвеева Н. В., 1998.** Зональность в растительном покрове Арктики. Труды Ботанического института им. В. Л. Комарова, вып. 21, СПб, 220 с.
- Методические указания по прогнозированию пожарной опасности в лесах по условиям погоды, 1975.** М., Гидрометеиздат, 15 с.
- Минин А. А., 2000.** Фенология Русской равнины: материалы и обобщения, М., Изд-во АБФ/АБФ, 160 с.
- Минин А. А., 2002.** Перспективы фенологического мониторинга в России, в кн.: *Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем*, т. XVIII, СПб, Гидрометеиздат, с. 158–166.
- Мошковский Ш. Д., Рашина М. Г., 1951.** Эпидемиология и медицинская паразитология для энтомологов, М., Медгиз, 455 с.
- Нагрузки и воздействия, 1988.** СНиП 2.01.07–85, М., Госстрой.
- Никольский В. В., 1925.** Перелетная или азиатская саранча *Locusta migratoria L.*, Л.
- Оледенение Северной и Центральной Евразии в современную эпоху, 2006.** Гл. 3., отв. ред. В. М. Котляков, М., Наука, с. 97–203.
- Охраняемые природные территории России: анализ многолетних наблюдений. Влияние изменения климата на экосистемы, 2001.** Под ред. А. О. Кокорина, А. В. Кожаринова, А. А. Минина, М., Российское представительство WWF, 184 с.
- Павлов А. В., 1997.** Мерзлотно-климатический мониторинг России: методология, результаты наблюдений, прогноз, *Криосфера Земли*, т. 1, № 1, с. 47–58.
- Павлов А. В., Малкова Г. В., 2005.** Современные изменения климата на севере России, Альбом мелкомасштабных карт, Новосибирск, 55 с.
- Парфенова Е. И., Чебакова Н. М., Власенко В. И., 2004.** Зависимости биоразнообразия растительного покрова разных уровней организации от климатических факторов (на примере Средней Сибири), *Сибирский экологический журнал*, т. 11, № 5, с. 725–734.
- Петров В. И., 2005.** Адаптивное лесоаграрное природопользование как средство борьбы с опустыниванием, *Мелиорация и водное хозяйство*, № 1, с. 20–22.
- Подозерский К. И., 1911.** Ледники Кавказского хребта, Записки Кавказского отдела Русского географического общества, книга 29, вып. 1, с. 1–200.
- Ревич Б. А., Шапошников Д. А., 2006.** Климатические условия, качество атмосферного воздуха и смертность населения Москвы в 2000–2006 годах, в кн.: *Климат, качество атмосферного воздуха и здоровье москвичей*, под ред. Б. А. Ревича, М., Издательское товарищество “АдамантЪ”, с. 102–140.
- Ревич Б. А., Шапошников Д. А., Галкин В. Т., Крылов С. А., Черткова А. Б., 2005.** Воздействие высоких температур атмосферного воздуха на здоровье населения в Твери, *Гигиена и санитария*, № 2, с. 20–24.
- Рождественский А. В., 1998.** Пространственно-временные колебания стока рек СССР, Л., Гидрометеиздат, 360 с.
- Руководство по составлению Каталога ледников СССР, 1967.** Под ред. О. Н. Виноградова, А. Н. Кренке, П. Н. Огановского, М., Наука, 156 с.
- Сафарова И. Л., 1987.** Особенности эмбрионального развития итальянской саранчи, в кн.: *Саранчовые — экология и меры борьбы*, Л., с. 75–83.
- Свинцов И. П., 2005.** Рациональное природопользование в аридных регионах России, *Мелиорация и водное хозяйство*, № 1, с. 3–6.
- Селянинов Г. Т., 1928.** О сельскохозяйственной оценке климата, Труды по сельскохозяйственной метеорологии, вып. 20.
- Селянинов Г. Т., 1958.** Происхождение и динамика засух, в кн.: *Засухи в СССР: происхождение и влияние на урожай*, Л., Гидрометеиздат, с. 5–30.
- Семенов В. А., Коршунов А. А., 2006.** Наводнения на реках России в конце XX и начале XXI столетий, в сб.: *Вопросы географии и геоэкологии*, вып. 5, Калуга, с. 6–12.
- Семенов В. А., Алексеева А. К., Дегтяренко Т. И., 1994.** Изменения стока рек России и прилега-

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

- ющих территорий в XX столетии, *Метеорология и гидрология*, № 2, с. 76–83.
- Семенов С. М., Гельвер Е. С., 2002.** Изменение годового хода среднесуточной температуры воздуха на территории России в XX веке, Доклады РАН, сер. геофизика, т. 386, № 3, с. 389–394.
- Семенов С. М., Ясюкевич В. В., Гельвер Е. С., 2006.** Выявление климатогенных изменений, М., Издательский центр “Метеорология и гидрология”, 324 с.
- Сиротенко О. Д., 2005.** Усовершенствованная методика расчета оценок климатообусловленного риска для сельского хозяйства с учетом текущих изменений климата, в сб.: Климатические ресурсы и методы их представления для прикладных целей, СПб, Гидрометеоиздат, с. 131–145.
- Стрельников И. Д., 1935.** Действие солнечной радиации и микроклимата на температуру тела и поведение личинок саранчи *Locusta migratoria* L., Труды Зоологического института АН СССР, т. II.
- Татевян С. К., 1997.** Космические технологии для контроля изменений уровня Каспийского моря, Вестник Каспия, № 3, с. 21–23.
- Тилавов Т. Т., 1968.** О периодичности газообмена в онтогенезе колорадского жука (*Leptinotarsa decemlineata* Say), Зоологический журнал, т. 47, № 1, с. 143–145.
- Тилавов Т. Т., 1969.** Изменение устойчивости к высокой температуре в постэмбриональном развитии колорадского жука (*Leptinotarsa decemlineata* Say), Зоологический журнал, т. 48, № 12, с. 1811–1815.
- Трубина М. Р., 2006.** Распределение растений с разным отношением к термическому режиму в сообществах экотона границы леса на г. Ирмель (Южный Урал), *Экология*, № 5, с. 340–349.
- Федоров К. Н., Гинзбург А. И., 1988.** Приповерхностный слой океана, Л., Гидрометеоиздат, 303 с.
- Фенологические наблюдения (организация, проведение, обработка). Унифицированное руководство для добровольной фенологической сети, 1982.** Л., Наука, 223 с.
- Финаков В. К., 1956.** Колорадский жук и меры борьбы с ним, Киев, 121 с.
- Хайнес А., Коватс Р. С., Кемпбелл-Лендрум Д., Корвалан К., 2004.** Изменение климата и здоровье человека — воздействия, уязвимость и адаптация, в сб.: Труды Всемирной конференции по изменению климата, Москва, 29 сентября — 3 октября 2003 г., М., Новости, с. 307–322.
- Хандожко Л. А., 1981.** Метеорологическое обеспечение народного хозяйства, Л., Гидрометеоиздат, 231 с.
- Харин Н. Г., Грингоф И. Г., 2002.** Концептуальный подход к использованию вегетационного индекса для оценки деградации засушливых земель, *Метеорология и гидрология*, № 7, с. 83–93.
- Харук В. И., Двинская М. Л., Рэнсон К. Дж., Им С. Т., 2005.** Проникновение вечнозеленых хвойных деревьев в зону доминирования лиственницы и климатические тренды, *Экология*, № 3, с. 186–192.
- Харук В. И., Рэнсон К. Дж., Им С. Т., Наурзбаев М. М., 2006.** Лиственничники лесотундры и климатические тренды, *Экология*, № 5, с. 323–331.
- Харук В. И., Шиятов С. Г., Касишке Е., Федотова Е. В., Наурзбаев М. М., 2002.** Реакция экотона лес – тундра на изменение климата, в кн.: Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем, СПб, Гидрометеоиздат, т. 18, с. 234–260.
- Хомякова Г. В., Зоидзе Е. К., 2002.** Агроклиматическая оценка почвенных засух на европейской территории Российской Федерации (по наземным данным), *Метеорология и гидрология*, № 9, с. 75–86.
- Цыпленков Е. П., 1970.** Вредные саранчовые насекомые в СССР, Л., Колос, 272 с.
- Четвертое национальное сообщение Российской Федерации, 2006.** Под ред. Ю. А. Израэля и др., М., Изд-во Метеоагентства Росгидромета, 162 с.
- Четыркин Е. М., 1977.** Статистические методы прогнозирования, М., Статистика, 200 с.
- Шерстюков Б. Г., 2003.** Метеорологические факторы горимости леса, засушливости погоды во второй половине XX века и экстремальные условия 2002 года в Московском регионе. Анализ климатической изменчивости и оценки возможных изменений климата, Труды ВНИИГМИ-МЦД, вып. 171, с. 79–88.
- Шерстюков Б. Г., 2007.** Климатические условия отопительного периода в России в XX и XXI веках, Труды ГУ ВНИИГМИ-МЦД, вып. 173, с. 163–170.
- Шигалев А. А., Шиманюк А. П., 1949.** Сезонное развитие природы Европейской части СССР, М., Географгиз, 240 с.
- Шикломанов А. И., 1994.** Влияние антропогенных изменений глобального климата на сток р. Енисей, *Метеорология и гидрология*, № 2, с. 84–93.
- Шикломанов И. А., 1988.** Исследование водных ресурсов суши: итоги, проблемы, перспективы, Л., Гидрометеоиздат, 170 с.
- Шикломанов И. А., Георгиевский В. Ю., 2002.** Влияние антропогенных изменений климата на гидрологический режим и водные ресурсы, в кн.: Изменения климата и их последствия, СПб, Наука, с. 152–164.
- Шиятов С. Г., Мазепа В. С., Моисеев П. А., Братухина М. Ю., 2001.** Изменения климата и их влияние на горные экосистемы национального парка “Таганай” за последние столетия, в кн.:

- Влияние изменения климата на экосистемы. Охраняемые природные территории России: анализ многолетних наблюдений, под ред. А. Кокорина, А. Кожаринова, А. Минина, М., ч. 2, с. 16–32.
- Шиятов С. Г., Терентьев М. М., Фомин В. В., 2005.** Пространственно-временная динамика лесотундровых сообществ на Полярном Урале, Экология, № 2, с. 83–90.
- Эльпинер Л. И., 2004.** Сценарии изменений здоровья населения при глобальных гидроклиматических трансформациях, в кн.: Изменение климата и здоровье России в XXI веке. Сборник материалов Международного семинара (5–6 апреля 2004 г.), под ред. Н. Ф. Измерова, Б. А. Ревича, Э. И. Коренберга, М., Издательское товарищество “АдамантЪ”, с. 194–199.
- Ясюкевич В. В., Семенов С. М., 2004.** Моделирование климатогенных изменений потенциального ареала малярии человека на территории России и сопредельных стран, в кн.: Изменение климата и здоровье России в XXI веке. Сборник материалов Международного семинара (5–6 апреля 2004 г.), под ред. Н. Ф. Измерова, Б. А. Ревича, Э. И. Коренберга, М., Издательское товарищество “АдамантЪ”, с. 147–153.
- Ясюкевич В. В., Попова Е. Н., Гельвер Е. С., Ривкин Л. Е., 2007.** Влияние климатических факторов на формирование ареала колорадского жука (*Leptinotarsa decemlineata* Say), в кн.: Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем, СПб, Гидрометеиздат, т. XXI, с. 348–379.
- Alfaro A., 1943.** Un ciclo de desarrollo en el escarabajo de la patata, Bol. pathol. veget. y entomol. agric, No. 12, pp. 9–30.
- Alfaro A., 1949.** Algunos aspectos de la biología del escarabajo de la patata (*Leptinotarsa decemlineata* Say), Bol. pathol. vegety entomol. agric, No. 16, pp. 91–104.
- Analysing Long-term Series of Hydrological Data with Respect to Climate Variability. Project Discription, 1988.** World Climate Program Application, WMO/TD-No. 224, Geneva.
- Anisimov O. A. and Nelson F. E., 1996.** Permafrost distribution in the Northern Hemisphere under scenarios of climatic change, Global and Planetary Change, vol. 14, No. 1–2, pp. 59–72.
- Anisimov O. A. and Nelson F. E., 1997.** Permafrost zonation and climate change in the Northern Hemisphere: Results from transient general circulation models, Climatic Change, vol. 35, No. 2, pp. 241–258.
- Arctic Climatology Project, 2000.** Environmental Working Group Arctic Meteorology and Climate Atlas, Fetterer F. and Radionov V. (eds.), Boulder, CO, National Snow and Ice Data Center, CD-ROM.
- AVISO/Altimetry. User Handbook, 1996.** Merged TOPEX/POSEIDON Products. AVISO. Toulouse. AVI-NT-02-101-CN. Edition 3.0, 201 p.
- Badenkov Yu. and Drexler C., 2006.** Global change research in mountain biosphere reserves of Russian Federation, in: Mountain Research and Development, vol. 26, No. 1, February, pp. 74–75.
- Belokopytov V., 1998.** Long-term variability of cold intermediate layer renewal conditions in the Black Sea, in: Ecosystem Modeling as a Management Tool for the Black Sea, Ivanov L. I. and Oguz T. (eds.), NATO Sci. Ser., Ser. 2: Environmental Security, vol. 47, The Netherlands, Kluwer Acad. Publ., pp. 47–52.
- Benada J. R., 1997.** PODAAC Merged GDR (TOPEX/POSEIDON) Generation B User’s Handbook, Version 2.0, JPL D-11007, 131 p.
- Brown J., Hinkel K. M., and Nelson F. E., 2000.** The Circumpolar Active Layer Monitoring (CALM) program: Research designs and initial results, Polar Geography, vol. 24, No. 3, pp. 165–258.
- Busnel R. G., 1939.** Etudes physiologiques sur le *Leptinotarsa decemlineata* Say, La Francois, Paris, 207 p.
- Cazenave A., Bonnefond P., Dominh K., and Schaeffer P., 1997.** Caspian Sea level from Topex/Poseidon altimetry: Level now falling, Geophys. Res. Lett., vol. 24, No. 8, pp. 881–884.
- Chapman W. L. and Walsh J. E., 1993.** Recent variations of sea ice and air temperature in high latitudes, Bull. Amer. Meteorol. Soc., vol. 74, pp. 33–47.
- Chelton D. B., Ries J. C., Haines B. J., Fu L.-L., and Callahan P. S., 2001.** Satellite altimetry, in: Satellite Altimetry and Earth Sciences. A Handbook of Techniques and Applications, Fu L.-L. and Cazenave A. (eds.), Academic Press, 131 p.
- Chittenden F. H., 1907.** The Colorado potato beetle (*Leptinotarsa decemlineata* Say), U. S. Dept. Agric. Bur. Entomol., Circ., vol. 87, pp. 1–15.
- Climate Change 2001, 2001.** Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change, McCarthy J. J. et al. (eds.), Cambridge University Press, 1032 p.
- Conti S., Meli P., Minelli G., Solimini R., Toccaceli V., Vichi M., Beltrano C., and Perini L., 2005.** Epidemiologic study of mortality during the summer 2003 heat wave in Italy, Environ Res., vol. 98, No. 3, pp. 390–399.
- Detinova T. S., Beklemishev V. N., and Bertram D. S., 1962.** Age Grouping Method in *Diptera* of Medical importance (WHO Monogr. 47), Geneva, WHO, 220 p.
- Frauenfeld O. W., Zhang T., Barry R. G., and Gilichinsky D., 2004.** Interdecadal changes in seasonal freeze and thaw depths in Russia,

- J. Geophys. Res., vol. 109, D05101, doi:1029/2003JD004245.
- Fritts H. C., 1976.** Tree-rings and Climate, London, New York, San Francisco, Acad. Press, 576 p.
- Fu L.-L. and Pihos G., 1994.** Determining the response of sea level to atmospheric pressure forcing using TOPEX/Poseidon data, J. Geophys. Res., vol. 99, No. C12, pp. 24633–24642.
- Ginzburg A. I., Kostianoy A. G., and Sheremet N. A., 2003.** Thermal regime of the Aral Sea in the modern period (1982–2000) as revealed by satellite data, J. Marine Systems, vol. 43, pp. 19–30.
- Ginzburg A. I., Kostianoy A. G., and Sheremet N. A., 2004.** Seasonal and interannual variability of the Black Sea surface temperature as revealed from satellite data (1981–2000), J. Marine Systems, vol. 52, No. 1–4, pp. 33–50.
- Ginzburg A. I., Kostianoy A. G., and Sheremet N. A., 2005.** Sea surface temperature variability, in: The Caspian Sea Environment, Kostianoy A. and Kosarev A. (eds.), The Handbook of Environmental Chemistry, Springer-Verlag, vol. 5, part P, doi:10.1007/698_5_004, pp. 59–81.
- Ginzburg A. I., Kostianoy A. G., and Sheremet N. A., 2007.** Sea surface temperature variability, in: The Black Sea Environment, Kostianoy A. and Kosarev A. (eds.), The Handbook of Environmental Chemistry, Springer-Verlag, vol. 5, part P, doi:10.1007/698_2006_067 (in press).
- Goodrich L. E., 1978.** Efficient numerical technique for one-dimensional thermal problems with phase change, Int. Journal of Heat and Mass Transfer, vol. 21, No. 5, pp. 160–163.
- Goodrich L. E., 1982.** The influence of snow cover on the ground thermal regime, Canadian Geotechnical Journal, vol. 19, pp. 421–432.
- Growth Stages of Mono- and Dicotyledonous Plants: BBCH-Monograph, 1997.** Federal Biological Research Centre for Agriculture and Forestry, Uwe Meier (ed.), Berlin and Wien.
- Johannessen O. M., Shalina E., and Miles M., 2000.** NORSEX Sea Ice Concentration in the Arctic, 1978–1999 Including MY Ice Concentration during Winter Months, NORSEX CD-ROM, Version 1.0.
- Jones P. D. and Moberg A., 2003.** <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/>.
- Kapralov D. S., Shiyatov S. G., Moiseev P. A., and Fomin V. V., 2006.** Changes in the composition, structure, and altitudinal distribution of low forests at the upper limit of their growth in the Northern Ural Mountains, Russian Journal of Ecology, vol. 37, No. 6, pp. 367–372.
- Kharin N. G., Tateishi R., and Gringof I. G., 1998.** Use of NOAA/AVHRR data for assessment of precipitation and land degradation in Central Asia, Arid Ecosystems, vol. 4, No. 8, pp. 25–34.
- Kittlaus E., 1961.** Die Embrionalentwicklung von *Leptinotarsa decemlineata* Say, *Epilachna sparsa* Herbst, und *E. Vigintioctomaculata* Motsch. var. *niponica* Lewis in Abhängigkeit von der Temperatur, Dtsch. Entomol. Z., vol. 8, No. I–II, pp. 41–62.
- Kobysheva N. V., 1992.** Guidance Material on the Calculation of Climatic Parameters Used for Building Purposes, Technical Note No. 187, WMO, No. 665, 210 p.
- Kopelevich O. V., Burenkov V. I., Ershova S. V., Sheberstov S. V., and Evdoshenko M. A., 2004.** Application of SeaWiFS data for studying variability of bio-optical characteristics in the Barents, Black and Caspian seas, Deep-Sea Res. II, vol. 51, pp. 1063–1091.
- Kostianoy A. G., Zavialov P. O., and Lebedev S. A., 2004.** What do we know about dead, dying and endangered lakes and seas?, in: Dying and Dead Seas Climatic Versus Anthropogenic Causes, Nihoul J. C. J., Zavialov P. O., and Micklin P. P. (eds.), NATO Science Series, Series IV: Earth and Environmental Science, vol. 36, Dordrecht, Kluwer Acad. Publ., pp. 1–48.
- Kouraev A. V., Papa F., Buharizin P. I., et al., 2003.** Ice cover variability in the Caspian and Aral seas from active and passive microwave satellite data, Polar Res., vol. 22, No. 1, pp. 43–50.
- Kouraev A. V., Papa F., Mognard N. M., Buharizin P. I., Cazenave A., Cretaux J.-F., Dozortseva J., and Remy F., 2004a.** Sea ice cover in the Caspian and Aral seas from historical and satellite data, J. Marine Systems, vol. 47, No. 1–4, pp. 89–100.
- Kouraev A. V., Papa F., Mognard N. M., Buharizin P. I., Cazenave A., Cretaux J.-F., Dozortseva J., and Remy F., 2004b.** Synergy of active and passive satellite microwave data for the study of first-year sea ice in the Caspian and Aral seas, IEEE Trans. Geosc. Remote Sensing, vol. 42, No. 10, pp. 2170–2176.
- Kovats R. S., Bouma M. J., Hajat S., Worrall E., and Haines A., 2003.** El Niño and health, Lancet, vol. 362, No. 9394, pp. 1481–1489.
- Large W. G. and Pond S., 1981.** Open ocean momentum flux measurements in moderate to strong winds, J. Phys. Oceanogr., vol. 11, pp. 324–336.
- Lieshout van M., Kovats R. S., Livermore M. T. J., and Martens P., 2004.** Climate change and malaria: Analysis of the SRES climate and socio-economic scenarios, Global Environmental Change, vol. 14, pp. 87–99.
- Martens P., Kovats R. S., Nijhof S., de Vries P., Livermore M. T. J., Bradley D. J., Cox J., and McMichael A. J., 1999.** Climate change and future populations at risk of malaria, Global Environmental Change, vol. 9, pp. 89–107.

- Mayne R. and Breny R., 1947.** Notes sur la biologie du Doryphore (*Leptinotarsa decemlineata* Say), *Parasitica*, No. 4, pp. 1–20.
- Mayne R. and Breny R., 1949.** L'Evolution doryphorique en 1948 et considerations sur l'opportunitE des interventions chimiques de protection des champs de pomme de terre, *Parasitica*, No. 5, pp. 13–22.
- Mazepa V. S., 2005.** Stand density in the last millennium at the upper tree-line ecotone in the Polar Ural Mountains, *Canadian Journal of Forest Research*, vol. 35, No. 9, pp. 2082–2091.
- McClain E. P., Pichel W. G., and Walton C. C., 1985.** Comparative performance of AVHRR-based vultichannel sea surface temperatures, *J. Geophys. Res.*, vol. 90, No. C6, pp. 11587–11601.
- Medvedev P. P., Lebedev S. A., and Tyupkin Yu. S., 1997.** An integrated data base of altimetric satellite for fundamental geosciences research, in: Proc. of the First East-European Symp. on Advances in Data Bases and Information Systems (ADBIS'97), St.-Petersburg, Russia, 2–5 September 1997, St.-Petersburg, St.-Petersburg University, vol. 2, pp. 95–96.
- Menzel A. and Fabian P., 1999.** Growing season extended in Europe, *Nature*, vol. 397, pp. 659.
- Myneni R. B., Hall F. G., Sellers P. J., and Marshak A. L., 1995.** The interpretation of spectral vegetation indexes, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 33, pp. 481–486.
- National Snow and Ice Data Center, 2003.** Meteorological Data from the Russian Arctic, 1961–2000, V. Radionov (compiler), Boulder, CO, National Snow and Ice Data Center, Digital media, <http://nsidc.org/data/g02141.html>.
- Nelson F. E. and Outcalt S. I., 1978.** A computational method for prediction and regionalization of permafrost, *Arctic and Alpine Res.*, vol. 19, No. 3, pp. 279–288.
- Nelson F. E. and Outcalt S. I., 1983.** A frost index number for spatial prediction of ground-frost zones, *Permafrost-Fourth Int. Conf. Proc.*, National Academy Press, Washington, DC, vol. I, pp. 907–911.
- Nelson F. E. and Outcalt S. I., 1987.** A computational method for prediction and regionalization of permafrost, *Arctic and Alpine Research*, vol. 19, No. 3, pp. 279–288.
- Nerem R. S. and Mitchum G. T., 2001.** Sea level change, in: *Satellite Altimetry and Earth Sciences. A Handbook of Techniques and Applications*, Fu L. L. and Cazenave A. (eds.), San Diego, Academic Press, pp. 329–350.
- Nezlin N. P., 2000.** Remote-sensing studies of seasonal variations of surface chlorophyll-a concentration in the Black Sea, in: *Satellites, Oceanography and Society*, Halpern D. (ed.), Amsterdam, Elsevier, pp. 257–271.
- Nezlin N. P., 2001.** Unusual phytoplankton bloom in the Black Sea during 1998–1999: Analysis of remotely sensed data, *Oceanology*, English translation, vol. 41, pp. 375–380.
- Nezlin N. P., 2005.** Patterns of seasonal and interannual variability of remotely sensed chlorophyll, in: *The Caspian Sea Environment*, Kostianoy A. G. and Kosarev A. N. (eds.), vol. 5, Berlin, Springer-Verlag, pp. 143–157.
- Nezlin N. P., Kostianoy A. G., and Gregoire M., 1999.** Patterns of seasonal and interannual changes of surface chlorophyll concentration in the Black Sea revealed from the remote sensed data, *Remote Sensing of Environment*, vol. 69, pp. 43–55.
- O'Reilly J. E., Maritorea S., Mitchell B. G., Siegel D. A., Carder K. L., Garver S. A., Kahru M., and McClain C., 1998.** Ocean color chlorophyll algorithms for SeaWiFS, *J. Geophys. Res.*, vol. 103, pp. 24937–24953.
- Pathfinder AVHRR Land One Monthly Composite.** URL: http://daac.gsfc.nasa.gov/CAMPAIGN_DOCS/FTP_SITE.
- Penuelas P. and Fitella I., 2001.** Responses to a Warming World, *Science*, vol. 294, pp. 793–795.
- Picot N., Case K., Desai S., and Vincent P., 2003.** AVISO and PODAAC User Hand-book. IGDR and GDR Jason Products. SMM-MU-M5-OP-13184-CN (AVISO), JPL D-21352 (PODAAC), Edition 2.0, 107 p.
- Provisional Methodology for Assessment and Mapping of FAO/UNEP, 1983.** Rome, 104 p.
- Stadler S. J., 1987.** Aridity Indexes. The Encyclopedia of Climatology, Oliver J. E. and Fairbridge R. W. (eds.), New York, Van Nostrand Reinhold Company, pp. 102–106.
- Tucker C. G., Vanpraet C. L., Sharman M. J., and Van Ittersum G., 1985.** Satellite remote sensing of total herbaceous biomass production in the Senegalese Sahel: 1980–1984, *Remote Sens. Environ.*, vol. 17, pp. 233–249.
- Venevsky S. and Venevskaia I., 2003.** Energetic and landscape factors of global vegetation diversity, *Ecology Letters*, vol. 6, pp. 1004–1016.
- Venevsky S. and Venevskaia I., 2005.** Hierarchical systematic conservation planning at the national level: Identifying national biodiversity hotspots using abiotic factors in Russia, *Biological Conservation*, vol. 124, pp. 235–251.
- Vinje T., 2001.** Anomalies and trends of sea ice extent and atmospheric circulation in the Nordic seas during the period 1864–1998, *J. Climate*, vol. 14, No. 3, pp. 255–267.
- Virtanen T., Mikkola K., Nikula A., Christensen J. H., Mazhitova G. G., Oberman N. G., and Kuhry P., 2004.** Modeling the location of the forest line in northeast European Russia with remotely sensed vegetation and GIS-based climate and terrain data, *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, vol. 36, No. 3, pp. 314–322.

- Waelbroeck C., 1993.** Climate-soil processes in the presence of permafrost: A systems modelling approach, *Ecological Modelling*, vol. 6, No. 3–4, pp. 185–225.
- Walton C. C., 1988.** Nonlinear multichannel algorithms for estimating sea surface temperature with AVHRR satellite data, *J. Appl. Meteorol.*, vol. 27, pp. 115–124.
- Wilde J. de., 1950.** Development embryonnaire et postembryonnaire du Doryphore (*Leptinotarsa*

decemlineata Say) en fonction de la temperature, *Frans. 8th Int. Congr. Entomol.*, Stockholm, 1948, pp. 310–321.

- Zhang T., Barry R. G., Gilichinsky D., Bykhovets S. S., Sorokovikov V. A., and Ye J. P., 2001.** An amplified signal of climatic change in soil temperatures during the last century at Irkutsk, Russia, *Climatic Change*, vol. 49, No. 1–2, pp. 41–76.

2.2. СОСТОЯНИЕ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ, ОТОПИТЕЛЬНЫЙ ПЕРИОД, ТРАНСПОРТ

Ведущие авторы: Н. В. Кобышева, О. А. Анисимов, Б. Г. Шерстюков
Редактор-рецензент: А. Ф. Яковлев

2.2.1. Тепловой режим зданий и сооружений, характеристики отопительного периода

В связи с увеличением повторяемости оттепелей и заморозков в осенне-зимний и зимне-весенний периоды в ряде регионов (например, на ЕТР и в Приморье) наблюдается ухудшение условий эксплуатации зданий и уменьшение их долговечности. Так, срок эксплуатации панельных зданий сократился в Санкт-Петербурге почти в 2 раза (Кузнецов, Кобышева, 2004).

При проектировании систем отопления, вентиляции и кондиционирования используются сезонные значения температуры с различной обеспеченностью (СНиП “Отопление, вентиляция, кондиционирование 2.04.05–86”). В холодный период для систем отопления и кондиционирования это 0,5%-ная квантиль, а для вентиляции — 6,0%-ная. Для теплого периода года при проектировании систем кондиционирования используется 98,0%-ная квантиль, для вентиляции 95,0%-ная квантиль.

С 1901 по 2000 г. упомянутые выше квантильные значения температуры для холодного периода увеличились на 0,2–0,4%; в теплый период года квантили температуры изменились только в последнее десятилетие на 1–2°C (Александрова, 2006). Таким образом, возникли предпосылки положительного влияния потепления на потребность в отоплении помещений (потребность уменьшается) и отрицательного влияния на потребность в кондиционировании помещений (потребность возрастает).

Как показывают расчетные оценки, изменение климата оказало практически повсеместное влияние на потребность в отоплении помещений. Потребность в отоплении помещений оценивается двумя основными способами — по продолжительности отопительного периода и по затратам

на поддержание комфортных термических условий в помещениях. Последние косвенно характеризуются либо с помощью индекса потребления топлива, либо с помощью индекса дефицита тепла (см. 2.1.2). Напомним, что в качестве косвенной меры (индекса) дефицита тепла используется сумма абсолютных разностей среднесуточной температуры и 18,3°C — уровня комфорта — за те сутки календарного года, в которые этот уровень не достигается. Регионы России значительно различаются по этим показателям. Пространственное распределение их значений для современных климатических условий приведено на рис. 2.2.1 и 2.2.2 (Instanes et al., 2005; Ефимова и др., 1992).

Б. Г. Шерстюков (2007) приводит оценки изменения продолжительности отопительного периода, полученные на основе современных трендов температуры воздуха. Согласно этим результатам, за последние три десятилетия в большинстве районов России он уменьшился в среднем на 5% (рис. 2.2.3). За этот же период индекс потребления топлива уменьшился в южных регионах России приблизительно на 10%, в остальной части — на 5–8% (рис. 2.2.4).

2.2.2. Механические воздействия на здания и сооружения

В последние годы наблюдается прогрессирующее разрушение зданий, которое частично связано с изменением климата и вообще с недостаточным качественным учетом климатических факторов при их проектировании и эксплуатации.

Раньше особенно разрушительными считались ветровые и гололедно-ветровые нагрузки, которые всегда оказывали большое влияние на работу воздушных линий связи и электропередач. Отложение льда на проводах создает дополнительную весовую нагрузку, увеличивает их парусность и вибрацию, вызывает скручивание. Это может приводить к обрыву проводов, разрушению линий и перерывам в электроснабжении больших районов. Увеличение предельно допустимой гололедной нагрузки требует утяжеления

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

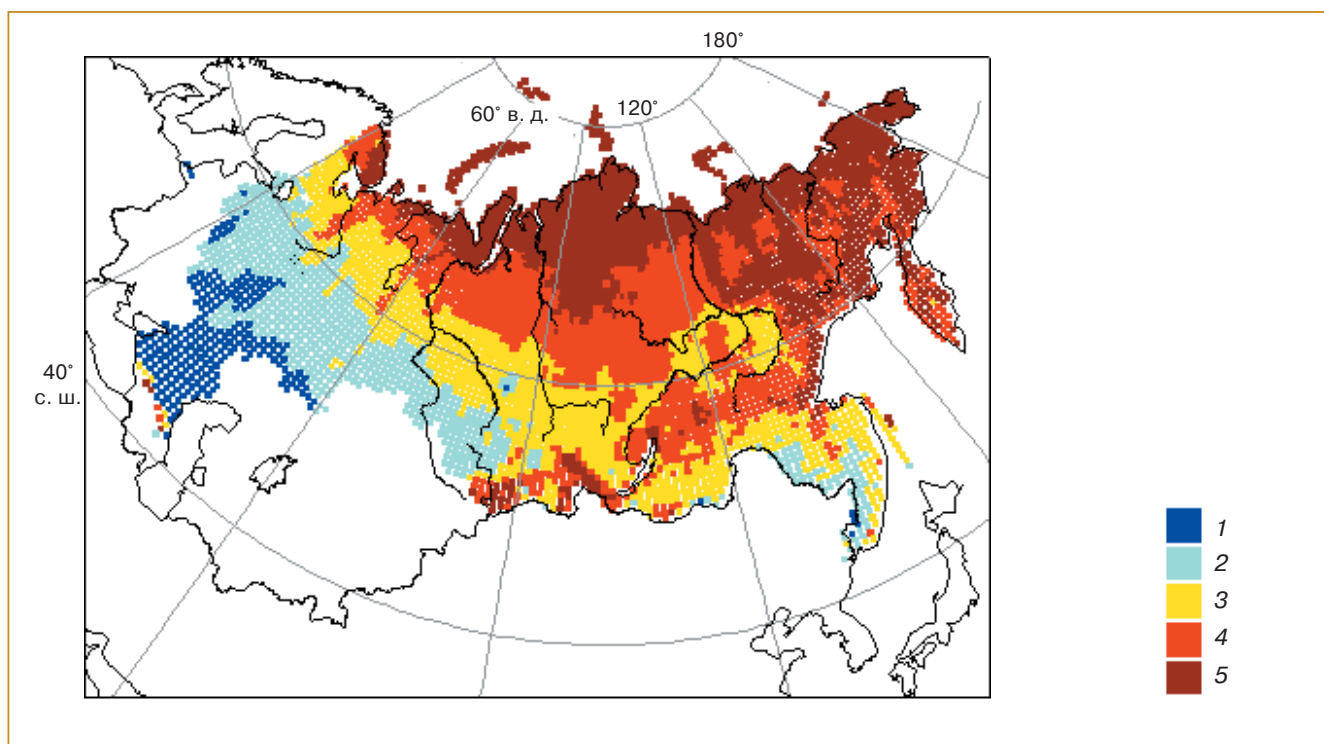


Рис. 2.2.1. Продолжительность отопительного периода для современных климатических условий для территории России (Instanes et al., 2005). 1) 120–210; 2) 210–240; 3) 240–270; 4) 270–300; 5) 300–366 суток.

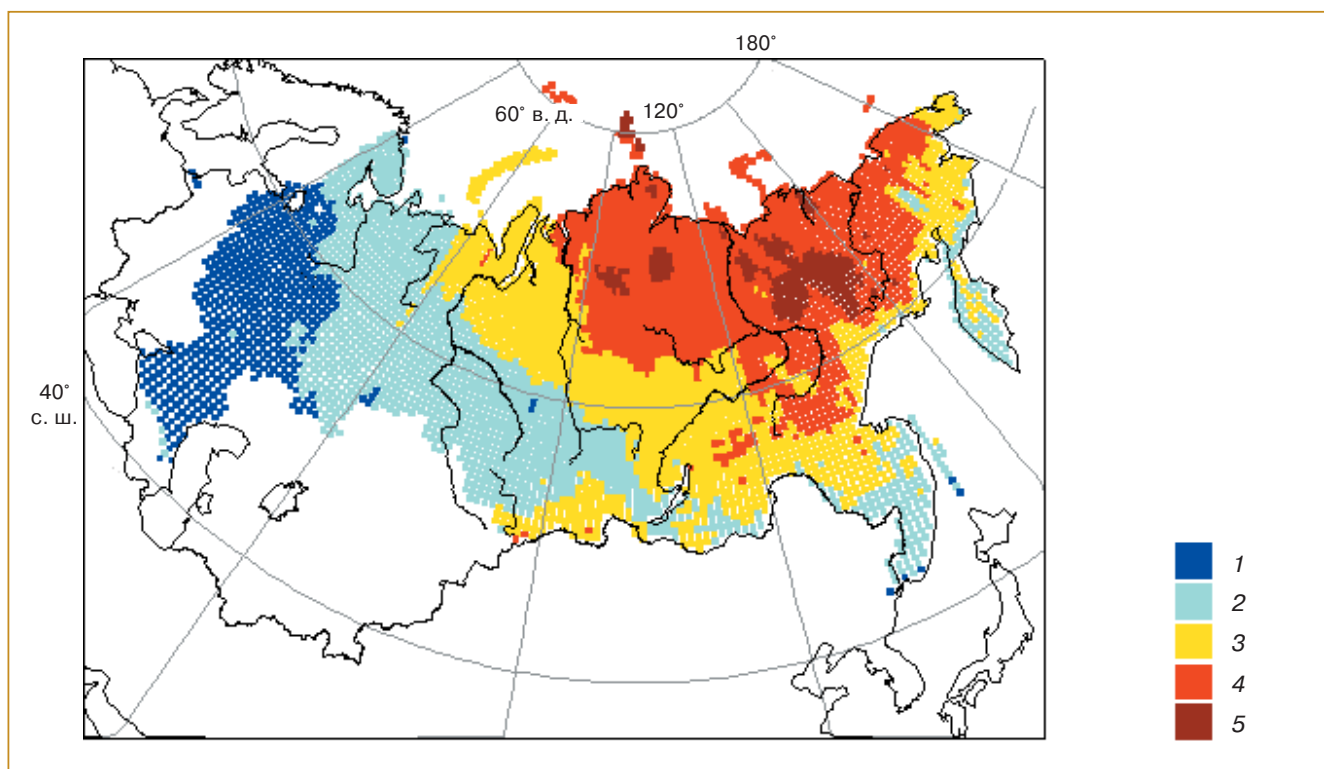


Рис. 2.2.2. Индекс дефицита тепла на территории России; характеризует затраты на отопление для современных климатических условий (Instanes et al., 2005). 1) 500–3000; 2) 3000–5000; 3) 5000–7000; 4) 7000–9000; 5) 9000–11200°C·сутки.

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

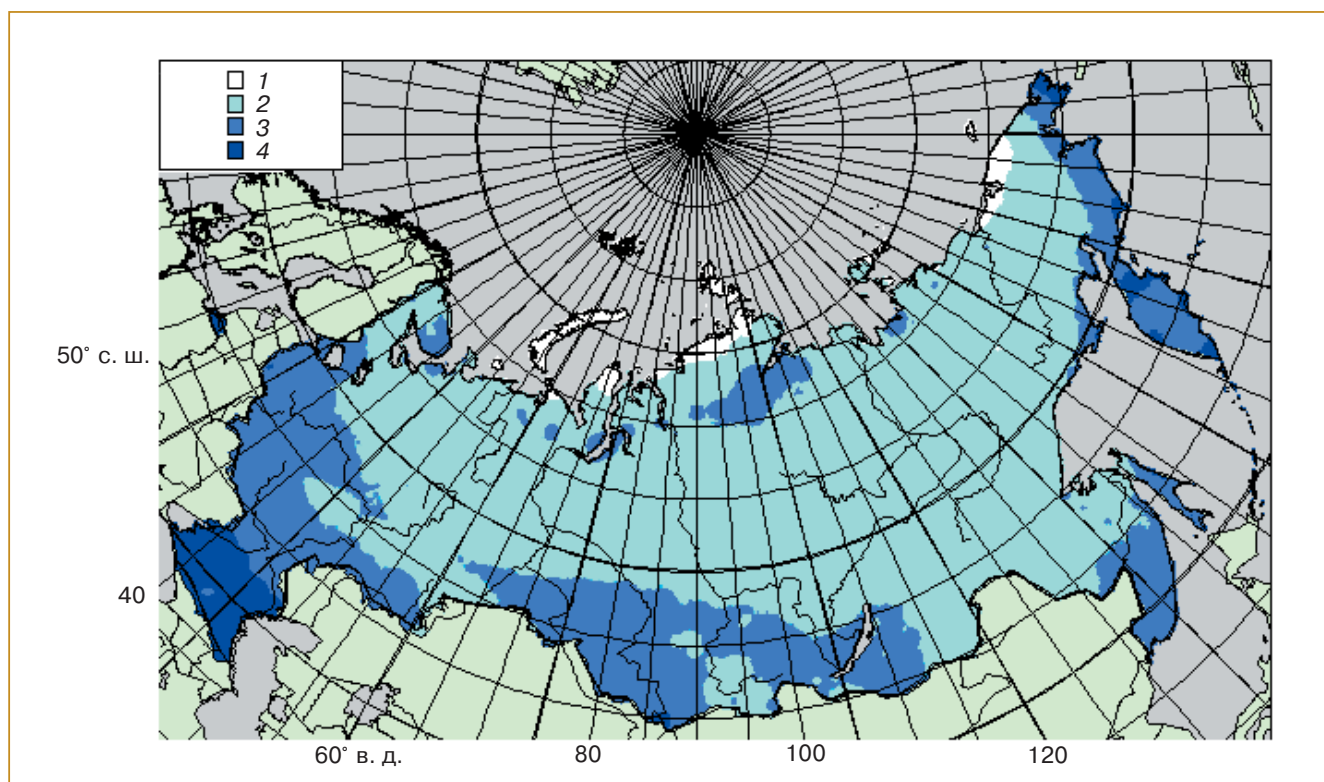


Рис. 2.2.3. Изменения (%) продолжительности отопительного периода за последние три десятилетия, расчет проведен, исходя из рядов значений температуры воздуха (Шерстюков, 2007). 1) 0...-1,9; 2) -2...-3,9; 3) -4...-5,9; 4) -6...-7,9.

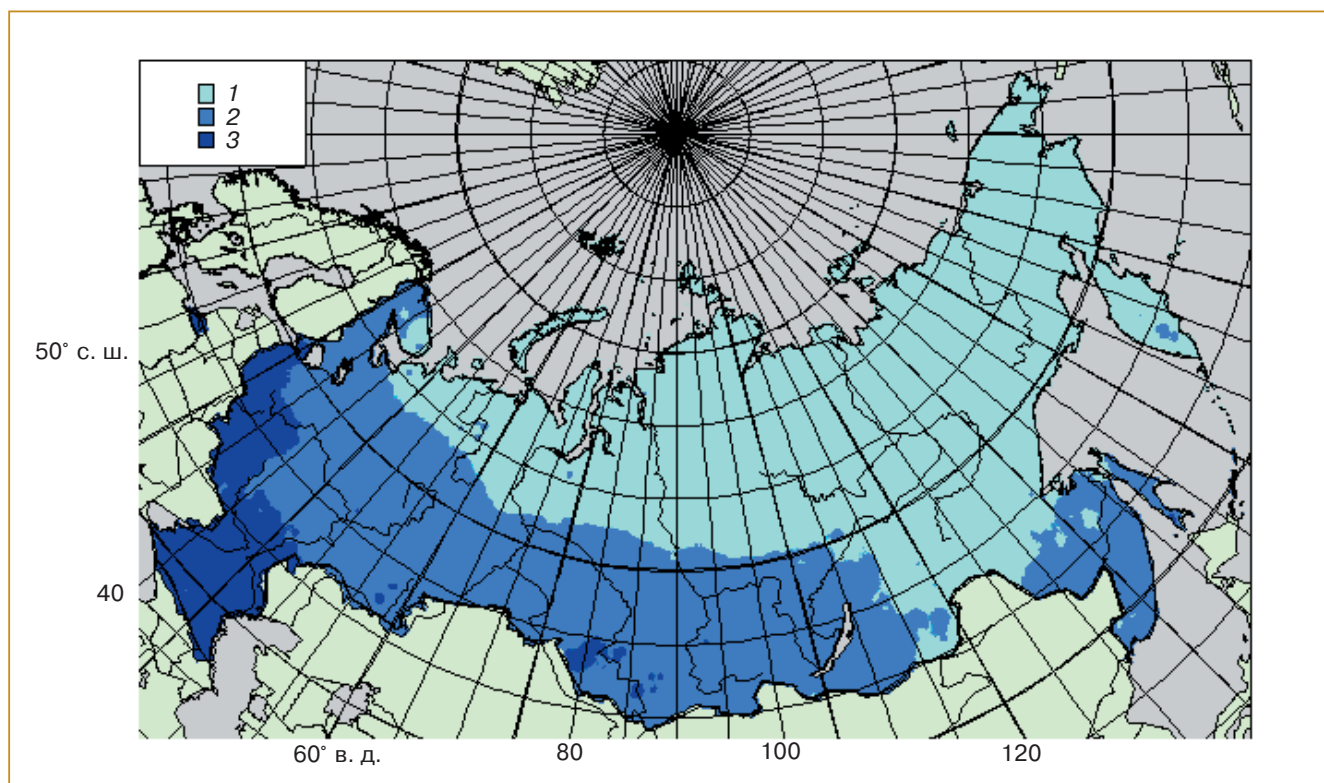


Рис. 2.2.4. Изменение (%) индекса потребления топлива за последние три десятилетия, расчет проведен, исходя из рядов значений температуры воздуха (Шерстюков, 2007). 1) -4...-6; 2) -6...-8; 3) -8...-10.

опор, увеличения их числа на единицу длины. Ветровая нагрузка приводит к “пляске проводов”, появлению “стоячих волн” на проводах, к их обрыву. Особенно большая опасность создается, когда сильные ветры действуют на обледеневшие провода. В последние десятилетия, однако, скорость ветра на большей части территории России в среднем уменьшилась и продолжает уменьшаться, поэтому ветровые нагрузки на здания и сооружения сократились (Мещерская, 2006), и соответственно эта опасность для воздушных линий связи и электропередач снизилась.

В настоящее время в России основной метеорологической причиной разрушения зданий являются снеговые нагрузки, когда масса накапливающегося снега превышает предельную, предусмотренную проектом здания. Снеговая нагрузка определяется весом накопившегося снега в расчете на единицу площади. Значение снеговой нагрузки зависит от комплекса метеорологических факторов: количества осадков, температуры воздуха, скорости ветра. От температурного режима зависят продолжительность морозного периода, во время которого происходит накопление снега, доля твердых осадков, образующих снежный покров, а также повторяемость оттепелей, уменьшающих снеготопы.

Повышение температуры зимой, характерное для современного потепления, приводит к сокращению морозного периода и уменьшению доли твердых осадков. Так, установлено, что для севера ЕТР увеличение средней годовой температуры воздуха на 1°C приводит к снижению доли твердых осадков на 5–6% (Заварина, 1976). Существуют также определенные зависимости снеговой нагрузки от числа дней с оттепелью и от среднемесячной температуры воздуха на ЕТР (Семенов, 2005). В последнее время в этой части страны число дней с оттепелью увеличивается наиболее быстро в районах с относительно высокими зимними температурами (южные и западные районы).

2.2.3. Сухопутный транспорт

В условиях потепления климата, особенно из-за увеличения температуры зимой и весной, особую группу риска составляют сезонные транспортные коридоры в районах Крайнего Севера России (зимники, замерзшие реки), продолжительность эксплуатации которых уменьшается с повышением зимней и весенней температуры воздуха (Мирвис, 1999; Мирвис, Гусева, 2007).

В связи с произошедшими изменениями климата эксплуатация автомобильных и железных дорог может быть осложнена, во-первых, из-за возрастания количества осадков, особенно жидких и смешанных, и, во-вторых, из-за увеличения частоты

опасных гидрометеорологических явлений, таких как туманы, сильные ливни, снежные лавины, опасные снегопады и метели, песчаные бури. Число опасных для транспорта гидрометеорологических явлений в конце XX — начале XXI века увеличилось на севере страны (Шевкунова и др., 2005). Связано это в основном с увеличением числа смерчей, шквалов и ураганов, несмотря на уменьшение средней скорости ветра. В других районах России заметного увеличения опасных для транспорта гидрометеорологических явлений не произошло.

Наблюдаемая тенденция к увеличению как жидких осадков, так и обильных снегопадов на значительной части территории России (Материалы к стратегическому прогнозу изменений климата Российской Федерации на период до 2010–2015 гг. и их влияние на отрасли экономики России, 2005) создает опасность размыва некоторых участков автомобильных дорог и железнодорожного полотна.

Участившиеся в последнее время заморозки и оттепели приводят к увеличению повторяемости гололедицы на дорогах (гололед, заснеженное покрытие, “черный лед” и др.).

2.2.4. Состояние зданий и сооружений в районах многолетней мерзлоты

Произошедшие изменения климата могут иметь опасные последствия для состояния технических объектов — зданий и сооружений, размещенных в районах многолетней мерзлоты. Возможны повреждения фундаментов сооружений при уменьшении прочностных свойств многолетнемерзлых грунтов. Многие промышленные и жилые здания, нефтяные вышки, насосные станции и трубопроводы, дороги, мосты, взлетно-посадочные полосы в северных регионах построены на многолетней мерзлоте и рассчитаны на эксплуатацию в определенном диапазоне изменения климатических условий. Изменения параметров природной среды, выходящие за рамки этого диапазона, могут вызвать повреждение объектов инфраструктуры, их частичное или полное разрушение, что может иметь опасные, в том числе катастрофические, последствия.

В Западной Сибири ежегодно происходит около 35 тысяч отказов и аварий на магистральных нефте- и газопроводах, общая протяженность которых в России составляет приблизительно 350 тыс. км (Вартанова, 1998). Около 21% всех аварий вызваны механическими воздействиями, в том числе связанными с потерей устойчивости фундаментов и деформацией опор (Николаев, 1999). Данные, приведенные в табл. 2.2.1, показывают, что многие здания в городах, расположенных в области распространения многолетней мерзлоты,

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

находятся в настоящее время в опасном состоянии из-за уменьшения прочности и несущей способности фундаментов. Это уже вызывает самые серьезные последствия.

В 1966 г. в Норильске из-за неравномерной просадки мерзлого грунта, обусловленной главным образом нарушением эксплуатационных условий свайного фундамента, обрушился многоэтажный жилой дом; при этом погибли более 20 человек (Nelson et al., 2002). В Якутске с начала 1970-х годов более 300 зданий получили серьезные повреждения в результате просадок мерзлого грунта; по мнению эксперта Института мерзлотоведения СО РАН, в последнее десятилетие изменение климата могло стать основной причиной ослабления фундаментов строений на многолетней мерзлоте — см. информационный раздел газеты “Якутск”, <http://www.yakutia.ru/~resp/n28883/33-5.html>. В период с 1990 по 1999 г. число зданий, получивших повреждения из-за неравномерных просадок фундаментов, увеличилось по сравнению с предшествующим десятилетием на 42% в Норильске, на 61% в Якутске и на 90% в Амдерме (Weller and Lange, 1999).

По имеющимся оценкам (Weller and Lange, 1999), доля стандартных жилых пятиэтажных зданий в Якутске, Воркуте и Тикси (построенных в 1950–1970-х годах), выработавших свой ресурс

прочности, в 1990–2000 гг. существенно возросла. Хотя проблема атрибуции наблюдаемых изменений методологически пока еще не вполне решена, но есть все основания считать, что в этом изменении есть заметный климатический компонент.

Таяние приповерхностного слоя многолетней мерзлоты и увеличение глубины сезонного протаивания сопровождаются значительными изменениями ландшафта с преобладанием депрессивных форм, образующихся в результате развития термокарстовых процессов. Особенно высокой уязвимостью обладают мерзлые грунты с повышенным содержанием солей. В таких грунтах по всей глубине мерзлого слоя наблюдаются линзы разного размера с высокоминерализованной водой, имеющей отрицательную температуру, — криопэги. Рассол в криопэгах находится в термодинамическом равновесии с окружающим мерзлым грунтом, и даже небольшое увеличение температуры грунтов при том, что она остается отрицательной, приводит к нарушению равновесия раствор–лед и развитию деструктивных геоморфологических процессов. Особую опасность криопэги представляют для опор трубопроводов и скважин. Локальное протаивание прилегающего к криопэгу грунта вблизи вертикальной стенки, даже на большой глубине, может привести к распространению рассола вдоль всей конструкции и даль-

Таблица 2.2.1. Уменьшение ресурса фундаментов строений в зависимости от года постройки; по данным Л. Н. Хрусталева, приведенным в работе (Weller and Lange, 1999)

Год постройки	Доля построек, выработавших свой ресурс прочности, %	
	1990	2000
Воркута		
1950	10	18
1960	9	17
1970	7	15
1980	3	12
1990	0	9
Тикси		
1950	9	23
1960	7	20
1970	4	18
1980	2	16
1990	0	14
Якутск		
1950	8	28
1960	6	27
1970	4	25
1980	2	24
1990	0	22

нейшему протаиванию грунта вдоль скважины или опоры. Засоленные грунты широко распространены на морских террасах вдоль Арктического побережья, в частности на п-ове Ямал в районах перспективных нефте- и газовых месторождений, поскольку в периоды океанических трансгрессий прошлых эпох эти территории находились под водой, и происходило накопление солевых осадков (Анисимов, Лавров, 2004).

2.2.5. Литература

- Александрова А. А., 2006.** Климатологическое обеспечение теплового режима зданий на северо-западе Европейской территории России. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата географических наук, СПб, 25 с.
- Анисимов О. А., Лавров С. А., 2004.** Глобальное потепление и таяние вечной мерзлоты: оценка рисков для производственных объектов ТЭК, Технологии ТЭК, № 3, с. 78–83.
- Варганова О. В., 1998.** Методические подходы к оценке надежности и экологической безопасности промысловых трубопроводов, Нефтяное хозяйство, № 11, с. 47–48.
- Ефимова Н. А., Байкова И. М., Лаперье В. С., 1992.** Влияние потепления климата на режим отопления зданий, Метеорология и гидрология, № 12, с. 95–98.
- Заварина М. В., 1976.** Строительная климатология, Л., Гидрометеиздат, 312 с.
- Кузнецов Е. П., Кобышева Н. В., 2004.** Качество теплоснабжения городов, СПб, ПЭИПК, 293 с.
- Мешерская А. В., 2006.** Изменение скорости ветра на севере России во второй половине XX века по приземным и аэрологическим данным, Метеорология и гидрология, № 9, с. 46–58.
- Мирвис В. М., 1999.** Оценка изменений температуры воздуха на территории России за последнее столетие, в сб.: Современные исследования

Главной геофизической обсерватории, т. 1, СПб, Гидрометеиздат, с. 220–235.

- Мирвис В. М., Гусева И. П., 2007.** Изменение в режиме оттепелей на территории России, Труды ГГО (в печати).
- Николаев Н. Н., 1999.** Основные причины возникновения аварийных отказов на магистральных трубопроводах, Нефть и газ, Известия вузов, Тюменский государственный университет, № 2, с. 77–81.
- Отопление, вентиляция и кондиционирование. СНиП 2.04.05-86, 1987.** М., Госстрой.
- Семенов Ю. А., 2005.** Нагрузочные климатические ресурсы, в кн.: Энциклопедия климатических ресурсов, СПб, Гидрометеиздат, 319 с.
- Шевкунова Э. И., Пафнуктова Ю. А., Исмагилова Д. М., 2005.** Опасные метеорологические явления на пространстве Российской Федерации, в сб.: Климатические ресурсы и методы их представления, Сборник докладов конференции, СПб, Гидрометеиздат, с. 203–208.
- Шерстюков Б. Г., 2007.** Климатические условия отопительного периода в России в XX и XXI веках, Труды ГУ ВНИИГМИ-МЦД, вып. 173, с. 163–170.
- Instanes A., Anisimov O., Brigham L., Goering D., Ladanyi B., Larsen J. O., and Khrestalev L. N., 2005.** Infrastructure: Buildings, support systems, and industrial facilities, in: Arctic Climate Impact Assessment, ACIA, Chapter 16, Cambridge, Cambridge University Press.
- Nelson F. E., Anisimov O. A., and Shiklomanov N. I., 2002.** Climate change and hazard zonation in the circum-Arctic permafrost regions, Natural Hazards, vol. 26, No. 3, pp. 203–225.
- Weller G. and Lange M. (eds.), 1999.** Impacts of Global Climate Change in the Arctic Regions Report from a Workshop on the Impacts of Global Change, Published by Center for Global Change and Arctic System Research, University of Alaska, Fairbanks, Tromse, Norway, 59 p.

2.3. СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО

Ведущий автор: О. Д. Сиротенко

Авторы: Е. В. Абашина, В. Н. Павлова, Е. Н.

Попова

Редактор-рецензент: А. И. Страшная

2.3.1. Вводные замечания

Производство сельскохозяйственной продукции базируется на биопродукционном потенциале природной среды. Климат является важнейшим фактором, его определяющим. До недавнего времени оценки фактического состояния сельского хозяйства, а также перспективные оценки

строились, исходя из постоянства климата. В связи с наблюдаемым беспрецедентно быстрым изменением глобального климата в конце XX — начале XXI века допущение о его постоянстве стало явно нереалистичным. Оно не может более служить основой для принятия решений о развитии аграрного сектора экономики России на среднесрочную и долгосрочную перспективу. Новый подход, учитывающий фактические и будущие изменения климата, отражен в ряде публикаций, основными из которых являются следующие: Влияние глобальных изменений природной среды и климата..., 1998; Глобальные проявления

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

изменений климата..., 2004; Иванов, 2004; Материалы к стратегическому прогнозу изменений климата РФ..., 2005.

В данном разделе оценивается воздействие наблюдаемых изменений климата на продукцию растениеводства в России, а также на ареалы некоторых насекомых — вредителей сельскохозяйственных растений, которые наносят заметный ущерб урожаю сельскохозяйственных культур.

2.3.2. Наблюдаемые изменения агроклиматических условий

Для оценки влияния наблюдаемых изменений климата на состояние и продуктивность сельскохозяйственных растений используются прикладные климатические показатели (индексы). Они вычисляются, исходя из значений наблюдаемых метеорологических величин — температуры, суммы осадков и т. д., — и характеризуют агроклиматическую составляющую климата.

В табл. 2.3.1 представлены значения линейного тренда (средней скорости изменения за 10 лет) в период 1975–2004 гг. для следующих показателей:

- средние значения температуры января и июля;
- амплитуда годового хода температуры воздуха в приповерхностном слое атмосферы (разность средних значений температуры июля и января);
- сумма за календарный год среднесуточных значений температуры за период, в котором они выше 10°C (сумма активных температур);
- даты перехода среднесуточной температуры через 10°C;
- продолжительности периодов года со среднесуточными значениями температуры выше 10°C и от 5 до 15°C;
- гидротермический коэффициент Сеянинова (*ГТК*), коэффициент увлажнения Чиркова (*КУ*), индекс сухости Будыко (*ИС*); определения этих показателей даны в разделе 2.1.3.

Приведенные в табл. 2.3.1 данные — средние значения тренда по выделенным регионам.

В дополнение к осредненной по регионам информации, представленной в табл. 2.3.1, на рис. 2.3.1, 2.3.2 и 2.3.3 представлено пространственное распределение значений трендов в картографической форме для некоторых из упомянутых выше агроклиматических индексов.

Для средней температуры июля наблюдается определенная закономерность пространственного распределения тренда — вдольширотное чередование (т. е. чередование вдоль широтных линий) областей, вытянутых в меридиональном направлении, с положительными и отрицательными значениями трендов (Ранькова, 2005; Сиротенко и др., 2007). Выделяются два сектора значительного

повышения средней температуры июля — западный (20–50° в. д.) и восточносибирский (90–130° в. д.). Между ними наблюдаются секторы слабого роста или даже падения температуры (уральский и дальневосточный соответственно). Максимальные значения скорости повышения июльской температуры (до 1–1,2°C за 10 лет) наблюдаются на территории Белоруссии и западных областей России, а также в Восточной Сибири. На востоке Европейской России и на Урале отмечается падение температуры июля со средней скоростью до –0,3°C за 10 лет.

Чередование областей с определенным знаком тренда температуры вдоль широтных линий не менее явно выражено в сельскохозяйственной зоне России и для температуры января, которая во многом определяет успешность перезимовки сельскохозяйственных культур. Температура января повышается со скоростью 1–1,5°C за 10 лет на большей части ЕТР за исключением северо-востока и Урала. Она уменьшается (со скоростью до –1°C за 10 лет) в ряде районов сельскохозяйственной зоны Западной Сибири, повышается на юге Восточной Сибири и снова понижается в отдельных районах Дальнего Востока (Амурская область). Подобное чередование трендов температуры воздуха нарушается лишь для температуры переходного осеннего периода. Максимальные значения скорости увеличения температуры осенью (до 1–1,3°C за 10 лет) отмечаются в Предуралье (Оренбургская область и прилегающие районы) и на Дальнем Востоке (Амурская область).

Максимальные скорости роста теплообеспеченности сельскохозяйственных культур, превышающие 150°C за 10 лет, приходятся на западные районы Белоруссии и Прибайкалье. Зона слабого повышения и даже похолодания располагается на востоке и юго-востоке Европейской России, а менее выраженная — в отдельных районах Дальнего Востока (рис. 2.3.2а).

Можно заметить (табл. 2.3.1) высокую скорость роста теплообеспеченности сельскохозяйственных культур на территории Калининградской области (порядка 120°C за 10 лет), а также на территории Восточной Сибири (94°C за 10 лет). Вместе с тем обращает на себя внимание слабая тенденция к уменьшению теплообеспеченности, проявившаяся на территории Нижнего Поволжья (–17°C за 10 лет).

Для пространственного распределения трендов продолжительности вегетационного периода также характерно вдольширотное чередование: в западной части ЕТР продолжительность периода вегетации увеличивается (со скоростью до 6 суток за 10 лет на территории Калининградской области), а на востоке региона — уменьшается, хотя и с

Таблица 2.3.1. Линейный тренд агроклиматических показателей (средняя скорость изменения за 10 лет) в 1975–2004 гг. по регионам России (Сиротенко и др., 2007). Размерность тренда: для характеристик термического режима — °C/10 лет, для дат и продолжительности периодов — сутки/10 лет; для сумм осадков — мм/10 лет; для коэффициентов увлажнения — мм/°C за 10 лет и индекса сухости — °C/мм за 10 лет

Регион	Показатель												Коэффициенты			
	Характеристики термического режима				Даты и характеристики продолжительности периодов				Сумма осадков				ГТК	КУ	ИС	
	средняя температура	амплитуда годового хода температуры	сумма средних значений температуры больших 10°C	даты перехода среднесуточной температуры через 10°C	даты перехода среднесуточной температуры	продолжительность периодов со значением среднесуточной температуры	зима	весна	лето	осень	лето	осень				
													январь	июль	весна	осень
Северный	0,69	0,79	0,10	55	0,5	1,3	0,8	–	8,3	3,9	–3,6	–4,1	–0,09	–0,04	0,01	
Северо-Западный	1,13	0,95	–0,18	72	–0,3	1,5	1,8	1,7	4,1	5,4	4,2	–2,0	–0,03	–0,01	0,01	
Калининградский	0,57	0,72	0,15	123	–4,0	2,2	6,2	1,6	3,8	2,0	2,9	6,0	–0,03	–0,04	0,00	
Центральный	1,15	0,90	–0,25	33	–0,1	0,7	0,9	3,7	–1,6	–2,9	–5,4	7,1	–0,08	–0,04	0,01	
Волго-Вятский	1,01	0,84	–0,17	15	2,2	0,9	–1,3	1,7	0,9	1,3	–6,8	–0,6	–0,09	–0,04	0,00	
Центрально-Черноземный	1,32	1,05	–0,27	57	–1,1	1,3	2,3	3,3	–6,8	2,0	–6,9	11,6	–0,08	–0,04	0,01	
Поволжье, север	1,25	0,74	–0,51	28	1,3	2,0	0,7	3,8	7,3	9,4	–7,2	8,4	–0,07	0,00	–0,03	
Поволжье, юг	1,04	0,37	–0,67	–17	1,6	1,9	0,2	4,4	–2,4	4,4	3,2	9,4	0,01	0,02	–0,13	
Северный Кавказ	0,74	0,60	–0,14	75	–0,1	3,1	3,1	3,6	–2,0	4,6	17,2	21,2	0,06	0,05	–0,05	
Уральский	0,64	0,45	–0,19	23	–0,3	0,1	0,3	–4,2	4,8	10,2	5,7	5,8	0,00	0,03	–0,04	
Западно-Сибирский	0,15	0,09	–0,06	77	–4,4	–0,7	3,7	–1,1	6,9	2,7	3,2	3,4	0,01	–0,01	0,00	
Восточно-Сибирский	0,85	0,57	–0,28	94	–3,1	0,2	3,2	–2,1	1,9	0,9	7,5	5,0	0,00	–0,02	0,01	
Дальневосточный	0,95	0,01	–0,94	43	–2,3	1,6	3,9	3,8	3,1	1,4	4,1	2,2	0,05	0,01	0,01	

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

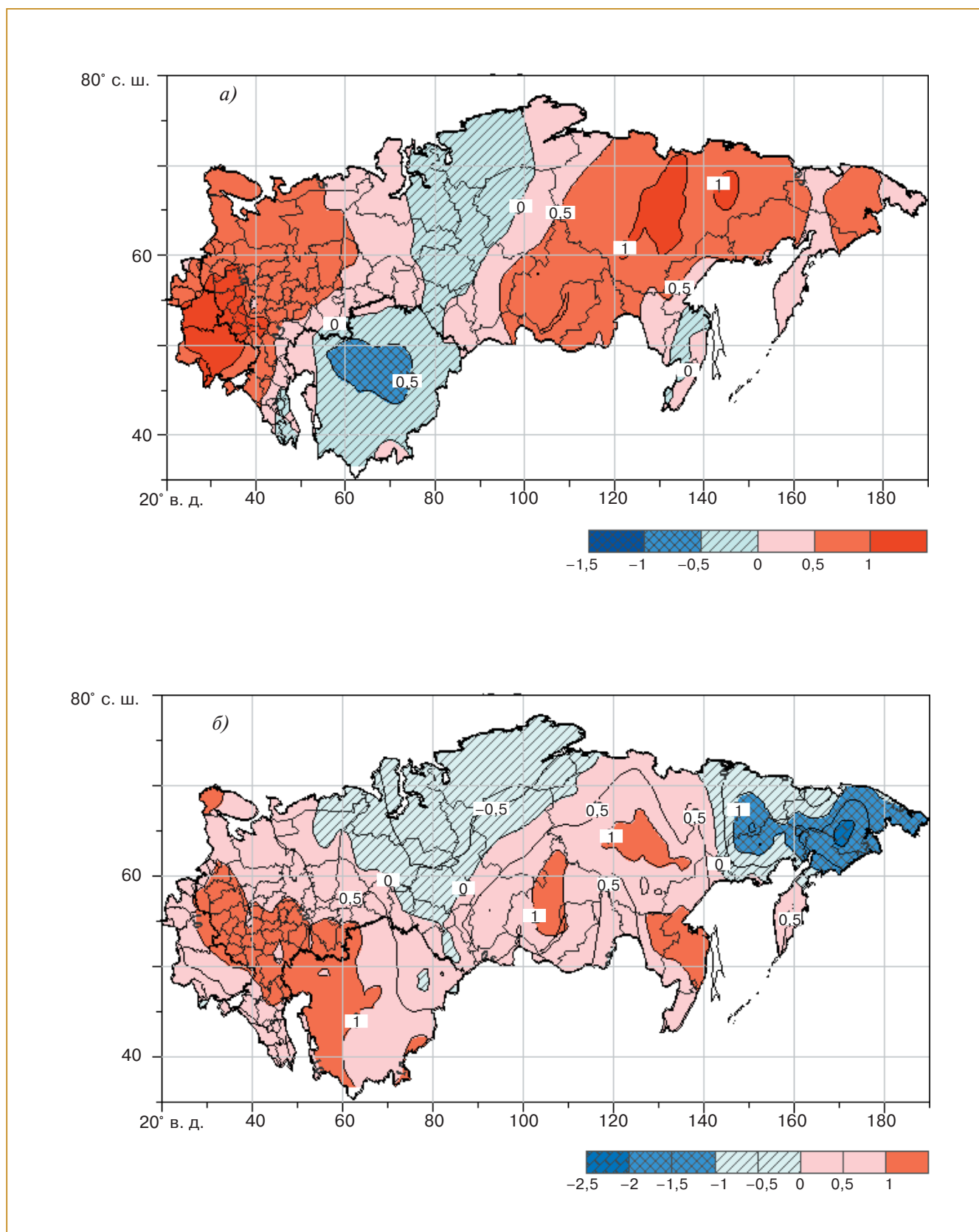


Рис. 2.3.1. Линейный тренд ($^{\circ}\text{C}/10$ лет) средней температуры июля (а) и января (б) в 1975–2004 гг.

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

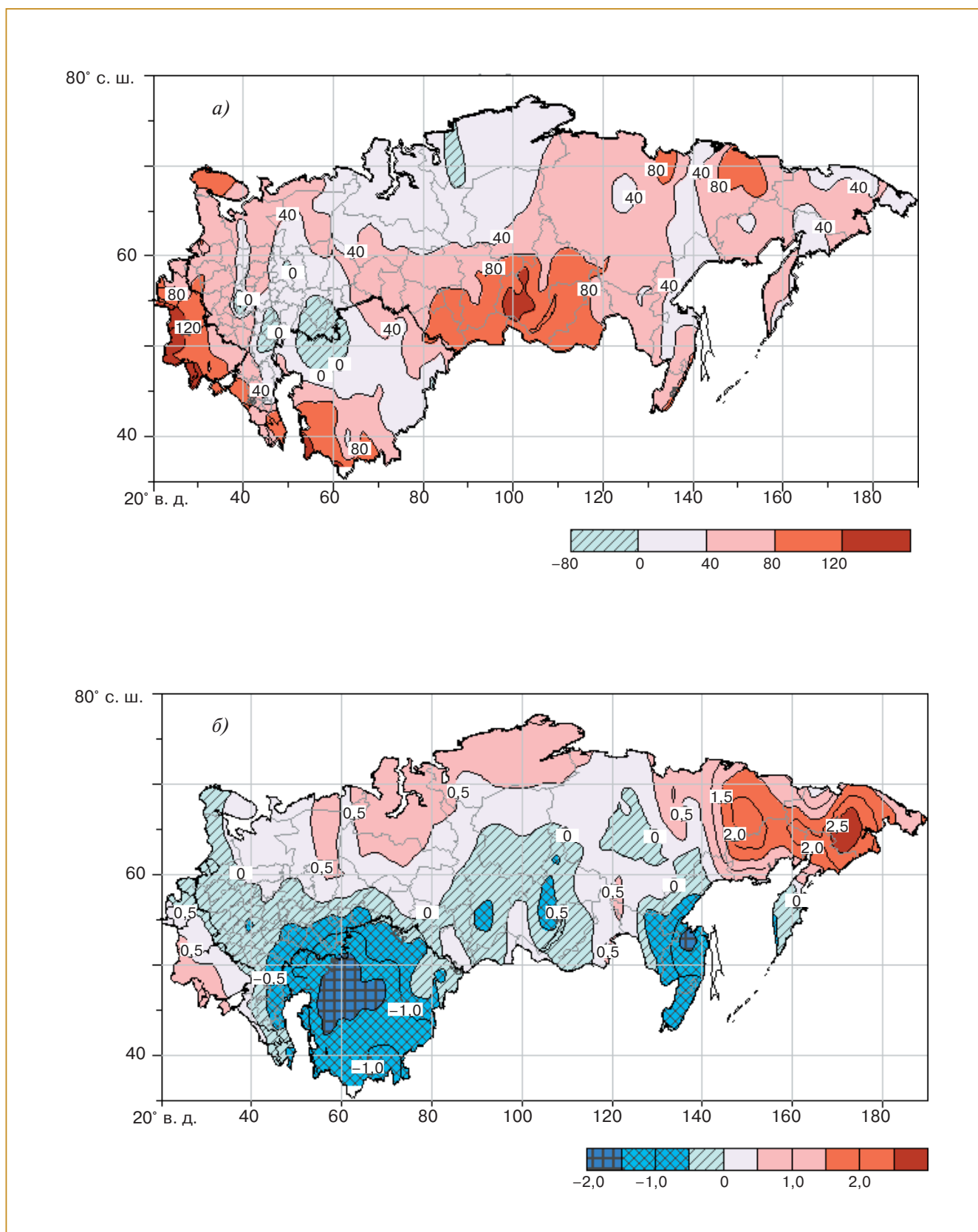


Рис. 2.3.2. Линейный тренд ($^{\circ}\text{C}/10$ лет) суммы среднесуточных значений температуры больших 10°C (а) и амплитуды годового хода температуры (б) в 1975–2004 гг.

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

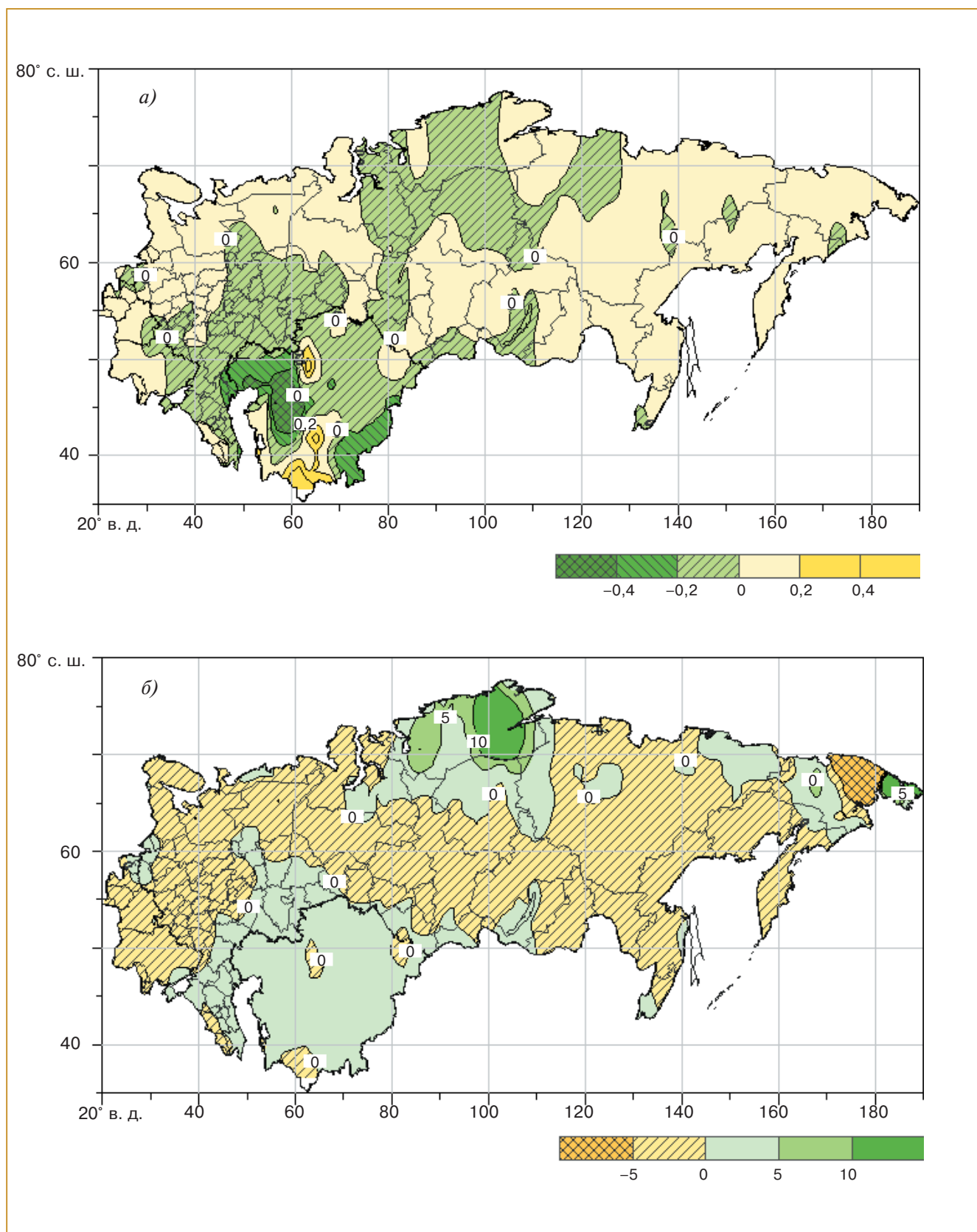


Рис. 2.3.3. Линейный тренд индекса сухости IS (а; $^{\circ}\text{C}/\text{мм}$ за 10 лет) и коэффициента увлажнения KU (б; $\text{мм}/^{\circ}\text{C}$ за 10 лет) за период с 1975 по 2004 г.

меньшей по абсолютной величине скоростью. В Волго-Вятском районе продолжительность периода вегетации уменьшалась со средней скоростью 1,3 суток за 10 лет (табл. 2.3.1). На всей территории земледельческой зоны Сибири и Дальнего Востока наблюдалось увеличение продолжительности вегетационного периода со скоростью от 3 до 4 суток за 10 лет.

Большие внутrigодовые различия значений температуры — следствие континентальности климата — способствуют формированию на территории России зоны рискованного земледелия, для которой характерна значительная неустойчивость урожаев. “Равномерное” потепление (или похолодание) не может изменить годовую амплитуду температуры и, следовательно, степень континентальности климата. Как видно на рис. 2.3.2б, для современного потепления характерно уменьшение годовой амплитуды температуры, что ведет к уменьшению континентальности климата на территории земледельческой зоны России. Выделяются три зоны, где годовая амплитуда температуры уменьшается наиболее быстро. Это ЕТР (кроме северо-востока), южные районы Сибири и Дальнего Востока.

Многообразные экологические последствия существенного уменьшения годовой амплитуды температуры воздуха (до 3–5°C за последние 30 лет) нуждаются в специальном исследовании. Следует заметить, что максимальная урожайность зерновых культур на территории Европы достигнута в странах с наименее континентальным климатом — в Ирландии и Нидерландах (Гордеев и др., 2006).

По данным за последнее тридцатилетие XX века тенденция к увеличению продолжительности периода вегетации (период календарного года с температурой воздуха выше 5°C) наблюдалась на большей части ЕТР (за исключением территории Южного федерального округа), а также на территориях Уральского и Сибирского федеральных округов (за исключением северных районов: п-ов Ямал, Таймыр и др.). В среднем изменения составили 5–10 суток за 30 лет. Однако на фоне увеличения продолжительности вегетационного периода во многих районах не наблюдалось увеличения продолжительности периодов без заморозков. Напротив, на значительных площадях северо-восточной части Северо-Западного федерального округа, в Центральном и Приволжском федеральных округах наблюдалось сокращение продолжительности периода без заморозков в среднем на 5–15 суток.

В подобной ситуации вместо возможного положительного эффекта от увеличения периода вегетации могут возникнуть весьма негативные для сельского хозяйства последствия, связанные с поражением растений заморозками. Можно ожи-

дать, что по мере развития потепления на севере России вероятность таких неблагоприятных явлений будет уменьшаться. Однако до 2015 г. опасность упомянутых неблагоприятных явлений сохраняется (Материалы к стратегическому прогнозу..., 2005).

Индекс сухости Будыко *ИС* — интегральный годовой показатель увлажненности. Коэффициент увлажнения Чиркова *КУ* и гидротермический коэффициент Селянинова *ГТК* — более специализированные показатели, характеризующие влагообеспеченность агроэкосистем при естественном увлажнении. При этом *КУ* представляет увлажненность почвы летнего периода с учетом осадков холодного периода года, а *ГТК* — лишь увлажненность летнего периода без учета начальных влагозапасов почвы.

На рис. 2.3.3а представлено пространственное распределение значений тренда индекса сухости Будыко в 1974–2005 гг. Как видно на рисунке, аридность южных и юго-восточных районов ЕТР за последние 30 лет уменьшилась или, по крайней мере, не повысилась. Этот вывод относится, прежде всего, к территории Северо-Кавказского, Поволжского и Уральского экономических районов. В Западной Сибири наблюдается уменьшение значений индекса сухости в западной части региона и некоторое увеличение в южных районах Алтайского края. В Восточной Сибири и на Дальнем Востоке наблюдается слабое увеличение индекса сухости, хотя в отдельных районах (Прибайкалье, юг Приморского края) этот показатель уменьшается.

Распределение трендов коэффициента увлажнения *КУ* по регионам в целом соответствует распределению трендов индекса сухости *ИС* с учетом противоположных знаков этих показателей (см. табл. 2.3.1). Как видно на рис. 2.3.3б, наибольший рост *КУ* наблюдается на территории Северного Кавказа, значительной части Поволжья и на южном Урале, т. е. на территории, где в России производится более половины товарного зерна. Увеличение коэффициентов увлажнения отмечается также на юге Дальнего Востока. В сельскохозяйственных районах Западной Сибири трудно выделить преобладающую тенденцию изменения увлажненности. Коэффициент увлажнения *КУ* уменьшается также в центральных районах ЕТР и особенно сильно на юге Восточной Сибири. Для сельскохозяйственного производства отрицательную роль играет уменьшение увлажненности территории черноземного центра, доля которого в производстве зерна в России составляет 10–12%.

Данные о распределении трендов *ГТК* свидетельствуют о том, что увлажненность летнего периода за последние 30 лет уменьшалась на большей части ЕТР, за исключением Северного Кав-

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

каза, Нижнего Поволжья, Южного Урала и Зауралья. Уменьшение увлажненности летнего периода наблюдалось в южных районах Восточной Сибири.

2.3.3. Влияние изменения климата на продуктивность сельского хозяйства

В табл. 2.3.2 (Сиротенко и др., 2007) представлены качественные оценки изменений четырех агроклиматических условий, которые в комплексе определяют климатозависимую составляющую продуктивности растениеводства в России. Перечислим их в порядке убывания значимости: увлажненность, теплообеспеченность, термические условия холодного периода, континентальность климата. Наблюдаемое изменение климата ведет к изменению всех этих связанных между собой условий. Изменение каждого из них есть фактор, влияющий на продуктивность сельскохозяйственных растений. Знак плюс в табл. 2.3.2 означает, что данный фактор — произошедшее изменение данного условия — в данном регионе положительно влияет на сельскохозяйственное производство, а знак минус свидетельствует об отрицательном влиянии. Изменения первых трех условий можно оценить в единицах продуктивности. Что касается изменений степени континентальности климата, то агроклиматическая оценка этого фактора возможна пока лишь на качественном уровне. Приведем оценки изменений агроклиматических условий по регионам России, следуя результатам работ (Израэль, Сиротенко, 2003; Сиротенко, 2004; Сиротенко, Грингоф, 2006; Сиротенко и др., 2007).

Северо-Кавказский регион. Доля этого региона в производстве зерна в России максимальна — около 19%. Основные причины падения урожайности зерновых в отдельные годы — засухи весенне-летнего и осеннего периодов, а также вымерзание — наиболее частый вид повреждения озимых в этом регионе.

Как видно на рис. 2.3.1, на Северном Кавказе наблюдалось весьма быстрое повышение средней температуры января — интегральной характеристики условий зимовки. За последние 30 лет она повысилась более чем на 2°C (см. табл. 2.3.1). Сохранности озимых культур способствовало также увеличение увлажненности в осенний период практически на всей территории региона (увеличение осадков в среднем превысило 20 мм за 10 лет). Наблюдаемые за последние 30 лет уменьшение индекса сухости и увеличение коэффициента увлажнения (см. рис. 2.3.3) позволяют сделать однозначный вывод об улучшении влагообеспеченности сельскохозяйственных культур в этом регионе.

Этот вывод подтверждают положительные тренды урожайности всех зерновых и зернобобо-

вых культур в этом регионе с 1975 по 2004 г. Изменения урожайности (линейные тренды, ц/га за 10 лет) оказались следующими: Краснодарский край — 1,1; Ставропольский край — 3,2; Ростовская область — 0,88. Положительный тренд урожайности за последние нелегкие для экономики страны 30 лет трудно объяснить без предположения об улучшении агроклиматических условий.

На территории Северо-Кавказского региона наблюдается увеличение теплообеспеченности сельскохозяйственных культур (в среднем со скоростью 75°C за 10 лет), что, наряду с увеличением продолжительности вегетационного периода (в среднем на 4–5 суток за 10 лет), свидетельствует о возможности расширения посевов более продуктивных теплолюбивых и субтропических сельскохозяйственных культур. Однако при этом необходимо учитывать, что риск повреждения сельскохозяйственных культур заморозками на Северном Кавказе не уменьшился. Это подтверждают данные наблюдений о повреждении возделываемых в регионе косточковых культур весной 1999, 2000, 2004, 2006 и 2007 гг.

Поволжский регион. Доля этого самого засушливого региона России в валовых сборах зерна около 18%. За последние 30 лет в Поволжье заметного роста теплообеспеченности сельскохозяйственных культур не наблюдалось (см. рис. 2.3.2a). Вместе с тем зафиксирован рост средней температуры января (см. рис. 2.3.1б), что привело к улучшению условий зимовки сельскохозяйственных культур. Уменьшение индексов сухости и увеличение коэффициентов увлажнения свидетельствуют об уменьшении аридности климата региона, улучшении условий влагообеспеченности и, следовательно, о возможном росте урожайности сельскохозяйственных культур. Вывод об улучшении агроклиматических условий региона подтверждают положительные тренды урожайности зерновых и зернобобовых культур (ц/га за 10 лет), которые составили в Ульяновской области 0,12, в Саратовской области 0,81, в Волгоградской области 0,97 и в Астраханской области 0,20.

Однако на северо-западе региона наблюдается увеличение засушливости в летний период года, что может отрицательно сказаться на урожайности, прежде всего яровых культур.

Среди благоприятных для сельского хозяйства аспектов изменения климата в Поволжье — падение степени континентальности климата, выразившееся в уменьшении годовой амплитуды температуры воздуха со скоростью 0,5–0,7°C за 10 лет, а также в увеличении продолжительности вегетационной весны — периода подъема температуры воздуха от 5 до 15°C. Этот показатель увеличивался со средней скоростью 3,8–4,4 суток за 10 лет (см. табл. 2.3.1).

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

Таблица 2.3.2. Качественная оценка наблюдаемых изменений агроклиматических условий для зернового хозяйства по регионам России

Регион	Доля в валовых сборах, %	Увлажненность		Теплообеспеченность		Термические условия зимовки		Континентальность климата	
		тренд	оценка	тренд	оценка	тренд	оценка	тренд	оценка
Северо-Кавказский	19,3	↗	+	↗	+	↗	+	↘	+
Поволжский	17,6	↗	+	↔	↔	↗	+	↘	+
Уральский	15,7	↗	+	↘	—	↗	+	↘	+
Западно-Сибирский	13,7	↔	↔	↗	+	↘	—	↔	↔
Центрально-Черноземный	10,6	↘	—	↗	+	↗	+	↘	+
Центральный	10,1	↘	↔	↗	+	↗	+	↘	+
Волго-Вятский	5,7	↗	+	↔	↔	↔	↔	↔	↔
Восточно-Сибирский	5,3	↘	—	↗	+	↗	+	↔	↔
Дальневосточный	1,2	↘	↔	↗	+	↗	+	↘	+
Северо-Западный	0,6	↘	+	↗	+	↗	+	↘	+

Примечание. Характеристика тренда: ↗ — увеличение, ↘ — уменьшение; оценка изменения агроклиматических условий: + — улучшение, — — ухудшение; ↔ — без существенных изменений.

Уральский регион. Доля этого региона в валовых сборах зерна составляет около 16%. Как и в Поволжье, сколько-нибудь заметного роста теплообеспеченности в сельскохозяйственных районах Урала не наблюдалось (см. рис. 2.3.2а). Напротив, на юге региона июльская температура уменьшалась со средней скоростью до 0,3°C за 10 лет. Аридность территории, оцениваемая по индексу сухости *ИС*, заметно снизилась за рассматриваемый период, влагообеспеченность сельскохозяйственных культур повысилась. Наблюдалось увеличение сезонных сумм осадков при некотором уменьшении осенних осадков в отдельных районах. Как и в большинстве регионов России, на Урале отмечалось уменьшение континентальности климата. В Оренбурге, например, амплитуда годового хода температуры воздуха за 30 лет уменьшилась на 3,6°C, а продолжительность климатической весны возросла на 7–8 суток.

Улучшение агроклиматических условий этого региона подтверждает рост урожайности зерновых культур — порядка 1,7 ц/га за 10 лет в Республике Башкортостан. Вместе с тем наблюдалось уменьшение урожайности (порядка 0,6 ц/га за 10 лет) в Оренбургской области, несмотря на рост коэффициента увлажнения.

Западно-Сибирский регион. В этом регионе отмечено локальное уменьшение температуры зимой. Так, температура воздуха января на северо-западе понижалась со скоростью 0,5°C за 10 лет, хотя на востоке региона наблюдалось повышение температуры (см. рис. 2.3.1б). По этой причине рекомендация о расширении посевов озимых культур на северо-западе региона, где наблюдалось понижение январской температуры, представляется преждевременной. Вместе с тем на остальной части региона, как показывают исследования В. А. Моисейчик и др. (2002), вероятность гибели озимых в последнем десятилетии уменьшилась почти в 2 раза, что говорит о тенденции улучшения условий перезимовки и возможности расширения здесь посевов озимых культур как более урожайных.

Сумма активных температур, характеризующая теплообеспеченность растений, повысилась на территории региона повсеместно (см. рис. 2.3.2а), хотя при этом напряженность термического режима, характеризующая температурой июля, понижалась в отдельных районах на границе с Казахстаном до 0,3°C за 10 лет.

Урожайность зерновых уменьшалась на западе региона (Курганская и Челябинская области) и в

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

Алтайском крае. На остальной — большей части территории региона, включая важную в сельскохозяйственном отношении Новосибирскую область, — отмечен рост урожайности зерновых культур.

Индекс сухости на большей части региона изменялся незначительно. Отмечены отдельные “острова” как увеличения индекса сухости, так и его уменьшения.

Центрально-Черноземный регион. В этом регионе с относительно высокой повторяемостью засух прослеживалась тенденция к снижению коэффициента увлажнения, что не может не сказаться отрицательно на продуктивности растениеводства. Об этом свидетельствует уменьшение гидротермического коэффициента за летний период и максимальный для сельскохозяйственных районов России рост температуры воздуха в июле (более 1°C за 10 лет в среднем для региона). Наряду с этим улучшение условий увлажнения осеннего периода в результате увеличения осадков и уменьшения вероятности повреждения озимых культур в результате вымерзания в какой-то мере смягчает отрицательные последствия роста аридности климата. Положительным фактором является снижение степени континентальности климата, что проявляется, например, в удлинении периода климатической весны в Воронеже и Курске на 3,7 и 2,9 суток за 10 лет соответственно.

Центральный и Волго-Вятский регионы. Суммарный вклад этих регионов в валовом сборе зерна в России составляет 15–16%. Это достаточно увлажненная зона нечерноземных почв. Наблюдаемое быстрое увеличение теплообеспеченности сельскохозяйственных культур в Центральном и — менее значимый — в Волго-Вятском регионе способствует росту биопродукционного потенциала. Некоторое уменьшение коэффициента увлажнения в Центральном экономическом районе не должно существенно сказаться на урожайности зерновых культур (за исключением экстремально засушливых лет). Наблюдаемое увеличение продолжительности вегетационного периода способствует улучшению условий проведения полевых работ. Основное направление адаптации сельского хозяйства региона к изменениям климата — использование дополнительных тепловых ресурсов путем внедрения более теплолюбивых и урожайных культур (сортов), а также расширения посевов промежуточных культур как дополнительный источник производства кормов за счет второго урожая с одной площади.

Восточно-Сибирский регион. Доля этого региона в валовом сборе зерна — около 5%. На территории региона наблюдается самое быстрое в России (за исключением анклава — Калининградской области) увеличение сумм температур выше 10°C — в среднем на 94°C за 10 лет, что сопровождается

не менее быстрым увеличением июльской температуры — порядка 0,6°C за 10 лет на большей части региона. Повышение температуры сопровождается здесь уменьшением значений коэффициента увлажнения и гидротермического коэффициента для летнего периода (см. табл. 2.3.1), что приводит к падению урожайности яровых зерновых культур. Увеличение аридности подтверждается отрицательными трендами урожайности зерновых культур в Иркутской и Читинской областях, а также в Республике Бурятия. Основное направление адаптации сельского хозяйства к наблюдаемым изменениям климата на территории Восточной Сибири — использование дополнительных тепловых ресурсов и внедрение влагосберегающих технологий. Кроме того, адаптация может быть направлена на развитие сельского хозяйства более северных районов с достаточным увлажнением.

Дальневосточный регион. Положительным фактором развития сельского хозяйства этого региона является наблюдаемое увеличение теплообеспеченности сельскохозяйственных культур (на 50–100°C за 10 лет) на значительной части территории с развитым сельским хозяйством. Отметим, что повышение сумм температур выше 10°C не сопровождается здесь заметным увеличением температуры в июле. Наблюдаемое увеличение аридности, которое выражается в небольшом росте индекса сухости, не ведет к снижению продуктивности сельского хозяйства в результате высокой исходной увлажненности территории.

Северо-Западный регион. Этот регион относится к зоне наиболее высоких темпов роста сумм активных температур и больших скоростей увеличения температуры в июле. При достаточной или даже избыточной влагообеспеченности территории региона наблюдаемый здесь рост индекса сухости, а также уменьшение коэффициента увлажнения (см. табл. 2.3.1) следует рассматривать как положительный фактор для сельскохозяйственно-го производства. Рост теплообеспеченности и удлинение вегетационного периода существенно расширяют возможности для развития здесь высокоинтенсивного сельского хозяйства западноевропейского типа.

Обобщая данные, представленные в табл. 2.3.2, можно заключить, что наблюдаемые с 1975 г. изменения климатических условий в целом благоприятны для сельского хозяйства (растениеводства) большинства регионов России по всем четырем выбранным для оценки агроклиматическим показателям. Исключение составляют следующие регионы: Западная Сибирь — в результате увеличения засушливости в ряде районов и, прежде всего, в Алтайском крае; Урал — из-за некоторого снижения теплообеспеченности сельскохозяйственных культур; Центрально-Черноземный и Во-

сточно-Сибирский — из-за увеличения засушливости климата. Увеличение аридности климата на территории Сибири и некоторых других регионов, вклад которых в производство зерна в России не превышает 10–15%, — важнейшее из негативных последствий произошедших изменений климата. Наблюдаемое в Центрально-Черноземном регионе улучшение условий перезимовки озимых культур, как и рост теплообеспеченности и уменьшение континентальности климата, могут в значительной мере компенсировать потери, связанные с увеличением засушливости. В Восточно-Сибирском регионе увеличение теплообеспеченности, по-видимому, не сможет в достаточной степени компенсировать увеличение засушливости. Уменьшение степени увлажненности территории Северо-Западного, Центрального регионов и части Дальневосточного не должно привести к заметным отрицательным последствиям для сельского хозяйства. Напротив, при наличии значительных массивов переувлажненных сельскохозяйственных угодий в этих регионах уменьшение увлажненности следует оценивать как положительный фактор.

Таким образом, наблюдаемые в течение последних 30 лет изменения климата способствовали росту продуктивности сельскохозяйственных культур большинства регионов России, обеспечивающих производство порядка 85% товарного зерна. Положительные тренды урожайности зерновых и зернобобовых культур за 1975–2005 гг. в 70% субъектов Российской Федерации, наблюдаемые даже в условиях экономических сложностей в стране, косвенно подтверждают это заключение.

2.3.4. Влияние изменения климата на вредителей сельскохозяйственных растений

Число видов вредителей сельскохозяйственных культур очень велико. К ним относятся организмы совершенно разного уровня организации — от круглых червей до млекопитающих (Афонин и др., 2006). Вред, наносимый ими продукции растениеводства, весьма значителен. Многие из этих организмов существенно зависимы от климата. Поэтому при изменении климата возможны изменения ареалов видов и численности вредителей, что может влиять на состояние и урожай сельскохозяйственных растений — отрицательно или же положительно. В данном разделе эта проблема будет рассмотрена на примере широко распространенных насекомых — саранчи и колорадского жука, наносящих существенный ущерб сельскохозяйственным растениям во многих странах мира.

2.3.4.1. Массовое размножение саранчовых на юге России в связи с изменением агроклиматических условий

Надсемейство саранчовых насчитывает около 10 тыс. видов, обитающих на всех пяти материках. По образу жизни они представлены стадными и нестадными формами. Именно первые известны как опасные вредители сельскохозяйственных растений. Наибольший вред сельскому хозяйству на территории России наносят стадные формы — перелетная (азиатская) саранча (*Locusta migratoria* L.) и итальянский прус (*Calliptamus italicus* L.) (Цыпленков, 1970; Липчанская, 2000; Столяров, 2005; Бондарев, 2003), а из нестадных — атбасарка (*Dociostaurus kraussi* Ikonnikov) и кобылки крестовая (*Pararocryptera microptera* F.-W.), белополосая (*Chorthippus albomarginatus* De Geer) и чернополосая (*Oedaleus decorus* Germar) (Гриньков, Идрисхаджиев, 1994). Зоны очагов размножения стадных саранчовых и путей их залета в XX веке приведены на рис. 2.3.4 (Правдин, 1969).

В России ареал азиатской саранчи охватывает территории, простирающиеся от южных границ России на север примерно до 58–60° с. ш. Зона вредоносности этой саранчи обычно не выходит на севере за пределы 55° с. ш., а зона постоянного массового размножения находится в пределах 40–48° с. ш. Ареал итальянского пруса занимает весь юг европейской части России, Кавказ и Закавказье, Среднюю Азию, Казахстан, юг Западной Сибири и западную часть Алтайского края. Однако зоны его массового размножения и вредоносности в центральных частях ареала ограничены типчково-полынными, полынно-злаковыми растительными формациями, а на юге — оазисами (Цыпленков, 1970).

Годы массового размножения саранчи надолго остаются в памяти людей как стихийное бедствие. Саранча практически всеядна. Она не только пожирала растения в огромных количествах, но, повреждая их, создает “ворота”, через которые в организм растения проникают возбудители инфекций и паразиты. От этого погибает в 5–10 раз больше живой фитомассы, чем пожирают ее саранчовые (Бондарев, 2003).

Массовое размножение саранчовых в России в последнее десятилетие XX века приобрело настолько серьезный масштаб, что это заставило ученых-ортоптерологов и практиков защиты растений снова обратить внимание на эту серьезную, но отчасти забытую проблему. Текущая вспышка массового размножения охватывает фактически все степные регионы юга России. В 1999 г. в России общая площадь, где отмечались кулиги и стаи стадных саранчовых, составляла около 1 млн. га, а в Казахстане (с западными районами которого в

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

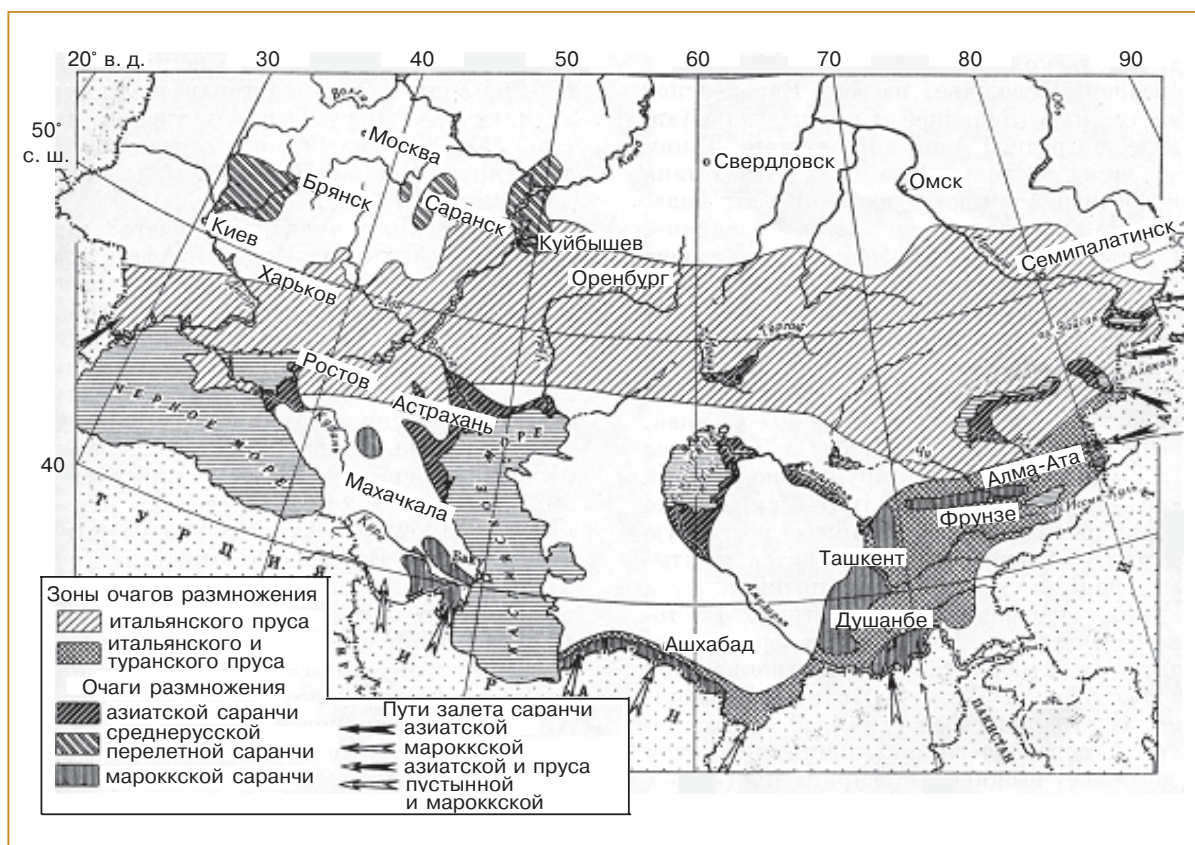


Рис. 2.3.4. Основные очаги массового размножения стадных форм саранчовых на территории СССР и путей их залета из сопредельных стран (Правдин, 1969).

годы инвазий происходит интенсивный “обмен” стаями пруса) достигла 3 млн. га.

Следует отметить, что массовое размножение саранчовых подобного масштаба в России не отмечалось в течение многих десятилетий до текущей вспышки, хотя это явление на относительно ограниченных территориях в ряде очагов фиксировалось регулярно. При этом, если до 1998–1999 гг. отмечались кулиги и стаи лишь итальянского пруса, то в последние годы активизировались и очаги перелетной (азиатской) саранчи (Столяров, 2000, 2005). В большинстве районов ареала наблюдается повышение численности и нестадных саранчовых.

Начиная с конца 1980-х — начала 1990-х годов массовое размножение саранчовых отмечается в Среднем и Нижнем Поволжье (Саратовская, Астраханская, Волгоградская области), в Калмыкии, на Северном Кавказе и прилегающих к нему территориях, в Ставропольском крае. С 1997 г. нашествию саранчовых подверглись 16 субъектов Российской Федерации. Массовые очаги появились в Ростовской и Оренбургской областях, в Краснодарском крае, на юге Сибири (Столяров, 1998, 2000; Дентелинова, 2000; Липчанская, 2000; Поли-

щук, Маленкова, 2001; Вошедский, Гаврилова, 2004; Сергеев, Ванькова, 2006).

При этом общая сумма прямых затрат на борьбу с саранчовыми только в Ставропольском крае за год составила около 2,8 млрд. руб. (Никитенко, 1998). Одной из причин такого массового и продолжительного размножения саранчовых, помимо экономических и региональных причин (сокращение и изменение структуры посевов, увеличение количества заброшенных земель, снижение поголовья овец и т. п.), ряд авторов считает общее потепление климата и увеличение числа жарких и засушливых лет в южных регионах России (Столяров, 1998, 2000, 2005; Вошедский, Гаврилова, 2004).

Массовые размножения стадных саранчовых связаны с двумя физическими факторами — погодой и солнечной активностью; влажность имеет несколько меньшее значение (Цыпленков, 1970).

По погодной составляющей существует широкое согласие специалистов: “Наиболее устойчивым признаком для характеристики динамики нарастания опасности развития вредных саранчовых во всех регионах юга РФ является повышение степени засушливости весенне-летних месяцев на

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

Таблица 2.3.3. Вспышки массовых размножений перелетной (азиатской) саранчи и итальянского пруса на юге России с начала XX века по настоящее время (Захаров, 1950; Столяров, 2000, 2005)

Годы значительных засух в Поволжье	Годы массовых размножений на юге России			
	перелетной (азиатской) саранчи		итальянского пруса	
	период вспышки, годы	продолжительность вспышки, лет	период вспышки, годы	продолжительность вспышки, лет
1911–1912	1912–1914	3	1911–1914	3
	1917–1919	3		
1920–1921	1921–1924	4	1920–1923	4
1927–1931	1927–1931	5	1931–1934	4
1936–1938	1936–1939	4	1940–1943	4
1944–1949	1943–1949	7	1954–1957	4
	1959–1962	4	1959–1962	4
			Стадная фаза лишь на Северном Кавказе и в прилегающих к нему районах	
			1972–1974	3
			1982–1984	3
	1998–2002	5	1990–1992–2002	10–12

фоне более теплых зим. Сочетание таких условий на протяжении 3 и более лет чаще всего приводит к значительному росту заселенных стадными саранчовыми площадями, увеличению их вредоносности и росту интенсивности миграций” (фрагмент из Решения 17-й сессии Межгосударственного Совета по гидрометеорологии стран СНГ № 3.5/17 от 10–11 ноября 2005 г., г. Киев).

На важность второго фактора — солнечной активности — указывают некоторые публикации. Так, начала массового размножения азиатской саранчи в основных ее гнездилищах следует ожидать с момента наступления максимума солнечной активности. По мере спада солнечной активности вспышка усиливается и достигает своего наибольшего предела ко времени минимальной активности Солнца, после чего она довольно резко регрессирует (Цыпленков, 1970; Столяров, 2005).

Температурные критерии (см. раздел 2.1.3) обуславливают не только ареалы распространения саранчовых, но и зоны их массового размножения и вредоносности. Так, в Поволжье и на Северном Кавказе выявлена достаточно четкая зависимость между массовыми размножениями перелетной саранчи (*L. migratoria* L.) и итальянского пруса и значительными засухами в регионе (Захаров, 1950; Столяров, 2000, 2005). В табл. 2.3.3 представлены

периоды засух в Поволжье и массовых размножений перелетной саранчи и итальянского пруса на юге России за последние 100 лет.

Как видно из представленных в табл. 2.3.3 данных, интенсивным засухам в большинстве случаев сопутствовали и массовые размножения рассматриваемых видов вредителей (Столяров, 2000). Следует также отметить беспрецедентную продолжительность вспышки массового размножения итальянского пруса на Северном Кавказе и в прилегающих к нему районах в 1990–2002 гг.

2.3.4.2. Становление ареала колорадского жука и его состояние в настоящее время

Колорадский жук (*Leptinotarsa decemlineata* Say) — вредитель картофеля и некоторых других, важных в продовольственном отношении, пасленовых культур. Он наносит существенный ущерб этим сельскохозяйственным растениям; в России он ежегодно снижает урожаи картофеля на 1/3 (Монастырский, 2005). Роль колорадского жука в агроэкосистемах по отрицательному влиянию не уступает таким неблагоприятным факторам, как недостаток или избыток влаги, почвенная и атмосферная засухи, недостаток питательных веществ (Вольвач, 1987).

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

Личинки колорадского жука отличаются большой прожорливостью — в среднем за период своего развития от I до IV возраста личинка съедает 30–40 см² листовой поверхности побегов картофеля, при этом 80% этого количества съедается в IV возрасте (Яхимович, 1967). По данным работы (Chlodny, 1967), одна особь личинки этого жука в среднем потребляет 1,27 г листьев картофеля в сутки. В течение суток личинки съедают количество пищи, по массе в 2,0–2,5 раза превышающее массу их тела (Бей-Биенко, 1980).

Формирование ареала этого вредителя происходило в последние полторы сотни лет и к настоящему моменту, по-видимому, еще не завершено. В связи с этим возникают определенные трудности с оценкой влияния наблюдаемых изменений климата на ареал колорадского жука. Основным фактором среды, определяющим границы его распространения на рассматриваемой территории, является температура (Колорадский картофельный жук..., 1981; Вольвач, 1987; Ясюкевич и др., 2007). Для установления потенциального (возможного) ареала колорадского жука были проведены обобщение и анализ климатических параметров, определяющих развитие этого организма (см. раздел 2.1.3). Потенциальный ареал, определяемый соответствующими климатическими константами, был сопоставлен с наблюдаемым ареалом на территории стран СНГ и Балтии (территория бывшего СССР), оценены изменения наблюдаемого ареала в последние 20–30 лет (Ясюкевич и др., 2007).

Согласно приведенным выше рассмотренным температурным критериям (раздел 2.1.3.2), на европейской части рассматриваемой территории развитие колорадского жука возможно в широтном секторе 42–61° с. ш. Исключение составляют районы, где наряду с низкой температурой воздуха зимой (–35...–40°С и ниже) высота снежного покрова бывает меньше 30 см, или же те районы, где температура почвы в зимний период на глубине залегания основной массы зимующих имаго опускается ниже –5°С и удерживается на этом уровне длительный период. Ранее считалось, что экономический ущерб сельскому хозяйству от колорадского жука не может быть существенным в районах севернее 58° с. ш. (Журавлев, 1993).

Во второй половине 1960-х годов колорадский жук появился в западных районах РСФСР (Брянская и Смоленская области) и в течение последующих 10 лет расселился на территории всех картофелеводческих районов ЕТР. К 1980 г. отдельные его очаги были обнаружены в республиках Закавказья, Уральской, Гурьевской и Актюбинской областях Казахстана, Челябинской, Кемеровской и Новосибирской областях РСФСР (Колорадский картофельный жук..., 1981). В последующие годы колорадский жук продолжил свое распространение.

Все территории Российской Федерации к югу от Псковской, Тверской, Ивановской областей, а также от Татарской АССР включительно стали зонами массового размножения жука. Его вредоносность там велика, ущерб сельскому хозяйству наносится регулярно. Во второй половине XX века ареал колорадского жука особенно расширился в восточном направлении. В него вошли Челябинская и Оренбургская области, сразу ставшие зонами массового размножения вредителя, а также Омская и Новосибирская области и Алтайский край (возникли отдельные очаги размножения вредителя).

В последние годы этот вредитель продвинулся далее на север и распространился в ряде районов, где его акклиматизация ранее считалась невозможной. Это юг Карелии, Архангельской, Тюменской областей, Республики Коми — до 62–63° с. ш. — и вся территория Ленинградской области. В Ленинградской области широкое распространение вредителя произошло в 1998 г. в результате его массовых миграций из Псковской и Новгородской областей (Фасулати, 2002а, 2002б, 2004). Определяющее значение в ограничении численности колорадского жука в Ленинградской области имеют погодные условия отдельных лет. Если температура воздуха в летний период значительно ниже средней многолетней (по данным метеостанции С.-Петербург ГАУ, г. Пушкин, она составляет 16,2°С), вредитель не может завершать свое развитие. В 1994–2004 гг. температура воздуха в летний период в большинстве случаев значительно превышала средние многолетние значения (Гусева, 2004). Именно в эти годы в Ленинградской области наблюдалось существенное увеличение численности колорадского жука (Гусева, 2004). В условиях Псковской и Новгородской областей в последние годы проявилась выраженная тенденция к смыканию границ очагов вредителя и его сплошному распространению (Калинина, Николаева, 2004).

К началу XXI века ареал вредителя еще несколько расширился на север и на восток; он обосновался и в некоторых районах Средней Азии (рис. 2.3.5). Сравнивая скорость распространения колорадского жука в 1960–1970-е годы и за последние 20 лет, можно заметить, что к началу XXI века скорость расширения ареала существенно уменьшилась (Ясюкевич и др., 2007). Возможно, это связано с тем, что колорадский жук приблизился к климатически обусловленным границам своего ареала.

Таким образом, сейчас на территории стран СНГ и Балтии процесс распространения колорадского жука имеет два выраженных компонента — климатический и экологический. Первый — освоение этим вредителем новых территорий, ставших пригодными для его развития вследствие наблюдаемых изменений климата, а второй — расселение и укоренение в пределах определенного кли-

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.



Рис. 2.3.5. Распространение колорадского жука к началу XXI века на территории стран СНГ и Балтии; картосхема построена по материалам работы (Афонин и др., 2006).

матом потенциального ареала, что регулируется экологическими свойствами данного вида и прочими неклиматическими условиями среды.

2.3.5. Литература

- Афонин А. Н., Гринн С. Л., Дзюбенко Н. И., Фролов А. Н., 2006.** Интерактивный атлас полезных растений, их вредителей и экологических факторов России и сопредельных государств (интернет-версия 1.0), СПб, Санкт-Петербургский государственный университет, факультет географии, <http://www.agroatlas.ru>.
- Бей-Биенко Г. Я., 1980.** Общая энтомология, М., Высшая школа, 416 с.
- Бондарев Л. Г., 2003.** Саранча в Европе, Вестник МГУ, сер. 5, № 1, с. 67–70.
- Влияние глобальных изменений природной среды и климата на функционирование экономики России, 1998.** Под ред. Н. П. Лаверова, М., УРСС, 102 с.
- Вольвач В. В., 1987.** Моделирование влияния агрометеорологических условий на развитие колорадского жука, Л., Гидрометеоиздат, 240 с.
- Вощедский Н. Н., Гаврилова Е. А., 2004.** Саранчовые в Ростовской области, Защита и карантин растений, № 7, с. 30–31.
- Глобальные проявления изменений климата в агропромышленной сфере, 2004.** Под ред. А. Л. Иванова, М., Россельхозакадемия, 331 с.
- Гордеев А. В., Клещенко А. Д., Черняков Б. А., Сиротенко О. Д., 2006.** Биоклиматический потенциал России: теория и практика, М., Товарищество научных изданий КМК, 512 с.
- Гриньков А. С., Идрисхаджаев Р. А., 1994.** Саранча в наступлении, мы в обороне, Степные просторы, № 5, с. 16–17.
- Гусева О. Г., 2004.** Выживаемость колорадского жука (*Leptinotarsa decemlineata* Say) в летний период в условиях Ленинградской области, Вестник защиты растений, № 3, с. 25–33.
- Дентелинова Т. Б., 2000.** Азиатская саранча в Калмыкии, Защита и карантин растений, № 1, с. 13.
- Журавлев В. Н., 1993.** Всегда ли опасен колорадский жук?, Защита растений, № 5, с. 6–8.
- Захаров Л. З., 1950.** Поведение азиатской саранчи, Ученые записки Саратовского государственного университета, т. XXVI.
- Иванов А. Л., 2004.** Проблемы глобального проявления техногенеза и изменений климата в агропромышленной сфере, Труды Всемирной конференции по изменению климата, Москва, 29 сентября — 3 октября 2003 г., М., Новости, с. 339–346.

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

- Израэль Ю. А., Сиротенко О. Д., 2003. Моделирование влияния изменений климата на продуктивность сельского хозяйства России, Метеорология и гидрология, № 6, с. 5–17.
- Калинина К. В., Николаева З. В., 2004. К вопросу изучения колорадского жука в Псковской области, в сб.: Актуальные проблемы земледелия на современном этапе развития сельского хозяйства. Сборник материалов Международной научно-практической конференции, Пенза, Пензенская государственная сельскохозяйственная академия, с. 173.
- Колорадский картофельный жук *Leptinotarsa decemlineata* Say, 1981. Под ред. Р. С. Ушатинской, М., Наука, 337 с.
- Липчанская Р. А., 2000. Саранча в Волгоградской области, Защита и карантин растений, № 5, с. 11.
- Материалы к стратегическому прогнозу изменений климата Российской Федерации на период до 2010–2015 гг. и их влияния на отрасли экономики России, 2005. М., Росгидромет, 88 с.
- Моисейчик В. А., Богомолова Н. А., Максименкова Т. А., 2002. Оценка агрометеорологических условий осенне-зимнего периода для перезимовки и формирования валового урожая озимых зерновых культур в России, Метеорология и гидрология, № 2, с. 89–102.
- Монастырский О. А., 2005. Глобализация сельскохозяйственного производства и продовольственная безопасность России, в сб. материалов научно-практической конференции “Продовольственная безопасность России”, М., Издат. дом НП, с. 93–102.
- Никитенко В. Г., 1998. Борьба с саранчой — дело государственное, Защита и карантин растений, № 4, с. 15–16.
- Полищук А. И., Маленкова О. В., 2001. Саранча в Оренбургской области, Защита и карантин растений, № 2, с. 11.
- Правдин Ф. Н., 1969. Подотряд короткоусые прямокрылые, в кн.: Жизнь животных, т. 3, М., Просвещение, с. 228–240.
- Сергеев М. Г., Ванькова И. А., 2006. Динамика локальной популяции итальянской саранчи, Сибирский экологический журнал, т. 13, № 4, с. 439–447.
- Сиротенко О. Д., 2004. Оценка влияния глобальных изменений климата на агроклиматические ресурсы и климатообусловленную урожайность основных сельскохозяйственных культур, в кн.: Глобальные проявления изменений климата в агропромышленной сфере, под ред. А. Л. Иванова, М., Россельхозакадемия, с. 24–32.
- Сиротенко О. Д., Грингоф И. Г., 2006. Оценки влияния ожидаемых изменений климата на сельское хозяйство Российской Федерации, Метеорология и гидрология, № 8, с. 92–101.
- Сиротенко О. Д., Груза Г. В., Ранькова Э. Я., Абашина Е. В., Павлова В. Н., 2007. Современные климатические изменения теплообеспеченности, увлажненности и продуктивности агросферы России, Метеорология и гидрология, № 8, с. 90–103.
- Столяров М. В., 1998. Саранча на юге России, Защита и карантин растений, № 3, с. 16–17.
- Столяров М. В., 2000. Проблема массовых размножений стадных саранчовых на юге России на рубеже столетий, в кн.: Актуальные вопросы биологизации защиты растений, под ред. М. С. Соколова, Е. П. Угрюмова, Пушино, с. 94–100.
- Столяров М. В., 2005. Некоторые особенности прогнозирования динамики численности стадных саранчовых. Надолго ли затихает их размножение?, Защита и карантин растений, № 1, с. 38–41.
- Ранькова Э. Я., 2005. Климатическая изменчивость и изменения климата за период инструментальных наблюдений, Диссертация в виде научного доклада на соискание ученой степени доктора физико-математических наук, М., ИГКЭ, 67 с.
- Фасулати С. Р., 2002а. Адаптация колорадского жука *Leptinotarsa decemlineata* Say (*Coleoptera*, *Chrysomelidae*) и устойчивые к нему сорта картофеля в условиях Ленинградской области, XII съезд РЭО, Тезисы доклада, СПб, РАН, с. 357.
- Фасулати С. Р., 2002б. Территориальное расселение и адаптация колорадского жука в северных районах картофелеводства, в сб. материалов Международной научно-практической конференции: Экологические аспекты интенсификации сельскохозяйственного производства, Пенза, т. 2, с. 205–207.
- Фасулати С. Р., 2004. Распространение колорадского жука и экологические вопросы защиты картофеля в северных областях России, III Кирилло-Мефодиевские чтения, Сборник материалов Международной научной конференции, Изд-во Санкт-Петербургского государственного педагогического университета, с. 70–75.
- Цыпленков Е. П., 1970. Вредные саранчовые насекомые в СССР, Л., Колос, 272 с.
- Ясюкевич В. В., Попова Е. Н., Гельвер Е. С., Ривкин Л. Е., 2007. Влияние климатических факторов на формирование ареала колорадского жука (*Leptinotarsa decemlineata* Say), в кн.: Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем, т. 21, СПб, Гидрометеоиздат, с. 348–379.
- Яхимович Л. А., 1967. Особенности развития и размножения колорадского жука, Труды ВИЗР, вып. 27, с. 245–294.
- Chlodny J., 1967. The amount of food consumed and production output of larvae of the Colorado beetle, Ecol. Pol. W. A, vol. 15, pp. 531–541.

2.4. ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ

Ведущий автор: И. А. Шикломанов

Авторы: И. И. Борзенкова, В. Ю. Георгиевский,

П. А. Колосов, Н. А. Сперанская

Редактор-рецензент: Н. И. Коронкевич

2.4.1. Вводные замечания: климатические предпосылки изменений в водном балансе

Анализ фактических данных как за период инструментальных наблюдений, так и за прошлые эпохи свидетельствует о том, что изменения климата существенно влияют на гидрологический цикл. Изменения атмосферных осадков, снежного покрова, а также состояния горных ледников имеют определяющее значение для формирования поверхностного речного стока, для водных ресурсов.

Все модели климата предполагают, что увеличение средней глобальной температуры воздуха в приповерхностном слое атмосферы приводит к увеличению глобальной суммы осадков главным образом в результате увеличения испарения с поверхности океана. Известно, что связь между этими параметрами — температурой и количеством осадков — нелинейна, причем нелинейность начинает проявляться при повышении средней глобальной температуры на 1°C и более по отношению к доиндустриальному уровню (Будыко, Дроздов, 1976; Антропогенные изменения климата, 1987; Борзенкова, 1992; Борзенкова, Лемешко, 2006). Это может иметь существенное значение в случае дальнейшего развития глобального потепления, о чем свидетельствуют практически все модельные расчеты (Climate Change 2001, 2001a, 2001b; Allen and Ingram, 2002; Milly et al., 2002; Palmer and Ratsanen, 2002).

Судя по некоторым оценкам (Schlesinger, 1984; Climate Change 2001, 2001a, 2001b), повышение средней глобальной температуры на 1°C приводит к увеличению глобальной суммы осадков на 1,6–2,6%, или на 20–30 мм/год в абсолютных единицах. При дальнейшем повышении глобальной температуры, как показали оценки, сделанные в работах (Milly et al., 2002; Palmer and Ratsanen, 2002), риск экстремально большого количества осадков в отдельных регионах может существенно возрасти. Некоторые изменения в характере выпадения осадков в последние годы, в частности повышение доли ливневых осадков и увеличение экстремальных осадков в Центральной Европе и в азиатской части России, возможно, являются определенным симптомом изменений в характере увлажнения этих регионов (Groisman et al., 2005).

Анализ данных об изменении температуры воздуха за последние 25–30 лет XX века свидетельствует о том, что этот период был не только самым теплым, но и самым влажным за все время инструментальных наблюдений (Борзенкова, 1999). Высокий уровень увлажнения в Северном полушарии обеспечивался в основном за счет районов, расположенных севернее 50° с. ш. Наряду с общим увеличением годовых сумм осадков существенные изменения отмечаются как в сезонном распределении, так и в изменении типа осадков. За последние 25–30 лет XX века в высоких широтах значительно увеличилась доля жидких осадков в холодное время года. Увеличение количества зимних осадков, выпадающих на верхнюю кромку снега в виде дождя, ускоряет таяние снежного покрова и увеличивает риск наводнений. Такие процессы за последние 50 лет наиболее интенсивно развиваются в северных и северо-западных областях России.

Заметные изменения происходят также с “замерзшими водными ресурсами” — со снеговым покровом и горными ледниками.

Анализ спутниковой информации (т. е. данных за последние десятилетия) выявил общую тенденцию к сокращению площади снежного покрова в Северном полушарии примерно со скоростью 0,2% в год (Захаров, 2003; Armstrong and Brodzik, 2004). Данные работ (Китаев и др., 2004; Айзен, Лактионова, 1995; Кренке и др., 2001; Попова, 2004) показали, что и площадь снежного покрова в Северном полушарии, и величина снеготазпасов хорошо коррелируют с температурой воздуха зимой.

Данные о площади горного оледенения свидетельствуют о том, что практически во всех широтных зонах Северного полушария происходит деградация горного оледенения (Dyurgerov, 2001; Михаленко и др., 2004; Holmes, 2004; Podlech et al., 2004). Этот процесс имеет определяющее значение для формирования стока рек, имеющих ледниковое и смешанное снежно-ледниковое питание. Так, например, результаты современных полевых исследований и космические снимки показали, что ледники Урала находятся на активной стадии деградации, причем площадь некоторых из них с 1977 по 2001 г. сократилась на 40% (Глазовский и др., 2005). Данные бурения и измерений температуры в скважинах свидетельствуют о сокращении оледенения Тянь-Шаня (Михаленко и др., 2005). Отстают ледники Кавказа (Золотарев и др., 2005), ледники горной части Юго-Восточного Казахстана (Вилесов, Морозова, 2005; Вилесов, Уваров, 2002), ледники Алтая (Нарож-

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

ный и др., 2005). Подробнее о состоянии ледниковых систем см. разделы 2.7 и 3.7.

2.4.2. Изменения стока рек и запасов пресной воды

Оценка влияния современного глобального потепления на водные ресурсы России получена по результатам комплексного анализа годового, сезонного и месячного стока 300 средних (по размеру водосбора) рек с естественным (не нарушенным влиянием хозяйственной деятельности) водным режимом за период не менее 55 лет (Георгиевский, 1996, 2001, 2002, 2005; Шикломанов, Георгиевский, 1995, 2002, 2003, 2004); результаты представлены на рис. 2.4.1–2.4.4 в виде картосхем.

Основными особенностями изменения сезонного стока рек в последние десятилетия были увеличение их водности в зимний период практически на всей территории России, более раннее вскрытие и более позднее образование ледяного покрова (Солдатова, 1996). Наиболее отчетливо увеличение зимнего стока проявилось на ЕТР, от верховьев Северной Двины до низовьев Дона и Волги (рис. 2.4.1).

Как видно на рис. 2.4.1, на ЕТР водность рек в зимний сезон в 1978–2000 гг. увеличилась на 50–100% по сравнению с периодом 1946–1978 гг. (Георгиевский, 1996, 2002, 2005; Георгиевский и др., 1996а, 1996б, 1997). В целом для этой территории отмечаются статистически значимые положительные тренды зимнего стока.

На Азиатской территории России (АТР) статистически значимые положительные тренды зимнего стока отмечаются в бассейне Лены (реки Витим, Олекма, Алдан, Амга) и на левобережных притоках Иртыша и Тобола. В бассейне Лены зимний сток за последние 20–25 лет увеличился на 10–30%, на реках Иртыш и Тобол — на 40–70%.

Летне-осенний сток за период с 1978 по 2000 г. (рис. 2.4.2) увеличился также на большей части территории России, причем наиболее отчетливо этот процесс проявился на реках лесостепной и степной зон ЕТР. Можно полагать, что увеличение стока в этих районах могло быть связано с общей тенденцией увеличения летних конвективных (ливневых) осадков во внутриконтинентальных районах, отмеченной ранее в работах (Борзенкова, 1999; Гройсман, 1990). Существенное увеличение летне-осеннего стока наблюдается и для рек, расположенных в лесной зоне ЕТР южнее 60° с. ш., где для большей части рек со средним размером водосбора оно составило 30–50%. Севернее этой зоны для большинства бассейнов также отмечается увеличение стока, но не более чем на 20–25%.

В отличие от зимнего и осенне-летнего стока отмечается некоторое уменьшение весеннего стока рек в ряде регионов России (рис. 2.4.3). Уменьшение весеннего стока за период 1978–2000 гг. в верховьях Волги, в бассейнах рек Ока и Сура составило 10–20%, практически на всех реках бассейна Дона и российской части Днепра — на 10–30%. Напротив, в ряде регионов имело место не-

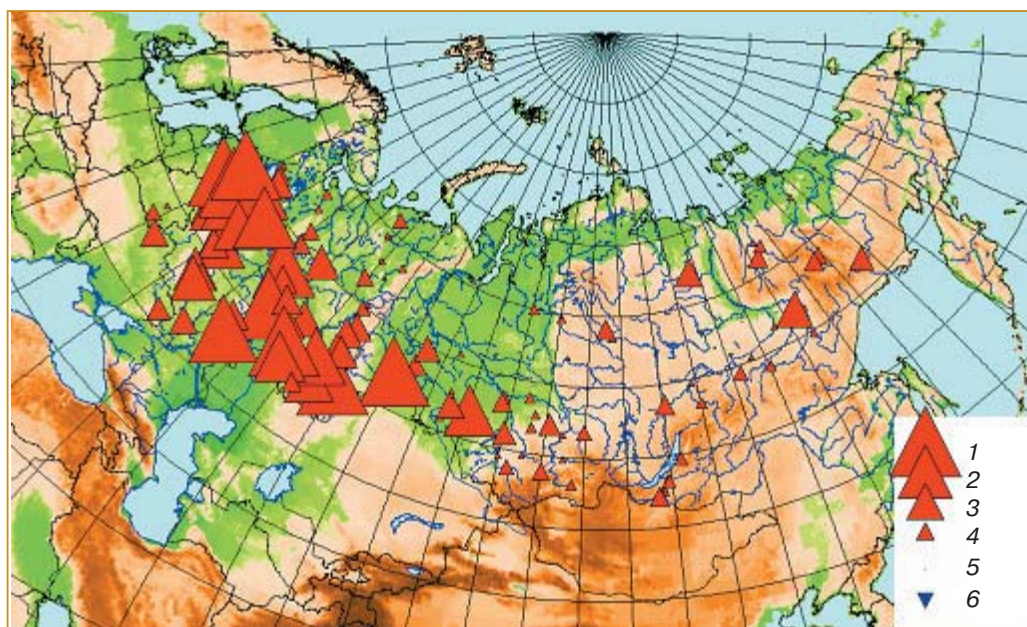


Рис. 2.4.1. Картосхема аномалий зимнего стока рек (% нормы 1946–1978 гг.) за период 1978–2000 гг. 1) 100%; 2) 75%; 3) 50%; 4) 25%; 5) 0%; 6) –25%.

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.



Рис. 2.4.2. Картограмма аномалий летне-осеннего стока рек (% нормы 1946–1978 гг.) за период 1978–2000 гг. 1) 80%; 2) 60%; 3) 40%; 4) 20%; 5) 0%; 6) –20%; 7) –40%.

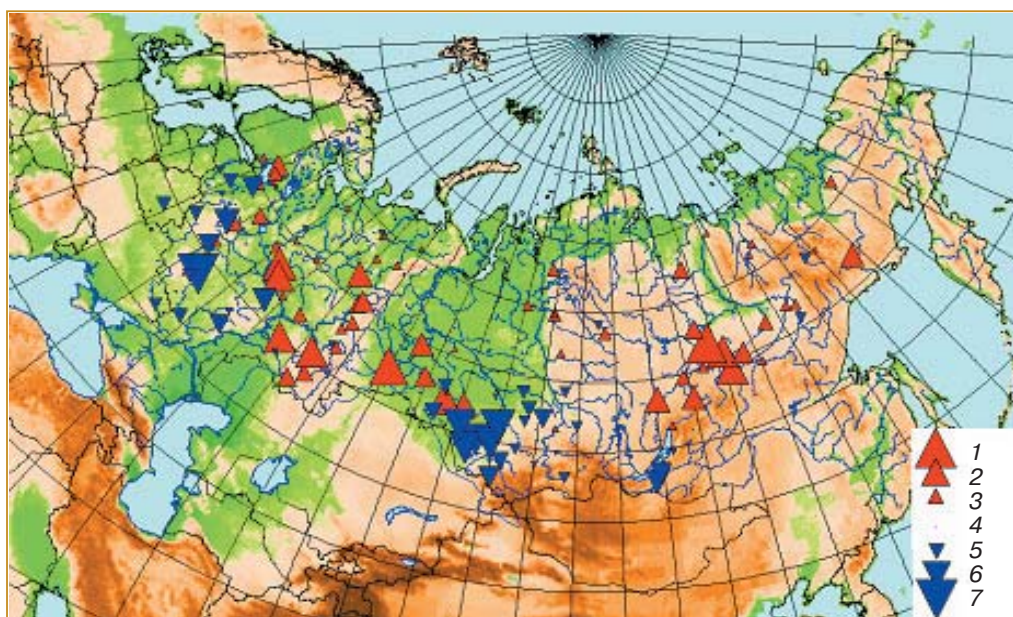


Рис. 2.4.3. Картограмма аномалий весеннего стока рек (% нормы 1946–1978 гг.) за период 1978–2000 гг. 1) 30%; 2) 20%; 3) 10%; 4) 0%; 5) –10%; 6) –20%; 7) –30%.

которое увеличение весеннего стока, как, например, в северной части бассейна Волги, на реках Унжа и Ветлуга — на 15–25%, в бассейне Камы — на 5–15%. В то же время заметных изменений стока не обнаружено в южной части ЕТР — в бассейнах рек Кубань, Кума и Терек.

Для АТР увеличение водности в летне-осеннее время наблюдается на тех же реках, где отмеча-

ется увеличение зимнего стока: на левобережных притоках Тобола и Иртыша и в бассейне Лены. За период с 1978 по 2000 г. летне-осенний сток этих бассейнов увеличился на 10–20%. Такая же тенденция отмечается и в бассейнах некоторых рек северо-востока Сибири (реки Оленек, Яна, Индигирка), где увеличение водности в летне-осенний период составило 15–30%.

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

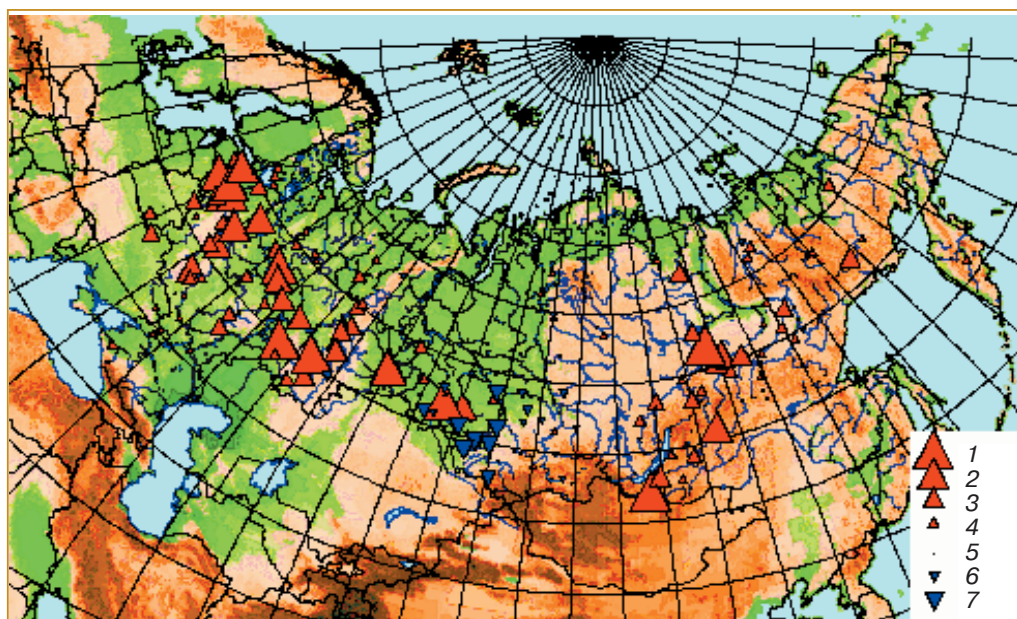


Рис. 2.4.4. Картограмма аномалий годового стока рек (% нормы 1946–1978 гг.) за период 1978–2000 гг. 1) 40%; 2) 30%; 3) 20%; 4) 10%; 5) 0%; 6) –10%; 7) –20%.

Увеличение меженного стока в 1980–1990-е годы обеспечило увеличение водных ресурсов даже в бассейнах рек юго-запада ЕТР, где имело место некоторое уменьшение весеннего половодья. Анализ фактических данных за последние 100 лет позволяет сделать вывод о том, что такая ситуация ранее не наблюдалась, так как и многоводные, и маловодные фазы в бассейнах рек этого региона определялись величиной стока во время весеннего половодья. Этот факт свидетельствует о существенном изменении в последние годы условий формирования стока в результате увеличения подземной и уменьшения поверхностной составляющей, а также о значительном снижении неравномерности внутригодового распределения стока (Георгиевский, 2002, 2005).

В целом за год, как видно на рис. 2.4.4, в последние 20–25 лет повышенная фаза водности отмечается на большей части ЕТР. Самое значительное увеличение годового стока (на 15–40%) имело место в бассейнах рек, расположенных между 56 и 60° с. ш. К ним относятся реки западной части ЕТР, левобережные притоки Волги в ее верхнем и среднем течении, значительная часть бассейна Камы. Особый интерес представляют данные о существенном увеличении стока притоков Волги, расположенных в лесостепной зоне. Увеличение годового стока на 10–15% наблюдается также в верхней части бассейна Северной Двины, в верховьях Днепра и на левобережных притоках Дона.

На остальной части ЕТР изменения годового стока сравнительно невелики (Георгиевский, 2005).

На АТР в 1978–2000 гг. наиболее значительным (на 20–40%) увеличением стока было на реках, сток которых формируется на восточном склоне Уральских гор, в широтном поясе 56–60° с. ш. (левые притоки Тобола и Иртыша). В последнее десятилетие XX века повышение водности наблюдалось на большей части бассейна Лены; годовой сток р. Вилюй в 1990–2000 гг. превысил норму на 25–30% (Шикломанов и др., 2005). Относительно небольшое увеличение годового стока отмечалось в бассейнах рек северо-востока России (реки Анабар, Оленек, Яна, Индигирка).

Существенное уменьшение годового стока на АТР произошло только в одном регионе — в бассейне Верхней Оби, где оно составило от 5 до 20%. Незначительное уменьшение годового стока (в пределах 5%) отмечается в бассейне Верхнего Енисея (Георгиевский, 2005; Шикломанов, 1994; Шикломанов, Георгиевский, 1995, 2002, 2003).

Основной причиной увеличения годового стока рек на территории России является непосредственно увеличение зимних осадков, особенно в северной части умеренных широт и на Арктическом побережье. Увеличение водности в осенне-летний период в лесостепной и степной зонах может быть связано с увеличением повторяемости конвективных осадков и увеличением в них доли ливневых дождей.

Другой причиной увеличения водности, особенно в зимний период, на большей части территории России является повышение температуры зимой и увеличение повторяемости зимних оттепелей, что влечет за собой уменьшение глубины промерзания почвы. В результате этих процессов значительно увеличивается влажность деятельного слоя почвы, усиливается питание подземных вод и происходит повышение их уровня, которое уже к началу 1990-х годов достигло 50–130 см (Georgievsky et al., 1995, 1998).

Если анализировать крупные реки России отдельно, то на них также отмечается увеличение годового стока, в частности наблюдается заметный положительный тренд в стоке крупных рек, впадающих в Северный Ледовитый океан. Следствием этих процессов может быть распреснение верхнего слоя океанической воды и, возможно, некоторое повышение температуры поверхностных вод. Так, увеличение годового стока Енисея на 8% привело к тому, что за последние 20–25 лет в Северный Ледовитый океан поступает на 44 км³/год больше пресной воды по сравнению с ее поступлением в середине XX века. В значительной степени с распреснением верхнего слоя Северного Ледовитого океана связан и процесс уменьшения солености поверхностных вод в Северной Атлантике, наиболее сильно выраженный за последние 40 лет (Шикломанов, Шикломанов, 2003; Dickenson et al., 2002; Peterson et al., 2002).

По данным работ (Шикломанов, Шикломанов, 2003; Peterson et al., 2002), суммарный годовой сток шести крупнейших рек Евразии, впадающих в Северный Ледовитый океан (Енисей, Обь, Лена, Колыма, Северная Двина, Печора), с 1936 по 2002 г. имеет достаточно четко выраженную тенденцию к увеличению, что соответствует повышению глобальной температуры воздуха и изменению циркуляционного режима в северной части Атлантического океана (индекс североатлантического колебания, НАО). По оценкам работы (Шикломанов, Шикломанов, 2003), за последние 12 лет Северный Ледовитый океан получил дополнительно 2500 км³ воды, в том числе 1500 км³ с территории России.

Из крупных рек России, в бассейне которых отмечается уменьшение водности, можно выделить Амур (бассейн Тихого океана); средний годовой сток в бассейне Амура с 1991 по 2000 г. уменьшился на 3%.

Несмотря на то, что в большинстве бассейнов крупных рек России наблюдаются положительные тренды годового стока, рассматривать этот процесс как монотонный и экстраполировать его на будущее не представляется возможным. Увеличение стока рек России можно интерпретировать как следствие повышения глобальной температу-

ры и некоторого увеличения количества осадков, особенно в высоких широтах, что хорошо согласуется с изменением циркуляционного индекса североатлантического колебания.

Положительный тренд средних годовых температур воздуха и особенно рост зимних температур на этом фоне оказали значительное влияние не только на водность рек России, но и на изменение запасов пресной воды, на судоходность и ледовый режим крупных озер и внутренних водоемов России (см. также раздел 3.4). Уровень Каспийского моря как индикатора увлажненности обширной территории, резкое повышение которого в 1978–1995 гг. не имеет аналогов за весь период инструментальных наблюдений (с 1837 г.), является объектом пристального изучения многих исследователей (Арпе и др., 2002; Борзенкова, Лемешко, 2005; Георгиевский, 2005; Мещерская и др., 2002; Шикломанов и др., 2003). Более подробная информация о колебаниях уровня этого водоема приведена в разделах 2.9 и 3.9.

Огромные запасы пресной воды сосредоточены в таких крупных озерах России, как, например, Ладога, Онега и Ильмень, которые служат не только источником питьевой воды для огромной территории, включающей город Санкт-Петербург и его окрестности, но также имеют большое народно-хозяйственное значение для судоходства и рыбного хозяйства России. Изменения климата оказывают существенное влияние на уровень этих и других крупных водоемов России и соседних стран — Байкала, Каспия, Арала (Бабкин, 1998; Гронская, Лемешко, 2004; Вуглинский и др., 2002; Кондратьев, Бобыкин, 2003).

2.4.3. Испарение

Исследования, проведенные в ГГИ и ИГКЭ (Голубев и др., 2002, 2003; Колосов, Минин, 1992) с использованием различных методических подходов, показали практически повсеместное уменьшение испарения на ЕТР и АТР одновременно с его увеличением на территории Казахстана и Средней Азии за период с 1949 по 1990 г.

Географическое распределение знаков трендов испаряемости в 1950–1990 гг. (см. рис. 2.4.5) сходно с ранее полученными оценками знаков нормированных аномалий испаряемости в ИГКЭ (Колосов, Минин, 1992) и с результатами, полученными исследователями ГГИ (Голубев и др., 2002, 2003) для Европейской территории России. Здесь приводится обобщающая оба исследования картосхема, наглядно иллюстрирующая основной климатический вывод об уменьшении испаряемости за период наблюдений на ЕТР и севере АТР.

Отрицательные тренды испаряемости характерны для всей Европейской территории России,

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

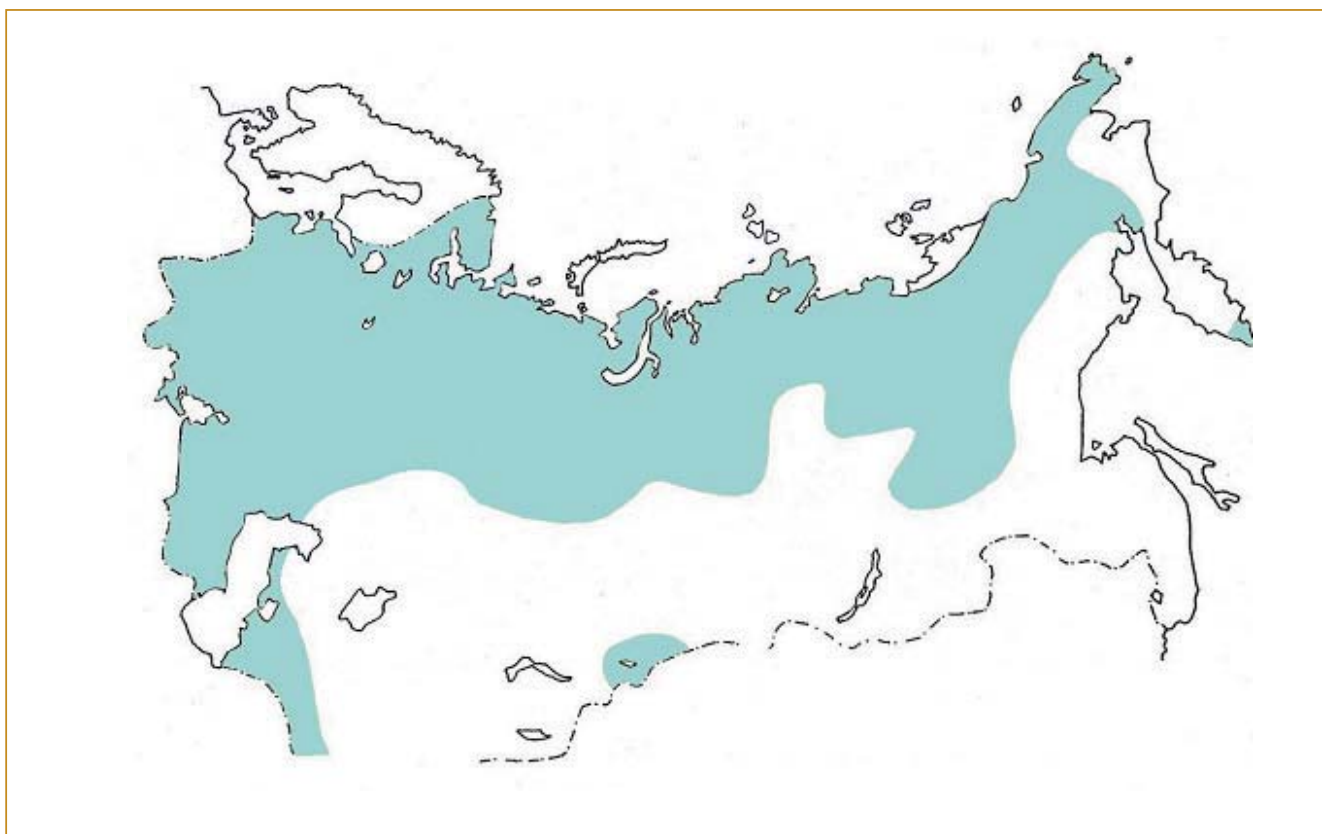


Рис. 2.4.5. Тренды испаряемости в 1950–1990 гг. на территории стран СНГ и Балтии. Голубым цветом выделена область отрицательных трендов, на остальной территории тренды положительные или отсутствуют.

Балтии и Кавказа, а также для всего севера (от 60° с. ш.) Западной и Восточной Сибири. В Средней Азии, на юге Сибири, в Приморье и на Камчатке тренды испаряемости положительные.

Следует отметить, что по мере продвижения к югу на ЕТР интенсивность направленных изменений испаряемости растет и в зоне сухих степей составляет в среднем 50–60 мм за 40 лет. При этом величина трендов в лесной зоне невелика, а в зоне лесостепей интенсивность изменения испаряемости достаточно резко увеличивается.

Анализ многолетних значений испарения с поверхности воды за теплый период (апрель – сентябрь) в разных природных областях показал, что величины испаряемости подчиняются определенной зональности, закономерно увеличиваясь с севера ЕТР к югу от 450–550 до 900–1000 мм и более (на отдельных станциях) в зоне сухих степей. При этом на ЕТР выделяются 12 районов с однотипными межгодовыми колебаниями испаряемости (рис. 2.4.6). Так, в зоне тайги и смешанных лесов наибольшая испаряемость отмечается на северо-западе ЕТР (районы II, III). На границе зоны лиственных лесов и лесостепей происходит резкое увели-

чение испаряемости, величина которой практически зонально растет к зоне сухих степей Заволжья, слегка уменьшаясь на юго-западе ЕТР (районы VI, VIII).

В этом же направлении возрастает и изменчивость испаряемости (коэффициент вариации C_v от 0,04 до 0,13). Однако в каждом районе она имеет свои особенности. В зоне лесов максимальная амплитуда (до 34 мм) отмечается в I районе. В лесостепной зоне (район V) амплитуда колебаний испаряемости резко увеличивается (до 53 мм) и продолжает расти по направлению к сухим степям Заволжья.

Такая же картина наблюдается и для аномалий испаряемости. В лесной зоне максимальные аномалии отмечаются на северо-востоке ЕТР (бассейн Северной Двины). На границе зоны лесов и лесостепей аномалии увеличиваются практически вдвое. Южнее изменчивость испаряемости в западной и восточной частях степной зоны различается довольно значительно. Аномалии испаряемости в районах VI, VIII, IX примерно в 1,5 раза меньше, чем в районах VII, X–XII.

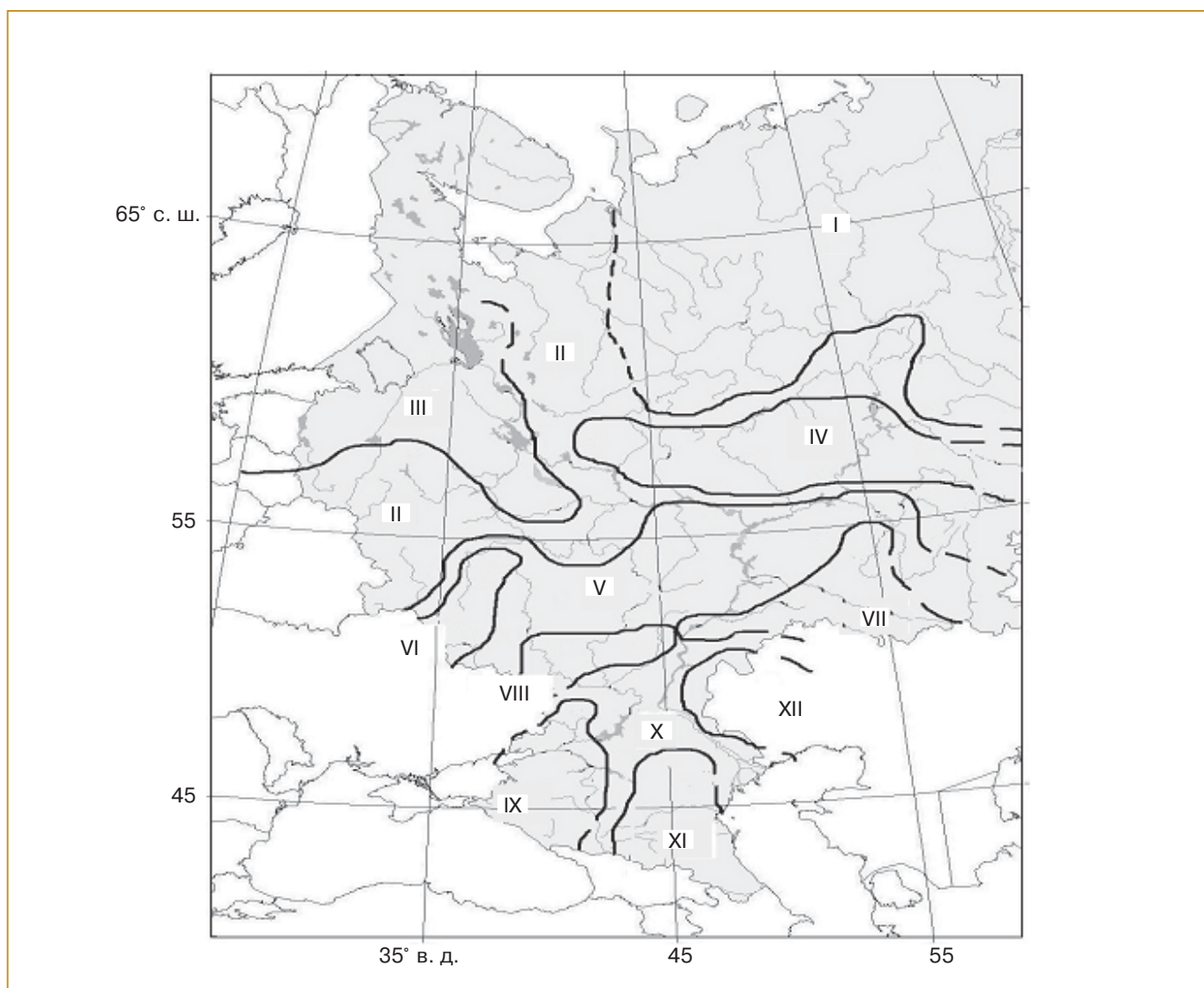


Рис. 2.4.6. Схема расположения районов с однотипными изменениями испаряемости на ЕТР (Голубев и др., 2002, 2003; Сперанская, Цыценко, 2007).

Однако для всех районов отмечается одна общая особенность изменчивости — с середины 1980-х годов амплитуда колебаний испаряемости уменьшается по сравнению с предыдущим периодом. По-видимому, это явление может быть объяснено уменьшением скорости ветра и ростом влажности воздуха, отмечаемыми практически на всей ЕТР.

Следует, однако, отметить, что изменения испарения с открытой водной поверхности за последние 15 лет могут несколько изменить величины полученных оценок, но выявленные тенденции вряд ли изменятся на противоположные.

2.4.4. Литература

Айзен В. П., Лактионова Е. М., 1995. Снежный покров, ледники и озера Центральной Азии

как индикаторы климатических изменений, *Материалы гляциологических исследований*, вып. 79, с. 76–83.

Антропогенные изменения климата, 1987. Под ред. М. И. Будыко, Ю. А. Израэля, Л., Гидрометеоиздат, 406 с.

Арпе К., Спорышев П. В., Семенов В. А., Бенгтссон Л., Голицын Г. С., Елисеев А. В., Мелешко В. П., Мещерская А. В., Мохов И. И., 2002. Исследование причин колебаний уровня Каспийского моря с помощью моделей общей циркуляции атмосферы, в сб.: *Изменения климата и их последствия*, СПб, Наука, с. 165–179.

Бабкин А. В., 1998. Исследования изменений состояния Аральского моря при колебаниях притока вод, *Метеорология и гидрология*, № 6, с. 103–110.

Борзенкова И. И., 1992. Изменение климата в кайнозойе, СПб, Гидрометеоиздат, 247 с.

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

- Борзенкова И. И., 1999.** О природных индикаторах современного глобального потепления, Метеорология и гидрология, № 5, с. 99–110.
- Борзенкова И. И., Лемешко Н. А., 2005.** Водный баланс бассейна Волги в начале XXI века (на основе палеоклиматических сценариев), Метеорология и гидрология, № 7, с. 52–60.
- Борзенкова И. И., Лемешко Н. А., 2006.** Особенности увлажнения крупных регионов Северного полушария при глобальных потеплениях и похолоданиях в прошлом и в современную эпоху на примере Арал-Каспийского региона, Расширенные тезисы Международной конференции “Экстремальные гидрологические события в Арало-Каспийском регионе”, М., Национальный геофизический комитет, с. 2–7.
- Будыко М. И., Дроздов О. А., 1976.** О причинах изменений влагооборота, Водные ресурсы, № 6, с. 35–44.
- Вилесов Е. Н., Морозова В. Н., 2005.** Деградация оледенения гор южной Джунгарии во второй половине XX века, Материалы гляциологических исследований, вып. 98, с. 201–206.
- Вилесов Е. Н., Уваров В. Н., 2002.** Эволюция современного оледенения Заилийского Алатау в XX веке, Алматы, 233 с.
- Вуглинский В. С., Гронская Т. П., Литова Т. Э., 2002.** Многолетние характеристики притока воды, ледовых явлений и толщины льда крупнейших озер и водохранилищ России, СПб, Гидрометеиздат, 48 с.
- Георгиевский В. Ю., 1996.** Оценка влияния возможных изменений климата на гидрологический режим и водные ресурсы рек на территории бывшего СССР, Метеорология и гидрология, № 11, с. 89–99.
- Георгиевский В. Ю., 2001.** О влиянии глобального потепления на сток крупных рек России, в сб.: Научно-промышленный форум “Великие реки 2001”, Генеральные доклады, Нижний Новгород, ИНГАСУ, с. 90–91.
- Георгиевский В. Ю., 2002.** Влияние антропогенных изменений климата на гидрологический режим и водные ресурсы, в сб.: Изменения климата и их последствия, СПб, Наука, с. 152–164.
- Георгиевский В. Ю., 2005.** Изменение стока рек России и водного баланса Каспийского моря под влиянием хозяйственной деятельности и глобального потепления. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора географических наук, СПб, ГГИ, 39 с.
- Георгиевский В. Ю., Ежов А. В., Шальгин А. Л., 1997.** Оценка изменений стока рек под влиянием хозяйственной деятельности и глобального потепления климата, в сб.: Доклады международного симпозиума “Расчеты речного стока”, ЮНЕСКО, с. 75–81.
- Георгиевский В. Ю., Ежов А. В., Шальгин А. Л., Шикломанов И. А., Шикломанов А. И., 1996а.** Оценка влияния возможных изменений климата на гидрологический режим и водные ресурсы рек территории бывшего СССР, Метеорология и гидрология, № 11, с. 89–99.
- Георгиевский В. Ю., Ежов А. В., Шикломанов И. А., Шерешевский А. И., 1996б.** Возможные изменения ресурсов и водного режима в бассейне Днепра при различных сценариях потепления климата, в сб.: Материалы научно-технической конференции “Водные ресурсы и устойчивое развитие экономики Беларуси”, Минск, т. 1, с. 21–23.
- Глазовский А. Ф., Носенко Г. А., Цветков Д. Г., 2005.** Ледники Урала: современное состояние и перспектива эволюции, Материалы гляциологических исследований, вып. 98, с. 207–213.
- Голубев В. С., Сперанская Н. А., Цыценко К. В., 2002.** К оценке суммарного испарения в бассейне Волги по данным режимных наблюдений на сети водно- и почвенно-испарительных станций, Метеорология и гидрология, № 4, с. 74–84.
- Голубев В. С., Сперанская Н. А., Цыценко К. В., 2003.** Суммарное испарение в бассейне Волги и его изменчивость, Метеорология и гидрология, № 7, с. 89–98.
- Гройсман П. Я., 1990.** Современные изменения атмосферных процессов Северного полушария, Известия АН СССР, сер. геогр., № 3, с. 20–30.
- Гронская Т. П., Лемешко Н. А., 2004.** Гидрологический режим крупнейших озер России при современных изменениях климата, Тезисы докладов VI Всесоюзного гидрологического съезда, секция 3, с. 238–239.
- Захаров В. Ф., 2003.** Изменение в распространении морских арктических льдов в XX веке, Метеорология и гидрология, № 5, с. 75–86.
- Золотарев Е. А., Алейников А. А., Харьковец Е. Г., 2005.** Сокращение оледенения Эльбруса в XX столетии, Материалы гляциологических исследований, вып. 98, с. 162–166.
- Китаев Л. М., Кренке А. Н., Титкова Т. Б., 2004.** Климатические условия пределов нарастания снежности на севере Евразии, Материалы гляциологических исследований, вып. 97, с. 117–122.
- Колосов П. А., Минин А. А., 1992.** Тенденции изменений параметров климата и продуктивности растительности на территории СССР за последние 40 лет, в кн.: Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем, Л., Гидрометеиздат, т. 14, с. 31–40.
- Кондратьев С. А., Бобыкин И. В., 2003.** Влияние возможных климатических изменений на гидрологический режим системы водосбор – озеро, Метеорология и гидрология, № 10, с. 86–96.
- Кренке А. М., Китаев Л. М., Турков Д. В., 2001.** Климатическая роль изменений снежного покрова в период потепления, Известия РАН, сер. геогр., с. 44–51.

- Мешерская А. В., Голод М. П., Белянкина И. Г., 2002.** Колебания уровня Каспийского моря в связи с особенностями общей циркуляции атмосферы в XX веке, в сб.: Изменения климата и их последствия, СПб, Наука, с. 180–204.
- Михаленко В. Н., Архипов С. М., Кутузов С. С., 2004.** Деградация горного оледенения в тропических и умеренных широтах в период глобального потепления, Известия РАН, сер. геогр., № 4, с. 39–41.
- Михаленко В. Н., Кутузов С. С., Файзрахманов Ф. Ф. и др., 2005.** Сокращение оледенения Тянь-Шаня в XIX — начале XXI века: результаты ядерного бурения и изменения температуры в скважинах, Материалы гляциологических исследований, вып. 98, с. 173–182.
- Нарожный Ю. К., Паромов В. В., Шантыкова Д. Н., 2005.** Возможные изменения режима ледников и климата высокогорья Алтая до 2010 года, Материалы гляциологических исследований, вып. 98, с. 220–224.
- Попова В. В., 2004.** Многолетняя изменчивость толщины снежного покрова и колебания речного стока в Северной Евразии, Материалы гляциологических исследований, вып. 97, с. 109–116.
- Солдатов И. И., 1996.** О сроках ледовых явлений на реках в условиях современного климата, Метеорология и гидрология, № 4, с. 87–94.
- Сперанская Н. А., Цыченко К. В., 2008.** Суммарное испарение в бассейне Дона и его изменчивость, Метеорология и гидрология, № 5.
- Шикломанов А. И., 1994.** Влияние антропогенных изменений глобального климата на сток р. Енисей, Метеорология и гидрология, № 2, с. 84–93.
- Шикломанов И. А., Георгиевский В. Ю., 1995.** Влияние антропогенных факторов на сток рек бывшего СССР, в кн.: Географические направления в гидрологии, М., РАН, с. 96–107.
- Шикломанов И. А., Георгиевский В. Ю., 2002.** Влияние антропогенных изменений климата на гидрологический режим и водные ресурсы, в кн.: Изменения климата и их последствия, СПб, Наука, с. 152–164.
- Шикломанов И. А., Георгиевский В. Ю., 2003.** Влияние климатических изменений на водные ресурсы и водный режим рек России, Тезисы докладов Всемирной конференции по изменению климата, Москва, 29 сентября — 3 октября 2003 г., М., ИГКЭ, с. 250.
- Шикломанов И. А., Георгиевский В. Ю., 2004.** Изменение стока рек России при глобальном потеплении климата, Тезисы докладов VI Всероссийского гидрологического съезда, Санкт-Петербург, 28 сентября — 1 октября 2004 г., СПб, Гидрометеиздат, секция 3, с. 200–201.
- Шикломанов И. А., Георгиевский В. Ю., Шалыгин А. Л., 2003.** Причины повышения уровня Каспийского моря, в кн.: Гидрометеорологические аспекты проблемы Каспийского моря и его бассейна, под ред. И. А. Шикломанова, А. С. Васильева, СПб, Гидрометеиздат, с. 254–266.
- Шикломанов И. А., Шикломанов А. И., 2003.** Изменение климата и динамика притока речных вод в Северный Ледовитый океан, Водные ресурсы, т. 30, № 6, с. 645–654.
- Шикломанов И. А., Георгиевский В. Ю., Шалыгин А. Л., 2005.** Влияние климатических условий на сток рек бассейна Лены, в сб.: Современные проблемы экологической метеорологии и климатологии, М., Наука, с. 218–231.
- Allen M. R. and Ingram W. J., 2002.** Constraints on future changes in climate and the hydrological cycle, *Nature*, vol. 415, pp. 224–232.
- Armstrong R. L. and Brodzik M. J., 2004.** Northern Hemisphere snow extent trends derived from optical and microwave satellite data, *Data of Glaciological Studies*, Publ. 97, pp. 101–108.
- Climate Change 2001, 2001a.** The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change, Houghton J. T., Ding Y., Griggs D. J., Noguer M., van der Linden P. J., Dai X., Maskell K., and Johnson S. A. (eds.), Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, Cambridge University Press, 881 p.
- Climate Change 2001, 2001b.** Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change, McCarthy J. J., Canziani O. F., Leary N. A., et al. (eds.), Cambridge University Press, 1032 p.
- Dickenson B. et al., 2002.** Rapid freshening of the deep North Atlantic Ocean over the past four decades, *Nature*, vol. 416, pp. 832–837.
- Dyurgerov M. B., 2001.** Mountain glaciers at the end of the twentieth century: Global analysis in relation to climate and water cycle, *Polar Geography*, vol. 25, pp. 241–336.
- Georgievsky V. Yu., Zhuravin S. A., and Ezhov A. V., 1995.** Assessment of trends in hydrometeorological situation on the Great Russian Plain under the effect of climate variations, *Proc. of American Geophysical Union, 15th Annual Hydrology Days*, pp. 47–58.
- Georgievsky V. Yu., Ezhov A. V., and Shalygin A. L., 1998.** Studying the effects of climate variability on hydrological cycle elements by the water-balance station data, *Proc. of the Second Int. Conf. Climate and Water*, vol. 3, Espoo, Finland, 17–20 August 1998, pp. 1623–1631.
- Groisman P. Ya., Knight R. W., Easterling D. R., Karl T. R., Hegeri G. C., and Razuvaev V. N., 2005.** Trends intense precipitation in the climatic records, *J. Climate*, vol. 18, No. 9, pp. 1325–1350.
- Holmes B., 2004.** Meeting ice, global warming, *New Scientist*, vol. 184, No. 2467, pp. 8–9.

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

- Milly P. C. B., Wetherald R. T., Dunne K. A., and Delworth T. L., 2002. Increasing risk of great floods in a changing climate, *Nature*, vol. 415, pp. 514–517.
- Palmer T. N. and Ratsanen J., 2002. Quantifying the risk of extreme seasonal precipitation events in a changing climate, *Nature*, vol. 415, pp. 512–514.
- Peterson B. J., Holmes R. M., McClelland J. W., Vorosmarty C. J., Lammers R. B., Shiklomanov A. I., Shiklomanov I. A., and Rahmstorf S., 2002. Increasing river discharge to the Arctic Ocean, *Science*, vol. 298, pp. 2171–2173.
- Podlech S., Mauer C., and Boggild C. E., 2004. Glacier retreat, mass balance and thinning: Sermilik glacier, South Greenland, *Geogr. Ann., A*, vol. 86, No. 4, pp. 305–317.
- Schlesinger M. E., 1984. Climate model simulations of CO₂-induced climatic change, *Adv. Geophys.*, vol. 26, pp. 141–235.

2.5. ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ

Ведущие авторы: Б. А. Ревич, В. В. Ясюкевич
Автор: Е. С. Гельвер
Редактор-рецензент: С. Ю. Чайка

2.5.1. Общая характеристика

В последние годы изменение климата рассматривается как один из негативных глобальных факторов, оказывающих влияние на здоровье населения (Хайнес и др., 2004; Working Group II Contribution..., 2007), наряду с такими ведущими факторами риска индустриальной эпохи, как загрязнение атмосферного воздуха и питьевой воды, курение, употребление наркотических веществ.

Влияние изменения климата на здоровье человека разнообразно. Прямое воздействие связано в основном с усилением экстремальности климата — увеличением числа дней с экстремально высокими или (и) низкими температурами, частоты и интенсивности наводнений, штормов, тайфунов и т. д. Косвенное воздействие связано в основном с уменьшением объемов доступной доброкачественной питьевой воды, увеличением частоты повышенных уровней загрязнения воздуха при неблагоприятных метеорологических условиях и изменением ареалов климатозависимых болезней человека.

Задачу оценки климатогенных изменений здоровья населения осложняет их полифакторность, включая действие мощных неклиматических факторов — изменение состояния загрязнения окружающей среды и доступности ресурсов, происходящие по иным, не климатическим причинам. Это может искажать “климатический сигнал”. Их совместное с климатическими факторами действие может быть неаддитивно — возможны эффекты ослабления или же усиления (синергидный эффект).

На рис. 2.5.1 (Patz et al., 2000; Хайнес и др., 2004) схематически представлены возможные пути — прямые и косвенные — воздействия изменения климата на здоровье населения, происходящего на фоне действия других факторов неклиматической природы. Из всего многообразия приведенных на этом рисунке факторов в данном

разделе будут обсуждаться лишь влияние экстремальных температурных условий на здоровье населения и влияние климатических условий на распространение инфекционных заболеваний человека. Последняя проблема является сложной для исследования, но весьма серьезной.

Потепление климата приводит к изменению условий распространения инфекционных болезней человека, в том числе и трансмиссивных. При этом меняются условия существования популяций переносчиков трансмиссивных болезней и условия развития возбудителей в переносчике, что влечет за собой изменение возможностей передачи многих болезней человека и животных. Увеличение температуры ускоряет развитие возбудителя в организме переносчика, а сам процесс передачи делает более эффективным, расширяет его нозоареал, облегчает передачу заболевания (Kramer et al., 1983; Watts et al., 1987; Geographical Distribution..., 1989; Reisen et al., 1993, 1995; Martens et al., 1999; Lieshout et al., 2004; Хайнес и др., 2004).

2.5.2. Экстремально высокие и низкие температуры

Устойчивая, продолжительная жаркая погода вызывает увеличение смертности и заболеваемости сердечно-сосудистыми заболеваниями. К группам наибольшего риска относятся дети младшего возраста, люди пенсионного возраста, лица, профессиональная деятельность которых связана с пребыванием на открытом воздухе, и лица с низким уровнем доходов, для которых адаптационные возможности (например, использование кондиционеров) малодоступны. В крупных городах группой риска являются также люди, живущие или работающие в “островах тепла”. Под этим термином понимается центральная часть города, характеризующаяся плотной многоэтажной застройкой, большими заасфальтированными пространствами, минимальным количеством зеленых насаждений и открытых водоемов. В таких условиях воздействие жары наиболее губительно. Со-



Рис. 2.5.1. Пути воздействия изменения климата на здоровье человека (Patz et al., 2000; Хайнес и др., 2004).

временное потепление климата сопровождается увеличением числа дней с экстремально высокой температурой (Climate Change, 2007, 2007).

Данные более 50 европейских исследований смертности населения в периоды летней жары показали, что наиболее высокие показатели смертности были среди пожилых людей, страдающих хроническими заболеваниями сердечно-сосудистой системы, органов дыхания, диабетом, госпитализированных лиц, людей, проживающих на верхних этажах, людей, проживающих в городах (по сравнению с пригородом). Летом 2003 г. в Западной и Центральной Европе в результате экстремальной жары погибли, по различным оценкам, от 27 до 40 тысяч человек. Жаркий август 2003 г. стал причиной до 6 тыс. дополнительных смертельных исходов в Испании и 1,3 тыс. в Лиссабоне (Smoyer, 1998; Conti et al., 2005; Vandentorren et al., 2004; Grize et al., 2005; Johson et al., 2005; Kovats, 2006; Michelozzi et al., 2004, 2006). Наиболее детально эта ситуация была изучена в Париже (INVS, 2003; Vandentorren et al., 2004), где вовремя жары 2003 г. было зарегистрировано около 15 тыс. дополнительных случаев смерти; число случаев было на 60% больше, чем в тот же период в 1999–2002 гг., когда волн тепла не наблюдалось (рис. 2.5.2).

В жаркие дни также обострялось течение различных сердечно-сосудистых заболеваний, например, стенокардии, с появлениями болей в грудной

клетке, головной боли, головокружений, тошноты, чувства усталости и т. д. После этого события Министерство здравоохранения Франции разработало специальный план действий по оценке и профилактике острого воздействия погодных явлений на здоровье человека (Plan..., 2005).

Анализ зависимости смертности населения в 50 городах США за 1998–2000 гг. (более 7,5 млн. случаев смерти) от максимальной и минимальной температуры, числа дней с высокой и очень низкой температурой выявил сильные связи между экстремальными значениями температуры и смертностью от диабета. Смертность от сердечно-сосудистых заболеваний в этой стране больше зависела от экстремально низких, чем экстремально высоких температур (Medina-Ramon et al., 2006).

В 1980–1998 гг. в Индии было 18 волн тепла; волна тепла в 1988 г. унесла 1300 жизней (De and Mukhopadhyay, 1998; Mohanty and Panda, 2003; De et al., 2004). В штате Андхра-Прадеш в 2002 г. во время волны тепла погибли 622 человека (Хайнес и др., 2004). Повышенная смертность отмечалась у лиц, относящихся к группам риска: бедным и пожилым людям, а также поденным сельскохозяйственным рабочим и рикшам, вынужденным работать вне помещений при любой погоде. Ситуация усугублялась тем, что конструкция крестьянских домов чаще всего такова, что не предохраняет от жары.

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

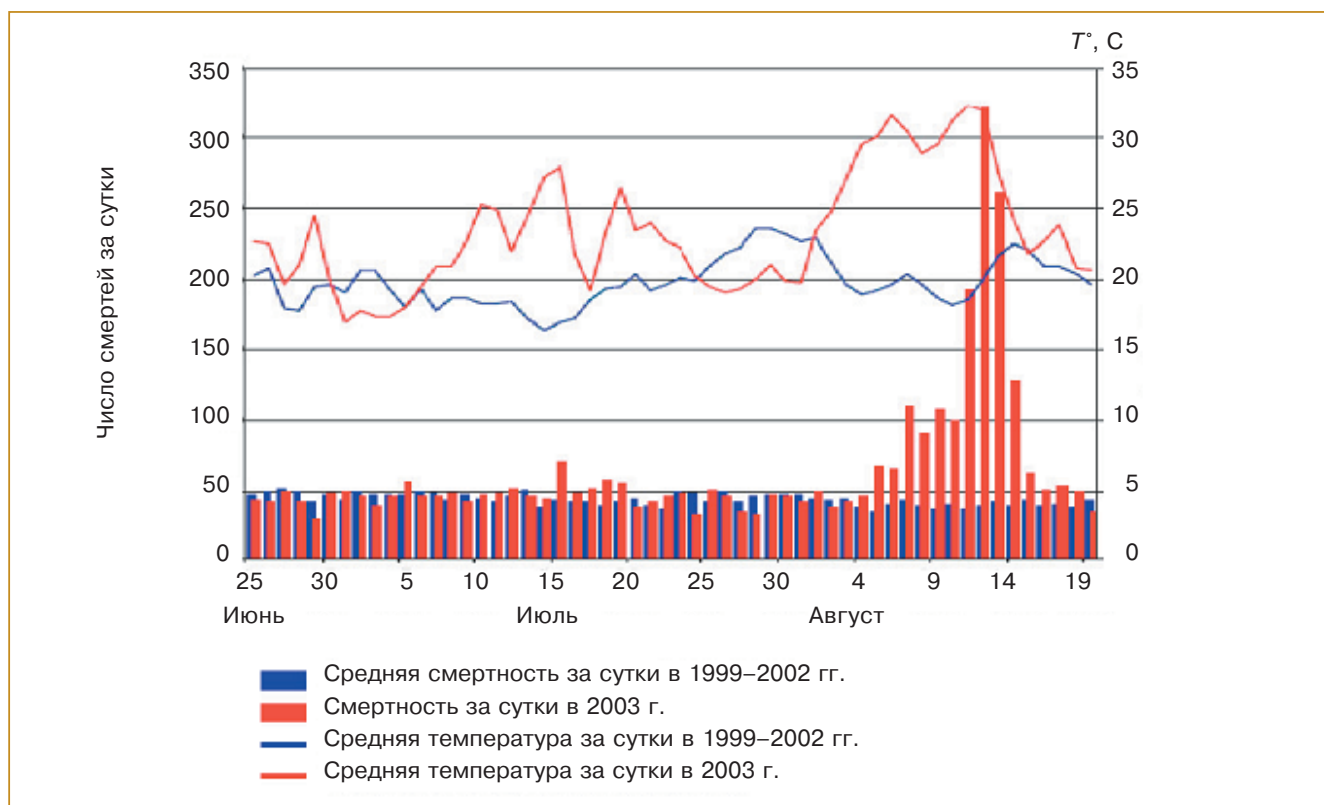


Рис. 2.5.2. Дополнительная смертность в Париже во время волны тепла в начале августа 2003 г. (INVS, 2003; Vandentorren et al., 2004).

Первые работы по оценке влияния повышенной температуры воздуха на смертность населения на Европейской территории России были проведены для Твери (Ревич и др., 2005). Совместно анализировались данные о температуре воздуха и смертности населения. Была достоверно установлена положительная корреляция между числом обращений за экстренной медицинской помощью, общей смертностью и смертностью от ряда причин (цереброваскулярные нарушения, травмы, утопления и самоубийства) и температурой воздуха в летний период. При увеличении максимальной температуры суток на 10°C по сравнению с климатической нормой число обращений за экстренной медицинской помощью и смертность от отдельных причин возрастают на 100%, а общая смертность — на 8%. Установлено, что для условий Твери прирост максимальной суточной температуры на каждые 10°C дает примерно один случай дополнительной смерти ежедневно. В 1999 г. — более жарком, чем 2002 г., — происходило больше самоубийств, чем в 2002 г. (Ревич и др., 2005). В то же время в Санкт-Петербурге между случаями внезапной кардиальной смерти и температурой воздуха такой связи выявлено не было (Кухарчик и др., 2004).

В Москве влияние волн тепла и холода на показатели смертности населения было изучено за шестилетний период 2000–2005 гг. Волна тепла (холода) в данном исследовании понималась как период времени, состоящий из последовательных суток с экстремально высокой (низкой) температурой. Они характеризуются температурным порогом, определяющим тот уровень, выше (ниже) которого значения температуры считаются экстремально высокими (низкими), и продолжительностью. Эффект измерялся средней дополнительной смертностью. Осреднение производилось за период волны, но с учетом сдвига между ходом температуры и смертности. Эта дополнительная, избыточная смертность определялась для каждой причины смерти и возрастной группы по отношению к соответствующему среднему многолетнему значению за данный календарный период.

В июле 2001 г. Москва пережила необычайно продолжительную тепловую волну, во время которой среднесуточные значения температуры превышали порог в 25°C в течение 9 последовательных суток (при средней многолетней норме 3 суток). В максимуме этой волны (23 июля 2001 г.) суточная смертность достигла рекордно высокого значения — она превысила среднее многолетнее значение смертности для июля на 93%. Для срав-

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

Таблица 2.5.1. Число суток с экстремально высокой температурой летом и экстремально низкой зимой в период 2000–2005 гг. в Москве (Ревич, Шапошников, 2006)

Год	Число суток со среднесуточной температурой больше порогового значения			Число суток со среднесуточной температурой меньше порогового значения		
	Июнь	Июль	Август	Декабрь	Январь	Февраль
2000	5	2	0	0	3	0
2001	4	20	7	10	0	4
2002	8	21	8	11	3	0
2003	0	12	4	0	6	3
2004	3	4	14	0	0	2
2005	3	7	8	0	0	0
2006	–	–	–	–	10	14
Принятые пороговые значения температуры	20,2	21,8	20,1	–13,2	–16,4	–14,7

Примечание. Принятые пороговые значения температуры — верхняя (для летних месяцев) и нижняя (для зимних месяцев) — границы интервала 2s для среднесуточных значений температуры в соответствующий месяц в 1961–1990 гг.

нения укажем, что во время “чикагской жары” число смертей в среднем в сутки превысило среднее многолетнее значение на 85% (McGeehin and Mirabelli, 2001). Исключительная для Москвы интенсивность и продолжительность температурной волны 15–28 июля 2001 г. привели к четко выраженному и статистически значимому эффекту “всплеска” смертности во всех возрастных группах населения. В целом за период 2000–2005 гг. дополнительная смертность, связанная непосредственно с потеплением климата в Москве, оценивается в 420 смертей в год (Ревич, Шапошников, 2006).

Эффект волны холода наглядно демонстрирует ситуация января – февраля 2006 г., когда в Москве экстремально низкая температура наблюдалась в течение 26 дней. Периоды дополнительной смертности четко прослеживались после волны холода с лагом 4–5 суток. Достоверно были установлены негативные эффекты волны холода 2006 г. в возрастной группе пожилых людей старше 75 лет (Ревич, Шапошников, 2006). При воздействии низкой температуры в группы наибольшего риска входят также алкоголики и бездомные люди.

Воздействие экстремально высокой температуры может усугубляться загрязнением атмосферного воздуха. Концентрации загрязняющих веществ в воздухе часто возрастают в жаркие дни, причем уровень загрязнения тесно связан с температурой как того же дня, так и предыдущих дней. Показано, что концентрации озона O_3 , оксида углерода CO, диоксида серы SO_2 , диоксида азота

NO_2 , а также мелкодисперсных пылевых частиц ($PM_{2,5}$, PM_{10}) в такие периоды повышаются (Рахманин и др., 2004; Ревич, Шапошников, 2004). В дни наиболее высокой температуры в Москве в августе 2004 г. концентрации NO_2 , O_3 и PM_{10} довольно точно повторяли ход кривой температуры (Ревич, Шапошников, 2006).

Эти факторы могут негативно сказываться на состоянии здоровья людей. Так, летом 2002 г. в Москве наблюдался устойчивый антициклон и отмечалось сильное задымление из-за лесных пожаров. Анализ данных показал, что повышенное загрязнение атмосферного воздуха в эти дни привело к 103 дополнительным случаям смерти, из них — к 44 случаям смерти от сердечно-сосудистых заболеваний; были зафиксированы 22 случая острого инфаркта миокарда (Новиков и др., 2003). Во время аналогичной метеорологической ситуации во Владимире зафиксировано увеличение числа вызовов скорой медицинской помощи (Буренков, 2006).

Длительное пребывание в условиях высокой температуры, особенно при выполнении тяжелой физической работы в металлургических цехах, горных шахтах, приводит к ряду негативных физиологических изменений, в том числе к чрезмерному напряжению терморегуляции работающих, ускоренному биологическому старению, изменению иммунного статуса, повышенной заболеваемости (Афанасьева, Суворов, 2002; Афанасьева и др., 1997, 2004). Например, в группах рабочих

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

сталелитейного производства, расположенного в условиях умеренного климата, подвергавшихся воздействию повышенной температуры, выявлен повышенный риск смерти от болезней артерий, артериол и капилляров, а также от гипертонической болезни. Большой риск смерти от болезней сердечно-сосудистой системы характерен для лиц, начинающих работу на упомянутых выше производствах в возрасте после 40 лет (Афанасьева и др., 1997, 2004). Ретроспективное исследование смертности рабочих металлургического производства в г. Нижний Тагил на Урале в условиях воздействия высокой температуры на фоне тяжелого физического труда выявило повышенный риск смертности от хронических бронхитов (Головкова и др., 2003).

2.5.3. Инфекционные и паразитарные болезни

Инфекционные и паразитарные болезни человека, в том числе трансмиссивные, распространены практически повсеместно. Потепление климата приводит к изменению условий их распространения. В частности, меняются условия существования популяций переносчиков трансмиссивных болезней и условия развития возбудителей в переносчике, что влечет за собой изменение возможности передачи болезней человека и животных, распространяющихся при посредстве членистоногих переносчиков — комаров, блох, клещей и других. Увеличение температуры ускоряет развитие возбудителя в организме переносчика, а сам процесс передачи делает более эффективным, облегчается передача заболевания и расширяется его географическое распространение. При этом необходимо отличать изменения, вызванные климатическими причинами, от изменений, обусловленных другими факторами. Чаще всего причиной распространения трансмиссивных заболеваний в места, где они в течение многих последних десятилетий не встречались, является ухудшение эффективности работы структур, ответственных за борьбу с переносчиками и возбудителями болезней и оказание медицинских услуг, освоение людьми новых территорий, нередко вызывающее резкие экологические изменения на этих территориях, урбанизация без создания соответствующих медицинских инфраструктур, высокая миграционная активность людей, развитие устойчивости возбудителей к лекарствам и переносчиков к инсектицидам (Kramer et al., 1983; Watts et al., 1987; Geographical Distribution..., 1989; Reisen et al., 1993, 1995; Reiker, 1998; Martens et al., 1999; Lieshout et al., 2004; Хайнес и др., 2004; Семенов и др., 2006).

Изменения климата, произошедшие на территории России в XX веке, оказывают влияние как на распространение природно-очаговых инфекций

и малярии, в том числе на границы ареалов возбудителей, их членистоногих переносчиков и позвоночных хозяев, так и на характер размещения очагов в пределах ареала.

Роль климатического фактора, однако, также заметна. Циклические обострения эпизоотической ситуации в природных очагах чумы и туляремии прямо или опосредствованно связаны с периодическими изменениями гидрометеорологических условий. Влияние изменения климата сказывается в большей мере на тех возбудителях болезней, чей жизненный цикл связан с более или менее длительным существованием во внешней среде и, следовательно, с определенными требованиями к ее условиям и наличием адаптаций к их изменениям. К ним относятся возбудители облигатно-трансмиссивных с не исключительно трансмиссивным путем передачи (чума), факультативно-трансмиссивных инфекций (туляремия), нетрансмиссивных природно-очаговых инфекций (лептоспирозы и другие инфекции) и сапронозов.

Однако климатогенные изменения распространения природноочаговых инфекций происходят на фоне действия разных факторов неклиматической природы — экологических, демографических и социально-экономических. Характер их действия на территории России в последние десятилетия существенно изменился. В частности, заболеваемость клещевым энцефалитом зависит от объемов вакцинации, подавления очагов методами неспецифической профилактики, от происходящего увеличения частоты контактов населения, в первую очередь, городского, с возбудителями и переносчиками в местах отдыха на природе. На уровне заболеваемости также сказываются циклические колебания численности переносчиков и позвоночных хозяев, обусловленные экологическими причинами. Систематических данных по России для широких обобщений пока недостаточно, поскольку в настоящее время систематический мониторинг природноочаговых инфекций на стационарах не проводится (Коренберг, 2004).

Во многих странах мира выявлена связь изменения климата, в основном по температуре, с заболеваемостью людей бактериальными инфекциями. В Великобритании, Канаде и Германии увеличение среднемесячной температуры за 1992–2002 гг. привело к увеличению числа случаев заболеваний бактериальной дизентерией, кампилобактериозом, сальмонеллезом. Достоверно установлена связь между изменением климата и ростом числа желудочно-кишечных заболеваний на Тайване (Chang et al., 2006), температурой и увеличением случаев сальмонеллеза в Австралии (Zhang et al., 2006), максимальной месячной температурой и криптоспориозом в Австралии (Hu et al., 2006). Эпидемиологическое исследование в

США ряда кишечных инфекций, в том числе сальмонеллеза, шигеллеза, кампилобактериоза среди лиц пожилого возраста в 1998–2002 гг. выявило их связь с климатическими условиями (Jagai et al., 2006). Заболеваемость детей до 5 лет сальмонеллезом в 5 городах Австралии была связана со среднемесячной температурой предыдущего месяца (D'Sousa et al., 2006).

Сопоставление изменений заболеваемости населения России инфекциями различной этиологии с произошедшими изменениями климата показало неоднозначные результаты. Для ряда болезней — полиомиелит, краснуха, ветряная оспа, шигеллез — имеющиеся данные не позволяют сделать вывод о наличии зависимости, а для других — сальмонеллез, геморрагическая лихорадка с почечным синдромом, клещевой энцефалит, иксодовый клещевой боррелиоз — влияние изменений климата установлено (Лялина, 2004). Повысилась также вероятность сохранения некоторых вирусов, например, японского энцефалита и лихорадки Западного Нила, в комарах, являющихся переносчиками этих заболеваний, во время зимовки, в связи с потеплением в некоторых регионах улучшились условия протекания спорогонии возбудителя малярии в переносчике (Алексеев, 2004, 2006).

Клещевой энцефалит. К концу XX века заболеваемость клещевым энцефалитом в России существенно повысилась (рис. 2.5.3). Если в 1956 г.

было зарегистрировано 5163 случая, то в 1996 г. — 10298 случаев. Рост заболеваемости происходит в основном на Урале и в Сибири. В 1999 г. число больных в целом по России составило 6,8 на 100 тыс. населения, тогда как в Пермской области — 32,4, в Удмуртии — 52,9, в Тюменской области — 35,2, в Курганской области — 35,4, в Томской области — 64,2, в Красноярском крае — 52,8. В Кировской, Свердловской, Омской областях, Красноярском крае, Республике Бурятия наблюдается расширение ареала клещевого энцефалита.

В качестве причин, приведших к такому положению, прежде всего выделяют антропогенное трансформирование естественных ландшафтов, в том числе освоение лесных массивов под дачные и садово-огородные участки, более частый выезд горожан “на природу” для отдыха, сбора грибов, ягод и т. д., образование антропогенных очагов, в которых в циркуляции вируса участвуют и домашние животные. Это способствовало повышению контакта населения, городского прежде всего, с клещами, что привело к тому, что в настоящее время доля городских жителей среди заболевших достигает 70–80%. Часть горожан (10% общего числа заболевших) заражается в пределах городов, в садах и парках (Злобин и др., 2004).

Одной из ведущих причин увеличения заболеваемости населения клещевым энцефалитом на Урале и в Сибири является также смягчение и

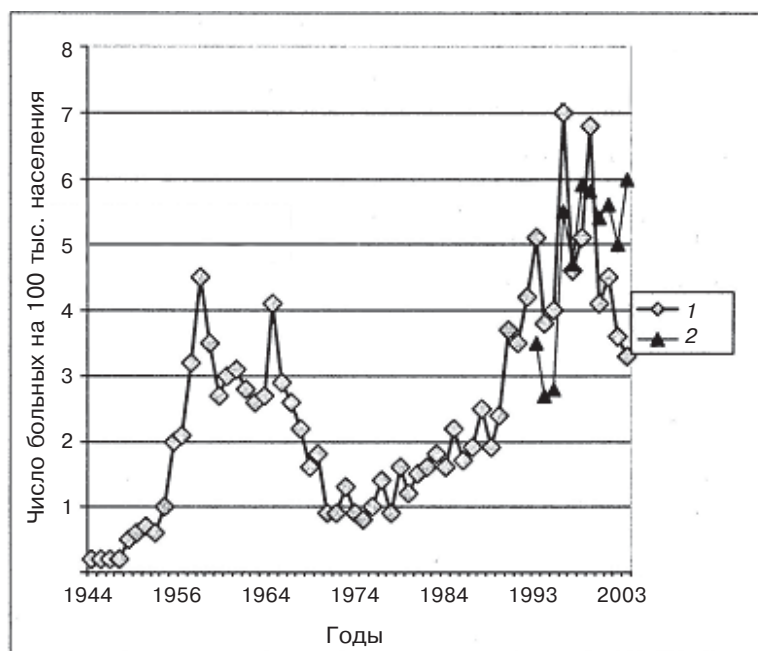


Рис. 2.5.3. Заболеваемость клещевым энцефалитом (1) и иксодовым клещевым боррелиозом (2) в Российской Федерации в 1944–2003 гг. (Злобин и др., 2004).

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

увлажнение климата. Так, в период 1993–2003 гг. в Иркутской области температура февраля повысилась на 6°C и достигла –11°C, а длительность безморозного периода увеличилась с 90–100 до 120–130 суток (Злобин и др., 2004). По многолетним наблюдениям (1956–2003 гг.), на территории Иркутска и Иркутского района Иркутской области обилие иксодовых клещей возросло в 57,5 раза, а заболеваемость в 40,2 раза (Злобин и др., 2004).

В 2005 г. заболеваемость клещевым энцефалитом повысилась по сравнению с 2004 г. на 7,8%, причем среди детей до 14 лет — на 22,07%. Всего зарегистрировано 4551 случай, из них у детей — 599 случаев; показатели заболеваемости (число заболеваний на 100 тыс. населения) для взрослых и детей 3,16 и 2,69 соответственно. Наибольшая заболеваемость зарегистрирована в следующих субъектах Российской Федерации (в скобках дано значение показателя заболеваемости): в Красноярском крае — 774 случая (26,91), в Свердловской области — 448 случаев (10,09), в Томской области — 329 случаев (31,68), в Тюменской области — 218 случаев (16,56), в Пермской области — 208 (7,86). Смертность от этого заболевания в 2005 г. составила 72 человека. Эффективность мер по уменьшению заболеваемости клещевым энцефалитом снижается в связи с ограниченностью финансовых средств для приобретения акарицидных препаратов и средств специфической профилактики (Государственный доклад “О санитарно-эпидемиологической обстановке...”, 2006).

Потепление климата способствовало смещению границы распространения переносчиков клещевого энцефалита *Ixodes ricinus* и *I. persulcatus* на северо-восток Европейской территории России и Сибири соответственно, расширило период их активности (Алексеев, 2004, 2006).

Иксодовые клещевые боррелиозы (болезнь Лайма). В России это заболевание официально регистрируется с начала 1992 г., и с того времени заболеваемость возросла почти в 2 раза: с 3,5 до 6 случаев на 100 тыс. населения (рис. 2.5.3). Наиболее высокая заболеваемость отмечена в Волго-Вятском, Уральском и Западно-Сибирском регионах. Высокая заболеваемость зарегистрирована в Костромской, Ярославской и Вологодской областях. Томская область занимает самое высокое место в Российской Федерации по уровню заболеваемости клещевым боррелиозом (Арумова, Воронцова, 2000; Злобин и др., 2004). Динамика заболеваемости сходна с таковой для клещевого энцефалита, что позволяет предположить и сходство причин ее изменения с приведенными выше в отношении клещевого энцефалита (увеличение частоты контактов человека с переносчиком, изменение климата), так как чисто биологические особенности

этих болезней существенно различаются — общим является только трансмиссивный путь передачи через укусы клеща (Злобин и др., 2004).

Геморрагическая лихорадка с почечным синдромом (ГЛПС). С середины 1980-х годов заболеваемость ГЛПС в России стала расти и к началу XXI века увеличилась более чем в 3 раза. Около 80% зарегистрированных случаев геморрагической лихорадки с почечным синдромом (ГЛПС) на ЕТР приходится на расположенные в Приуралье и Среднем Поволжье республики Башкортостан, Удмуртия, Татарстан, Марий Эл, Чувашия, а также Самарскую, Ульяновскую, Пензенскую области (Бернштейн и др., 2004). Показатель заболеваемости по этим регионам превышает 10 случаев на 100 тыс. населения, тогда как в среднем по России — 4,0. Особенно высока заболеваемость в Башкортостане и Удмуртии — за последние 25 лет показатели заболеваемости составили 53,8 и 40,0 соответственно. С середины 1980-х годов заболеваемость стала расти и к началу XXI века увеличилась более чем в 3 раза (табл. 2.5.2).

Одна из причин наблюдаемого эффекта — повышение температуры и количества осадков. Так, в Удмуртии за последние 30 лет среднегодовая температура увеличилась на 0,6°C, годовая сумма осадков увеличилась с 501 до 650 мм, толщина снежного покрова в феврале – марте увеличилась с 33 до 48 см (Бернштейн и др., 2004). Эти климатические изменения способствовали росту численности популяций европейской рыжей полевки — основного резервуара возбудителя ГЛПС (хантавируса Пуумала) в природных очагах. Негативно сказывается и вывод из оборота большого количества пахотных земель, что создает благоприятные условия для жизнедеятельности и размножения грызунов. Объем истребительных мероприятий по борьбе с ними в природных условиях и населенных пунктах сокращается. Финансирование, выделяемое на организацию и проведение противоэпидемических мероприятий, недостаточно. В сочетании с отсутствием препаратов по специфической профилактике ГЛПС все это определяет неблагоприятный прогноз по этой инфекции (Государственный доклад “О санитарно-эпидемиологической обстановке...”, 2006).

Некоторую роль в повышении заболеваемости ГЛПС играют и социальные факторы, в частности изменение рекреационных предпочтений людей. Например, в Удмуртии до середины 1980-х годов около 50% заболевших горожан заражались при посещении лесных массивов и только 25% на садово-огородных участках. К началу XXI века это соотношение стало почти обратным: 30 и 47% соответственно (Бернштейн и др., 2004).

Рост заболеваемости ГЛПС не является монотонным. Так, в 2005 г. общая заболеваемость

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

Таблица 2.5.2. Заболеваемость геморрагической лихорадкой с почечным синдромом в разных регионах России в 1978–1984 гг. и 1985–2002 гг. (Бернштейн и др., 2004)

Регион	Среднегодовые значения за период		Кратность увеличения
	1978–1984 гг.	1985–2002 гг.	
Европейская территория России			
в целом	2156/1,9	7153/6,2	3,3
Приуралье и Среднее Поволжье	1852/10,3	5663/31,5	3,1
Дальний Восток	168/2,2	156/2,1	1,0

Примечание. Числитель — число больных, знаменатель — заболеваемость (число больных на 100 тыс. населения).

ГЛПС по сравнению с 2004 г. снизилась на 27,82% (среди детей — в 2,12 раза), однако уровень ее остался высоким. Всего в 2005 г. зарегистрировано 7348 случаев, среди детей — 169, показатели заболеваемости — 5,11 и 0,76 соответственно (на 100 тыс. населения). В 2005 г. наиболее неблагоприятная обстановка, как и в прежние годы, сохранялась на территории Приволжского федерального округа. В Республике Башкортостан зарегистрировано 2313 случаев, среди детей — 57 случаев, показатели заболеваемости — 56,61 и 7,83 соответственно. Число случаев заболевания (в скобках — показатель заболеваемости) было в Оренбургской области — 1288 (59,73), в Республике Татарстан — 850 (22,54), в Удмуртской Республике — 441 (28,33), в Самарской области — 307 (9,57), в Нижегородской области — 221 (6,38). Всего в 2005 г. случаи заболевания ГЛПС зарегистрированы в 47 субъектах Российской Федерации. В 42 случаях заболевание закончилось смертью пациента (Государственный доклад “О санитарно-эпидемиологической обстановке...”, 2006).

Крымская геморрагическая лихорадка (КГЛ). Это заболевание периодически регистрируется в южных регионах России. Заболеваемость в 1948–2003 гг. распределяется по субъектам Российской Федерации следующим образом (Бутенко, Ларичев, 2004): Ростовская область — 357, Астраханская область — 297, Ставропольский край — 189, Волгоградская область — 33, Калмыкия — 23, Краснодарский край — 18, Дагестан — 9 случаев. Существенное увеличение заболеваемости отмечено с 2000 г. в Калмыкии и Волгоградской области, а в Дагестане — в 2001 г. Это связывается с тем, что вследствие потепления климата граница ареала переносчика — клеща *Hyalomma marginatum* — продвинулась к северу, возросла его численность и, как следствие, расширился ареал инфекции (Бутенко, Ларичев, 2004).

В 2005 г. по сравнению с 2004 г. заболеваемость КГЛ в России возросла в 2 раза. В Южном федеральном округе зарегистрировано 138 случаев КГЛ (из них 4 — летальных), тогда как в 2004 г. было 76 больных. Заболевания регистрировались в 7 субъектах РФ, из них в Республике Калмыкия и Ставропольском крае — по 38 больных, в Астраханской области — 37 больных, в Ростовской области — 16 больных, в Волгоградской области — 6 больных, в Республике Дагестан — 3 больных; 4 случая КГЛ закончились летальным исходом. Среди заболевших КГЛ преобладает трудоспособное население, в основном сельские жители в возрасте от 20 до 50 лет, при этом наиболее высокая заболеваемость отмечена в возрастной группе 20–29 лет (Государственный доклад “О санитарно-эпидемиологической обстановке...”, 2006).

Лихорадка Западного Нила (ЛЗН). Резервуаром вируса являются птицы водного и околоводного комплексов, чем и объясняется широкое распространение вируса в природе. Основными переносчиками возбудителя являются орнитофильные комары родов *Culex*, *Aedes* и некоторых других. В 1999 г. в Волгоградской и Астраханской областях возникла эпидемическая вспышка ЛЗН, в результате которой было госпитализировано почти 500 человек. Этот год был одним из наиболее теплых за более чем 160 лет наблюдений, с чем и связывается аномальный рост заболеваемости (Платонов, 2004; Платонов и др., 2006). Ареал этого заболевания расширяется, и оно было зарегистрировано даже в Сибири (Платонова и др., 2006).

Малярия. В последние 15–20 лет существенно изменилась структура завоза малярии в Россию (рис. 2.5.4). До 1995 г. преобладал завоз из стран дальнего зарубежья. В 1996 г. масштабы завоза из стран ближнего и дальнего зарубежья сравнялись. В последующие годы стал преобладать завоз из стран ближнего зарубежья, преимущественно из Таджикистана и Азербайджана.

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

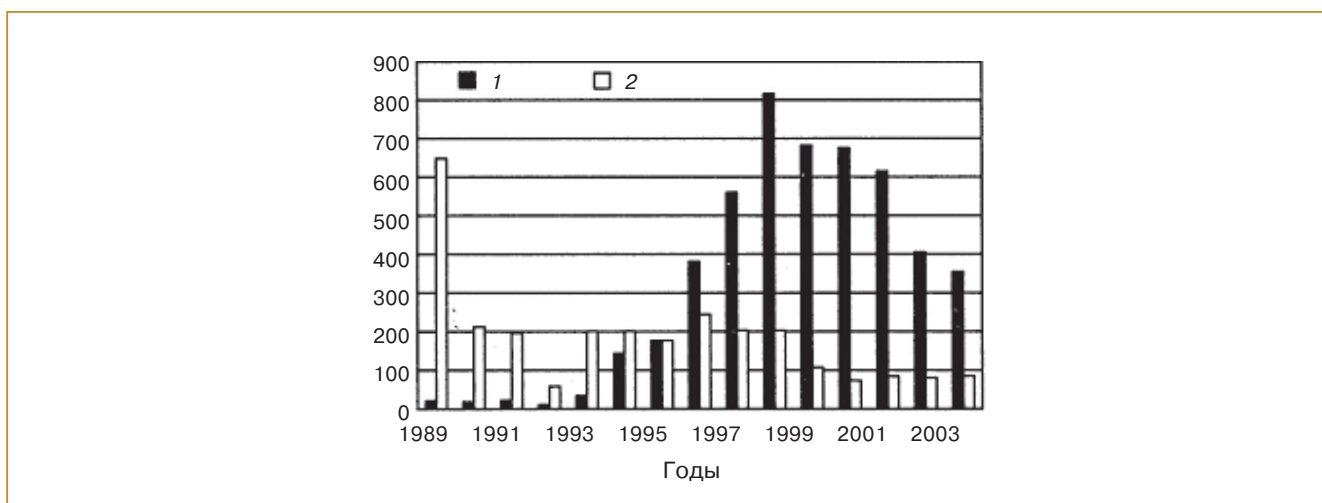


Рис. 2.5.4. Число случаев завоза малярии на территорию России в 1989–2003 гг. (Лобзин, Козлов, 2004). 1) из бывших республик СССР; 2) из стран дальнего зарубежья.

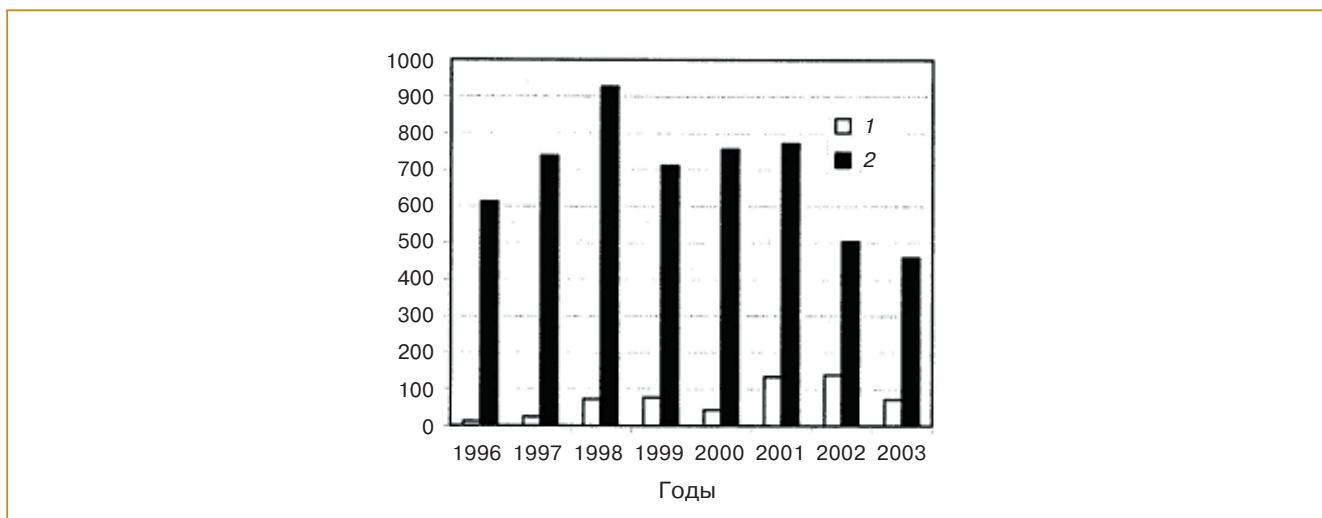


Рис. 2.5.5. Соотношение завозных и местных случаев малярии на территории России в 1996–2003 гг. (Лобзин, Козлов, 2004). 1) местная малярия; 2) завозная малярия.

Максимальное количество больных в России пришлось на 1998 г. В дальнейшем масштабы завоза стали снижаться, но возникла тенденция к увеличению местных случаев малярии (рис. 2.5.5). В 2001 г. было выявлено 907 случаев, из них 134 в результате местной передачи (14,8%), в 2002 г. 644 и 139 соответственно (21,6%). В 2003 г. положение улучшилось: из 533 зарегистрированных случаев местных было 72 (13,5%) (Лобзин, Козлов, 2004). В 2005 г. по сравнению с 2004 г. при снижении общего числа заболевших с 382 до 212 число местных случаев было 68 и 40 соответственно, т. е. доля местных случаев возросла с 17,8 до 18,9% (Государственный доклад “О санитарно-эпидемиологической обстановке...”, 2006). В Санкт-Петербур-

ге число завозных случаев малярии в 1997–2001 гг. в сравнении с периодом 1987–1992 гг. увеличилось почти в 3 раза (Антонов, 2004).

Как следует из приведенных выше данных, малярия на территории России в настоящее время не является массовым заболеванием. Но она была таковым в первой половине XX века. В 1894–1914 гг. в Российской Империи ежегодно регистрировалось от 3 до 3,6 млн. больных (Лейзерман, 1943). Пик заболеваемости в СССР пришелся на 1934 и 1935 гг., когда регистрировалось более 9 млн. больных малярией ежегодно; в дальнейшем эта цифра снижалась вследствие масштабных противомаларийных мероприятий, а к 1960-м годам остались лишь некоторые очаги малярии (Васильев, 2000,

2001). В 1930-е годы вспышка малярии достигла Ленинградской области, а случаи заболевания отмечались и в Архангельской области (Духанина, 1945; Соколова, 1976).

Несмотря на невысокий современный уровень заболеваемости, предпосылки возобновления широкомасштабной передачи малярии, в первую очередь трехдневной (возбудитель — *Plasmodium vivax*), в России сохраняются. К ним относятся систематический завоз малярии на территорию России, особенно интенсивный во время эпидемического сезона, и большое число обитающих на территории страны видов переносчиков. На территории стран СНГ и Балтии обитают следующие виды малярийных комаров: *Anopheles maculipennis*, *An. melanoon*, *An. beklemishevi*, *An. messeae*, *An. atroparvus*, *An. sacharovi*, *An. martinius*, *An. hyrcanus*, *An. sinensis*, *An. claviger*, *An. plumbeus*, *An. algeriensis*, *An. barianensis*, *An. lindesayi*, *An. marteri*, *An. superpictus*, *An. pulcherrimus*, *An. multicolor*. В России преобладают виды комплекса *An. maculipennis* (выделены жирным шрифтом), кроме встречающегося в Средней Азии и Казахстане *An. martinius* (Семенов и др., 2006). Наличие *An. subalpinus* на территории России и других стран СНГ признано не всеми авторами (см., например, (Гуцевич и др., 1970; Артемьев и др., 2000; Маркович и др., 2001)), поэтому в данном списке этот вид не приводится.

В большинстве субъектов Российской Федерации усилия по наблюдению за состоянием и численностью популяций переносчиков малярии сейчас недостаточны, ослаблен контроль за эффективностью проведения дезинсекционных мероприятий. Заселенность водоемов личинками малярийных комаров остается высокой. Так, в 2005 г. этот показатель составил 47,6%, в 2004 г. — 34,5%, что свидетельствует о недостаточном объеме мероприятий, направленных на сокращение численности переносчика (Государственный доклад “О санитарно-эпидемиологической обстановке...”, 2006). Пример многих стран показывает, что малярия способна очень быстро возвращаться на освобожденные от нее территории при ослаблении контроля (Ясюкевич, 2002; Лысенко и др., 2003; Семенов и др., 2006).

2.5.4. Расчетные оценки влияния изменения климатических условий на распространение малярии

Изменение пространственного распределения климатических условий, благоприятных для передачи малярии человека, в глобальном масштабе было отмечено в Третьем оценочном докладе МГЭИК (Climate Change 2001, 2001) и подтверж-

дено в Четвертом оценочном докладе МГЭИК (Climate Change, 2007, 2007).

Изменения климата, произошедшие в XX веке на территории стран СНГ и Балтии, не могли не сказаться на ареалах переносчиков малярии и условиях развития возбудителя в их организме (Семенов и др., 2006). Эти изменения были оценены расчетным методом с использованием прикладных климатических индексов, определяющих условия существования переносчиков и возбудителей малярии в зависимости от температуры воздуха в приповерхностном слое атмосферы и суммы осадков (о методах — см. раздел 2.1.5).

На рис. 2.5.6 и 2.5.7 приведена часть полученных оценок: изменение *T*-ареала (т. е. потенциального ареала, определяемого фактором температуры) наиболее распространенного в России комплекса переносчиков *Anopheles maculipennis*, а также изменение *T*-ареала типичного для России возбудителя трехдневной малярии *Plasmodium vivax*. Видно, что масштабы изменений ареалов в 1966–1995 гг. по сравнению с 1936–1965 гг. субрегиональны, типичные сдвиги границ — до 100–200 км. Характерна также разнонаправленность сдвигов на разных частях территории — эффекта повсеместного движения северных границ на север (что можно было бы ожидать при потеплении) не наблюдается. Причина этого — одновременное увеличение среднегодовой температуры и уменьшение амплитуды ее годового хода на большей части территории России (Семенов, Гельвер, 2002а, 2002б).

Анализ изменений такого показателя риска малярии, как количество циклов развития возбудителя в организме переносчика (спорогония), возможное в заданных температурных условиях, показал, что в России в 1966–1995 гг. по сравнению с 1936–1965 гг. его значение повсеместно уменьшилось на густонаселенной европейской территории, а также на большей части азиатской территории; увеличение произошло в субрегиональном масштабе в Средней Сибири (Семенов и др., 2006).

Таким образом, изменение климатических условий на территории России в конце XX века по сравнению с его серединой в целом по стране не привело к ухудшению эпидемиологической ситуации по малярии (Семенов и др., 2006).

2.5.5. Здоровье населения арктических регионов

Потепление климата оказывает неблагоприятное влияние на состояние здоровья и традиционное природопользование коренных народов Севера. Наиболее детально это явление изучено в Северной Канаде, где в периоды экстремально

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

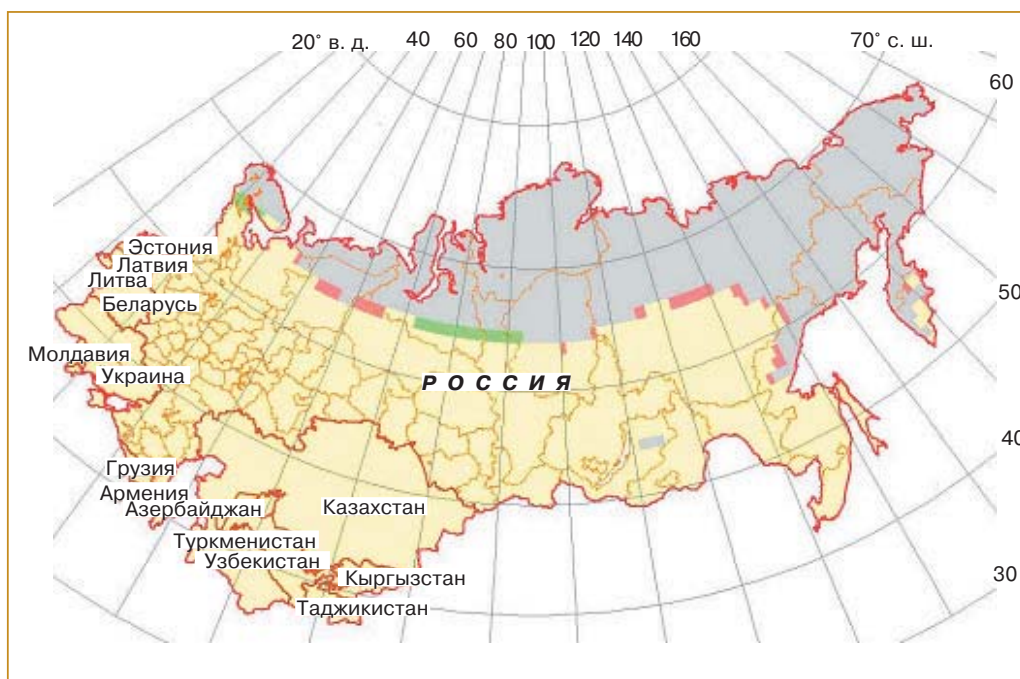


Рис. 2.5.6. Изменение *T*-ареала на территории стран СНГ и Балтии комаров комплекса видов *An. maculipennis* в 1966–1995 гг. по сравнению с 1936–1965 гг.: точка в обоих случаях не входила в ареал — светло-серый цвет; точка в 1936–1965 гг. входила в ареал, а в 1966–1995 гг. не входила — зеленый цвет; точка в 1936–1965 гг. не входила в ареал, а в 1966–1995 гг. входила — красный цвет; точка входила в ареал в оба периода времени — желтый цвет.

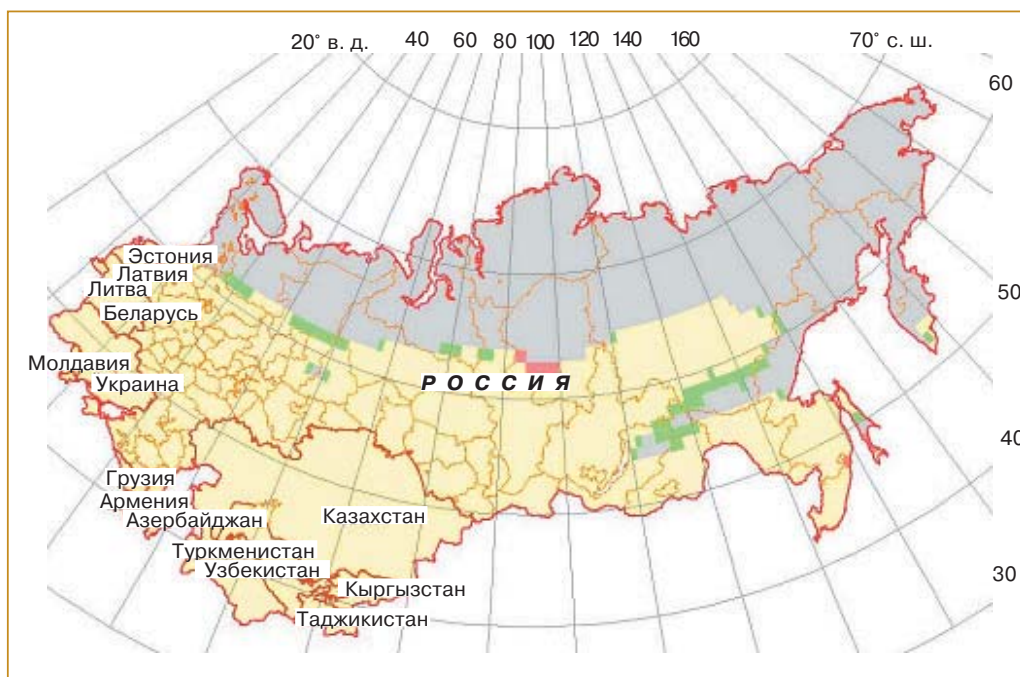


Рис. 2.5.7. Изменение *T*-ареала на территории стран СНГ и Балтии возбудителя трехдневной малярии *P. vivax* в 1966–1995 гг. по сравнению с 1936–1965 гг.: серый цвет — возбудитель не мог развиваться в обоих периодах; зеленый цвет — в 1936–1965 гг. развитие было возможно, а в 1966–1995 гг. стало невозможно; красный цвет — в 1936–1965 гг. развитие было невозможно, а в 1966–1995 гг. стало возможно; желтый — возбудитель мог развиваться в оба периода времени.

высокой температуры воздуха (до 30°C) у пожилых людей наблюдались изменения функции внешнего дыхания. На этих территориях из-за потепления климата также возникли проблемы с сохранностью продуктов питания, в результате чего увеличилось число кишечных инфекционных заболеваний. Возрастает также число несчастных случаев во время охоты, связанных с уменьшением толщины льда (Furgal et al., 2002; Furgal and Seguin, 2006).

В арктической части России проживает до 160 тыс. коренных жителей, и вызванное потеплением климата значительное снижение ледовитости Восточно-Сибирского и Чукотского морей, северной части Берингова моря и моря Бофорта представляет для них определенную проблему. Отсутствие льдов в летне-осенний период ухудшило условия нагула тихоокеанского моржа — традиционного промыслового зверя коренных народов (Kochnev, 2004). Это привело к снижению численности популяции моржа в целом, исчезновению южных лежбищ, повышенной гибели молодняка, плохому физическому состоянию взрослых животных. Ухудшение здоровья морских промысловых животных непосредственно влияет на качество традиционной пищи коренных жителей в береговых поселках Восточной Чукотки, так как основу их рациона до сих пор составляют мясо и жир этих морских животных (Bogoslovskaya, 1996). В России подробные исследования такого рода пока отсутствуют, но опрос жителей Чукотки подтвердил, что коренные жители фиксируют негативные последствия потепления климата (Кавры, Болтунов, 2006; Ревич, 2006).

2.5.6. Литература

- Алексеев А. Н., 2004.** Возможные последствия вероятного глобального потепления климата для распространения кровососущих эктопаразитов и передаваемых ими патогенов, в кн.: Изменение климата и здоровье России в XXI веке. Сборник материалов международного семинара 5–6 апреля 2004 г., под ред. Н. Ф. Измерова, Б. А. Ревича, Э. И. Коренберга, М., Издательское товарищество “АдамантЪ”, с. 67–79.
- Алексеев А. Н., 2006.** Влияние глобального изменения климата на кровососущих эктопаразитов и передаваемых ими возбудителей болезней, Вестник РАМН, № 3, с. 21–25.
- Антонов В. М., 2004.** Клинико-эпидемиологическая характеристика завозных случаев малярии в Санкт-Петербурге, Автореферат диссертации кандидата медицинских наук, СПб, 14 с.
- Артемьев М. М., Баранова А. М., Дарченкова Н. Н., Дремова В. П., Ганушкина Л. А., Маркович Н. Я., Сергиев В. П., 2000.** Малярийные комары России (р. *Anopheles*), Медицинская паразитология и паразитарные болезни, № 2, с. 40–45.
- Арумова Е. А., Воронцова Т. В., 2000.** Клещевой боррелиоз (болезнь Лайма) в России, Дезинфекционное дело, № 2, с. 5–7.
- Афанасьева Р. Ф., Суворов Г. В., 2002.** Интегральная оценка комплекса факторов, обуславливающих термическую нагрузку на работающих, Медицина труда и промышленная экология, № 8, с. 9–15.
- Афанасьева Р. Ф., Ткаченко Л. Н., Бабаян М. А., Лебедева Н. В., Лосик Т. К., Субботин В. В., 1997.** К обоснованию регламентации термической нагрузки среды на работающих в нагревающем микроклимате (на примере сталеплавильного производства), Медицина труда и промышленная экология, № 2, с. 30–34.
- Афанасьева Р. Ф., Сивочалова О. В., Бессонова Н. А., 2004.** Физиолого-гигиенические аспекты мер профилактики перегревания женщин-работниц, в кн.: Изменение климата и здоровье России в XXI веке. Сборник материалов международного семинара 5–6 апреля 2004 г., под ред. Н. Ф. Измерова, Б. А. Ревича, Э. И. Коренберга, М., Издательское товарищество “АдамантЪ”, с. 212–220.
- Бернштейн А. Д., Апкина Н. С., Коротков Ю. С., Демина В. Т., Хворенков А. В., 2004.** Геморрагическая лихорадка с почечным синдромом: экологические предпосылки активизации европейских лесных очагов, в кн.: Изменение климата и здоровье России в XXI веке. Сборник материалов международного семинара 5–6 апреля 2004 г., под ред. Н. Ф. Измерова, Б. А. Ревича, Э. И. Коренберга, М., Издательское товарищество “АдамантЪ”, с. 105–113.
- Буренков В. Н., 2006.** Информационно-аналитическое обеспечение оценки состояния здоровья населения в системе социально-гигиенического мониторинга. Автореферат диссертации доктора медицинских наук, М., 42 с.
- Бутенко А. М., Ларичев В. Ф., 2004.** Влияние климата на активность и распространение очагов крымской геморрагической лихорадки (кгл) в северной части ареала вируса кгл, в кн.: Изменение климата и здоровье России в XXI веке. Сборник материалов международного семинара 5–6 апреля 2004 г., под ред. Н. Ф. Измерова, Б. А. Ревича, Э. И. Коренберга, М., Издательское товарищество “АдамантЪ”, с. 134–138.
- Васильев Г. К., 2000.** Исторический опыт борьбы с малярией, Медицинская паразитология и паразитарные болезни, № 2, с. 54–56.
- Васильев К. Г., 2001.** История эпидемий и борьбы с ними в XX столетии, М., Медицина, 256 с.
- Головкова Н. П., Лескина Л. М., Яковлева Т. П., 2003.** Роль эколого-эпидемиологического ис-

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В ХХ В.

- следования в системе социально-гигиенического мониторинга, Медицина труда и промышленная экология, № 5, с. 23–28.
- Государственный доклад “О санитарно-эпидемиологической обстановке в Российской Федерации в 2005 году”, 2006.** М., Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 293 с.
- Гуцевич В. А., Мончадский А. С., Штакельберг А. А., 1970.** Комары (семейство *Culicidae*). Фауна СССР. Насекомые двукрылые, т. 3, вып. 4, Л., Наука, 384 с.
- Духанина Н. Н., 1945.** Северная граница распространения тропической малярии в Западной Европе и Европейской части СССР, Медицинская паразитология и паразитарные болезни, т. 14, № 2, с. 3–12.
- Злобин В. И., Данчинова Г. А., Сунцова О. В., Бадужева Л. Б., 2004.** Климат как один из факторов, влияющих на уровень заболеваемости клещевым энцефалитом, в кн.: Изменение климата и здоровье России в XXI веке. Сборник материалов международного семинара (5–6 апреля 2004 г., под ред. Н. Ф. Измерова, Б. А. Ревича, Э. И. Коренберга, М., Издательское товарищество “АдамантЪ”, с. 121–124.
- Кавры В., Болтунов А. М., 2006.** Наблюдения коренных жителей прибрежных районов Чукотского автономного округа об изменении климата: WWF России, 16 с. (<http://www.wwf.ru/resources/publ/book/196/>).
- Коренберг Э. И., 2004.** Экологические предпосылки возможного влияния изменений климата на природные очаги и их эпидемическое проявление, в кн.: Изменение климата и здоровье России в XXI веке. Сборник материалов международного семинара 5–6 апреля 2004 г., под ред. Н. Ф. Измерова, Б. А. Ревича, Э. И. Коренберга, М., Издательское товарищество “АдамантЪ”, с. 54–67.
- Кухарчик Г. А., Головина Е. Г., Тенилова О. В., Реймова Ю. В., Павлова Г. В., Ступишина О. М., 2004.** Внезапная кардиальная смерть в Санкт-Петербурге и климатические факторы, в кн.: Изменение климата и здоровье России в XXI веке. Сборник материалов международного семинара 5–6 апреля 2004 г., под ред. Н. Ф. Измерова, Б. А. Ревича, Э. И. Коренберга, М., Издательское товарищество “АдамантЪ”, с. 205–211.
- Лейзерман Л. И., 1943.** Малярия, Сталинабад, 174 с.
- Лобзин Ю. В., Козлов С. С., 2004.** Изменения климата как один из факторов, определяющих расширение спектра паразитарных болезней в вооруженных силах РФ, в кн.: Изменение климата и здоровье России в XXI веке. Сборник материалов международного семинара 5–6 апреля 2004 г., под ред. Н. Ф. Измерова, Б. А. Ревича, Э. И. Коренберга, М., Издательское товарищество “АдамантЪ”, с. 166–170.
- Лысенко А. Я., Кондрашин А. А., Ежов М. Н., 2003.** Маляриология, М., Открытые системы, 512 с.
- Лялина Л. В., 2004.** Проблемы оценки влияния глобальных изменений климата на эпидемический процесс, в кн.: Изменение климата и здоровье России в XXI веке. Сборник материалов международного семинара 5–6 апреля 2004 г., под ред. Н. Ф. Измерова, Б. А. Ревича, Э. И. Коренберга, М., Издательское товарищество “АдамантЪ”, с. 80–84.
- Маркович Н. Я., Артемьев М. М., Дарченкова Н. Н., 2001.** Видовой состав и географическое распространение основных переносчиков малярии — комаров комплекса *An. maculipennis* в России, РЭТ-ИНФО, № 3, с. 5–9.
- Новиков С. М., Аксенова О. И., Семутникова Е. Г., Волкова И. Ф., Корниенко А. П., Скворцов С. А., Шашина Т. А., Скворцова Н. С., Скавронская С. А., 2003.** Оценка ущерба здоровью населения Москвы, связанного с загрязнением атмосферного воздуха летом 2002 г., Гигиена и санитария, № 6, с. 99–101.
- Платонов А. Е., 2006.** Влияние погодных условий на эпидемиологию трансмиссивных инфекций (на примере лихорадки Западного Нила в России), Вестник РАМН, № 2, с. 25–29.
- Платонов А. Е., Рудникова Н. А., Лазоренко В. В., Журавлев В. И., 2004.** Влияние погодных условий на эпидемиологию лихорадки Западного Нила в южных регионах России, в кн.: Изменение климата и здоровье России в XXI веке. Сборник материалов международного семинара 5–6 апреля 2004 г., под ред. Н. Ф. Измерова, Б. А. Ревича, Э. И. Коренберга, М., Издательское товарищество “АдамантЪ”, с. 113–121.
- Платонова Л. В., Михеев В. Н., Локтев В. Б., Кононова Ю. В., Шестопалов А. М., Дупал Т. А., 2006.** О первых результатах эпидемиологического мониторинга лихорадки Западного Нила в Новосибирской области, Сибирь-Восток, № 3, с. 45–48.
- Рахманин Ю. А., Новиков С. М., Скворцова Н. С., Кислицин В. А., 2004.** Критерии оценки погодных условий и загрязнения атмосферного воздуха на здоровье населения, в кн.: Изменение климата и здоровье России в XXI веке. Сборник материалов международного семинара 5–6 апреля 2004 г., под ред. Н. Ф. Измерова, Б. А. Ревича, Э. И. Коренберга, М., Издательское товарищество “АдамантЪ”, с. 171–175.
- Ревич Б. А., 2006.** Потепление климата — новая проблема общественного здоровья приполярного населения, материалы 13 Международного конгресса по приполярной медицине, Новосибирск, с. 223.
- Ревич Б. А., Шапошников Д. А., 2004.** Высокие температуры воздуха в городах — реальная угроза

- здоровью населения, в кн.: Изменение климата и здоровье России в XXI веке. Сборник материалов международного семинара 5–6 апреля 2004 г., под ред. Н. Ф. Измерова, Б. А. Ревича, Э. И. Коренберга, М., Издательское товарищество “АдамантЪ”, с. 175–184.
- Ревич Б. А., Шапошников Д. А., 2006.** Климатические условия, качество атмосферного воздуха и смертность населения Москвы в 2000–2006 годах, в кн.: Климат, качество атмосферного воздуха и здоровье москвичей, под ред. Б. А. Ревича, М., Издательское товарищество “АдамантЪ”, с. 102–140.
- Ревич Б. А., Шапошников Д. В., Галкин В. Т., Крылов С. А., Черткова А. Б., 2005.** Воздействие высоких температур атмосферного воздуха на здоровье населения в Твери, Гигиена и санитария, № 2, с. 20–24.
- Семенов С. М., Гельвер Е. С., 2002а.** Изменение годового хода среднесуточной температуры воздуха на территории России в XX веке, Доклады РАН, Геофизика, т. 386, № 3, с. 389–394.
- Семенов С. М., Гельвер Е. С., 2002б.** Синусоидальная аппроксимация годового хода среднесуточной температуры воздуха на территории России в XX веке, Метеорология и гидрология, № 11, с. 25–30.
- Семенов С. М., Ясюкевич В. В., Гельвер Е. С., 2006.** Выявление климатогенных изменений, М., Издательский центр “Метеорология и гидрология”, 324 с.
- Соколова Н. Г., 1976.** К истории ликвидации малярии в Архангельской области, в кн.: Вопросы эпиднадзора в отношении малярии, Л., с. 82–85.
- Хайнес А., Коватс Р. С., Кемпбелл-Лендрум Д., Корвалан К., 2004.** Изменение климата и здоровье человека — воздействия, уязвимость и адаптация, Труды Всемирной конференции по изменению климата, Москва, 29 сентября — 3 октября 2003 г., М., Новости, с. 307–322.
- Ясюкевич В. В., 2002.** Малярия в России и ее ближайшем географическом окружении: анализ ситуации в связи с предполагаемым изменением климата, в кн.: Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем, СПб, Гидрометеиздат, т. 18, с. 142–157.
- Bogoslovskaya L. S., 1996.** Role of Whaling in the Modern Life of Eskimos and Chukchi in Eastern Chukotka, Report to Inuit Circumpolar Conference (ICC), Preprint, 145 p.
- Climate Change 2001, 2001.** Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change, McCarthy J. J. et al. (eds.), Cambridge University Press, 1032 p.
- Climate Chang 2007, 2007.** Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Parry M. L., Canziani O. F., Palutikof J. P., van der Linden P. J., and Hanson C. E., eds., Cambridge, UK, Cambridge University Press, 976 p.
- Chang C. C., Wang Y. C., Wu J., Liu C. M., Sung F. C., Huang Y., Lin W. Y., and Chuang C. Y., 2006.** The impact of climate change on gastrointestinal diseases in Taiwan, Int. Conf. on Environmental Epidemiology and Exposure, ISEE/ISEA, Paris, Sept. 2–6, p. 406.
- Conti S., Meli P., Minelli G., Solimini R., Toccaceli V., Vichi M., Beltrano C., and Perini L., 2005.** Epidemiologic study of mortality during the summer 2003 heat wave in Italy, Environ. Res., vol. 98, No. 3, pp. 390–399.
- D’Souza R., Hall G., Becker N., Vally H., and Hanigan I., 2006.** Effect of ambient temperature and age on salmonella notifications in Australia, Int. Conf. on Environmental Epidemiology and Exposure, ISEE/ISEA, Paris, Sept. 2–6, p. 330.
- De U. S., Khole M., and Dandekar M., 2004.** Natural hazards associated with meteorological extreme events, Natural Hazards, vol. 31, pp. 487–497.
- De U. S. and Mukhopadhyay R. K., 1998.** Severe heat wave over the Indian subcontinent in 1998, in perspective of global climate, Curr. Sci., vol. 75, pp. 1308–1315.
- Furgal C., Martin D., and Gosselin P., 2002.** Climate change in Nunavik and Labrador: Lessons from Inuit knowledge, in: The Earth is Faster Now: Indigenous Observations on Arctic Environmental Change, Krupnik I. and Jolly D. (eds.), ARCUS, Washington DC, pp. 266–300.
- Furgal C. and Seguin J., 2006.** Climate change, health, and vulnerability in Canadian northern aboriginal communities, Environm. Health Perspectives, vol. 114, No. 12, pp. 1964–1970.
- Geographical Distribution of Arthropod-borne Diseases and their Principal Vectors, 1989.** WHO/VBC/89.967, Geneva, 134 p.
- Grize L., Huss A., Thommen O., Schindler C., and Braun-Fahrlander C., 2005.** Heat wave 2003 and mortality in Switzerland, Swiss Medical Weekly, vol. 135, pp. 200–205.
- Hu W., Connell D., Connell D., Mengersen K., and Tong S., 2006.** Climate variability and the transmission of cryptosporidiosis, Int. Conf. on Environmental Epidemiology and Exposure, ISEE/ISEA, Paris, Sept. 2–6, p. 412.
- INVS (Impact sanitaire de la vague de chaleur d’aout 2003 en France. Bilan et perspectives), 2003.** Health impact of the heat wave in August 2003 in France. Institut de Veille Sanitaire, Saint-Maurice, 120 p.
- Jagai J. S., Kosheleva A. A., Castronovo D. A., Chui K. H., and Naumova E. N., 2006.** Climate and

- water type as indicators for gastroenteric infections in the US Elderly, Int. Conf. on Environmental Epidemiology and Exposure, ISEE/ISEA, Paris, Sept. 2–6, p. 329.
- Johnson H., Kovats R. S., McGregor G. R., Stedman J. R., Gibbs M., Walton H., Cook L., and Black E., 2005.** The impact of the 2003 heatwave on mortality and hospital admissions in England, Health Statistics Quarterly, vol. 25, pp. 6–12.
- Kochnev A. A., 2004.** Warming of Eastern Arctic and present status of the Pacific Walrus (*Odobenus rosmarus divergens*) population, in: Marine Mammals of the Holarctic. Collection of Sci. Papers, Third Int. Conf., Koktebel, Crimea, Ukraine, October 11–17, 2004, Moscow, KMK, pp. 284–288.
- Kovats S., 2006.** Social and environmental determinants of heat-related mortality: A systematic review, Int. Conf. on Environmental Epidemiology and Exposure, ISEE/ISEA, Paris, Sept. 2–6, p. 73.
- Kramer L. D., Hardy J. L., and Presser S. B., 1983.** Effects of temperature on extrinsic incubation of the vector competence of *Culex tarsalis* for western equine encephalomyelitis virus, American J. of Tropical Medicine and Hygiene, vol. 32, pp. 1130–1139.
- Lieshout van M., Kovats R. S., Livermore M. T. J., and Martens P., 2004.** Climate change and malaria: Analysis of the SRES climate and socio-economic scenarios, Global Environmental Change, vol. 14, pp. 87–99.
- Martens P., Kovats R. S., Nijhof S., de Vries P., Livermore M. T. J., Bradley D. J., Cox J., and McMichael A. J., 1999.** Climate change and future populations at risk of malaria, Global Environmental Change, vol. 9, pp. 89–107.
- McGeehin M. A. and Mirabelli M., 2001.** The potential impacts of climate variability and change on temperature-related morbidity and mortality in the United States, Environ. Health Perspect, vol. 109, suppl. 2, pp. 185–189.
- Medina-Ramon M., Zannobetti A., Cavanagh Dp., and Schwartz J., 2006.** Modifiers of the effect of extreme temperatures on mortality: A multi-city case-only analysis, Int. Conf. on Environmental Epidemiology and Exposure, ISEE/ISEA, Paris, Sept. 2–6, 74 p.
- Michelozzi P., de Donato F., Accetta G., Forastiere F., D'Ovidio M., and Kalkstein L.S., 2004.** Impact of heat waves on mortality, Rome, Italy, June–August 2003, J. American Med. Ass., No. 291, pp. 2537–2538.
- Michelozzi P., Acceta G., Ippoliti D., D'Ovidio M., Perucci C. F., Ballester F., Bisanti L., Goodman P., and Schinder C., 2006.** Short term effects of apparent temperature on hospital admissions in European cities: Results from the PHEWE project, Int. Conf. on Environmental Epidemiology and Exposure, ISEE/ISEA, Paris, Sept. 2–6, p. 425.
- Mohanty P. and Panda U., 2003.** Heatwave in Orissa: A study based on heat indices and synoptic features, in: Heatwave Conditions in Orissa, Regional Reserach Laboratory, Institute of Mathematics and Applications, Bhubaneswar, India, 15 p.
- Patz J. A., McGeehin M. A., Bernard S. M., Ebi K. L., Epstein P. R., Grambsch A., Gubler D. J., and Reiter P., 2000.** The potential health impacts of climate variability and change for the United States: Executive summary of the report of the health sector of the U.S. National Assessment, Environmental Health Perspectives, vol. 108, pp. 367–376.
- Plan Canicule. Dossier de presentation. Ministere de la Sante et de la protection sociale, 2004.** 46 p.
- Reiker P., 1998.** Global-warming and vector-borne disease in temperate regions and at high altitude, Lancet, No. 9105, pp. 839–840.
- Reisen W. K., 1995.** Effects of temperature on *Culex tarsalis* (*Diptera: Culicidae*) from the Coachella and San Joaquin Valleys of California, J. Medical Entomology, vol. 32, No. 5, pp. 636–645.
- Reisen W. K., Meyer R. P., Presser S. B., and Hardy J. L., 1993.** Effects of temperature on the transmission of Western Equine encephalomyelitis and St. Louis encephalitis viruses by *Culex tarsalis* (*Diptera: Culicidae*), J. Medical Entomology, vol. 30, pp. 151–160.
- Smoyer K. E., 1998.** A comparative analysis of heat waves and associated mortality in St. Louis, Missouri — 1980 and 1995, Int. J. Biometeorol., No. 1, pp. 44–50.
- Vandentorren S., Suzan F., Medina S., Pascal M., Maulpoix A., Cohen J.-C., and Ledrans M., 2004.** Mortality in 13 French cities during the August 2003 heatwave, American J. Public. Health, vol. 94, pp. 1518–1520.
- Watts D. M., Burke D. S., Harrison B. A., Whitmore D. E., and Nisalak A., 1987.** Effect of temperature on the vector efficiency of *Aedes aegypti* for Dengue 2 virus, American J. Tropical Hygiene, vol. 36, pp. 143–152.
- Zhang Y., Bi P., and Hiller J., 2006.** Climatic variables and the transmission of bacillary dysentery: Any differences between northern and southern China?, Int. Conf. on Environmental Epidemiology and Exposure, ISEE/ISEA, Paris, Sept. 2–6, 325 p.

2.6. ПРИРОДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ СУШИ

Ведущие авторы: Е. А. Ваганов, А. Н. Золотокрылин, А. В. Пчелкин

Авторы: Ю. А. Анохин, И. Г. Грингоф, А. А. Минин, М. М. Наурзбаев, О. Д. Сиротенко, А. В. Шашкин, В. В. Шишов, С. Г. Шиятов, В. И. Харук

Редактор-рецензент: А. В. Голубев

2.6.1. Общая характеристика

Климатические факторы, особенно термические, оказывают прямое влияние на состояние и функционирование компонентов наземных экосистем, на географическое распределение биоты, ее сезонные изменения, видовой состав экосистем, биоразнообразие и продуктивность. Опосредствованно воздействие климата на биологические системы оказывается через комплекс геофизических и геохимических факторов, подверженных влиянию изменений и изменчивости климата.

Биологические виды в процессе эволюции и коэволюции приобрели механизмы адаптации к постепенно происходящим долгосрочным изменениям этих факторов. Степень уязвимости экосистем к изменению климата зависит от установившегося характера взаимодействия между их биотической и абиотической составляющими, от структурных и функциональных взаимосвязей в экосистеме.

Некоторые последствия изменения климата для природных экосистем суши установлены уже сейчас, другие наметились в виде тенденции. Особенно заметны изменения экотонов. Наблюдающиеся изменения в экосистемах напрямую связаны с лимитирующими климатическими факторами, к которым относятся: температура и влажность воздуха, поток фотосинтетически активной радиации (ФАР), условия транспирации, климатозависимые параметры почвы (влажность, наличие доступных биогенных веществ). В прибрежных районах важную роль играет уровень моря. Изменения этих параметров — причины многих наблюдаемых изменений в природных экосистемах суши.

2.6.2. Фенологические события у растений

Детальные систематические наблюдения за фенологическими событиями жизни растений, проводимые в заповедниках России, указывают на заметное изменение дат наступления этих событий. Ниже приводится описание некоторых из них, опубликованное в работе (Влияние изменения климата..., 2001).

В Приокско-Террасном заповеднике для ряда видов растений выявлены значительные изменения сроков наступления фенофаз за весь период наблюдений (1948–1998 гг.) и за 30-летний “опор-

ный” период (1961–1990 гг.). Для фенологических событий начала весны характерно статистически достоверное смещение их наступления к более ранним датам. Так, на 19 суток стало раньше наступать сокодвижение у березы бородавчатой *Betula pendula*, на 10–15 суток раньше вступают в фазу цветения такие травянистые растения, как одуванчик лекарственный *Taraxacum officinale* и мать-и-мачеха *Tussilago farfara*. В то же время наиболее характерные события периода разгара весны, такие как распускание листьев у березы бородавчатой и зацветание черемухи обыкновенной *Prunus padus* (и ряд других), не продемонстрировали существенных тенденций к направленным изменениям, а события окончания весны и предлетья, такие как зацветание сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* и рябины обыкновенной *Sorbus aucuparia* (средние многолетние сроки наступления этой фазы приходятся на конец мая), стали наблюдаться позже на 13 и 6 суток соответственно. Такое летнее явление, как зацветание вереска обыкновенного *Calluna vulgaris*, стало наступать позже на 14 суток.

В последнее время в Тебердинском заповеднике у многих видов древесно-кустарниковых растений отмечаются тенденции к более ранним срокам наступления весенних фенофаз (рис. 2.6.1а, б), однако осенние сроки наступления некоторых фенофаз часто не обнаруживают четких изменений, которые можно было бы ожидать в связи с изменением климата (рис. 2.6.1в). Последнее может быть объяснено в данном случае физиологическими особенностями сезонного развития древесно-кустарниковых видов растений — отмирание вегетативных органов происходит по иным, не климатическим причинам (Онищенко и др., 2001).

В Ильменском заповеднике в 1970–1999 гг. смещение событий зацветания растений к более ранним датам отмечено у первоцвета *Primula macrocalyx* (12 суток), мать-и-мачехи *Tussilago farfara* (14 суток), иван-чая *Chamanerion angustifolium* (6 суток), сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* (событие пыления — 5 суток), черемухи обыкновенной *Prunus padus* (2 суток). Сроки событий начала зеленения и сокодвижения у берез остались неизменными; рябина обыкновенная стала зацветать на 4 суток позже. Так же мало изменились за последние 30 лет XX века даты начала пыления березы *Betula pendula* и зацветания шиповника иглистого *Rosa acicularis* (Гордиенко, Минин, 2006).

В последние годы все чаще наблюдаются затянувшиеся вегетационные сезоны у травянистых растений и кустарниковых пород. Это проявляется, в частности, в набухании и даже распускании

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

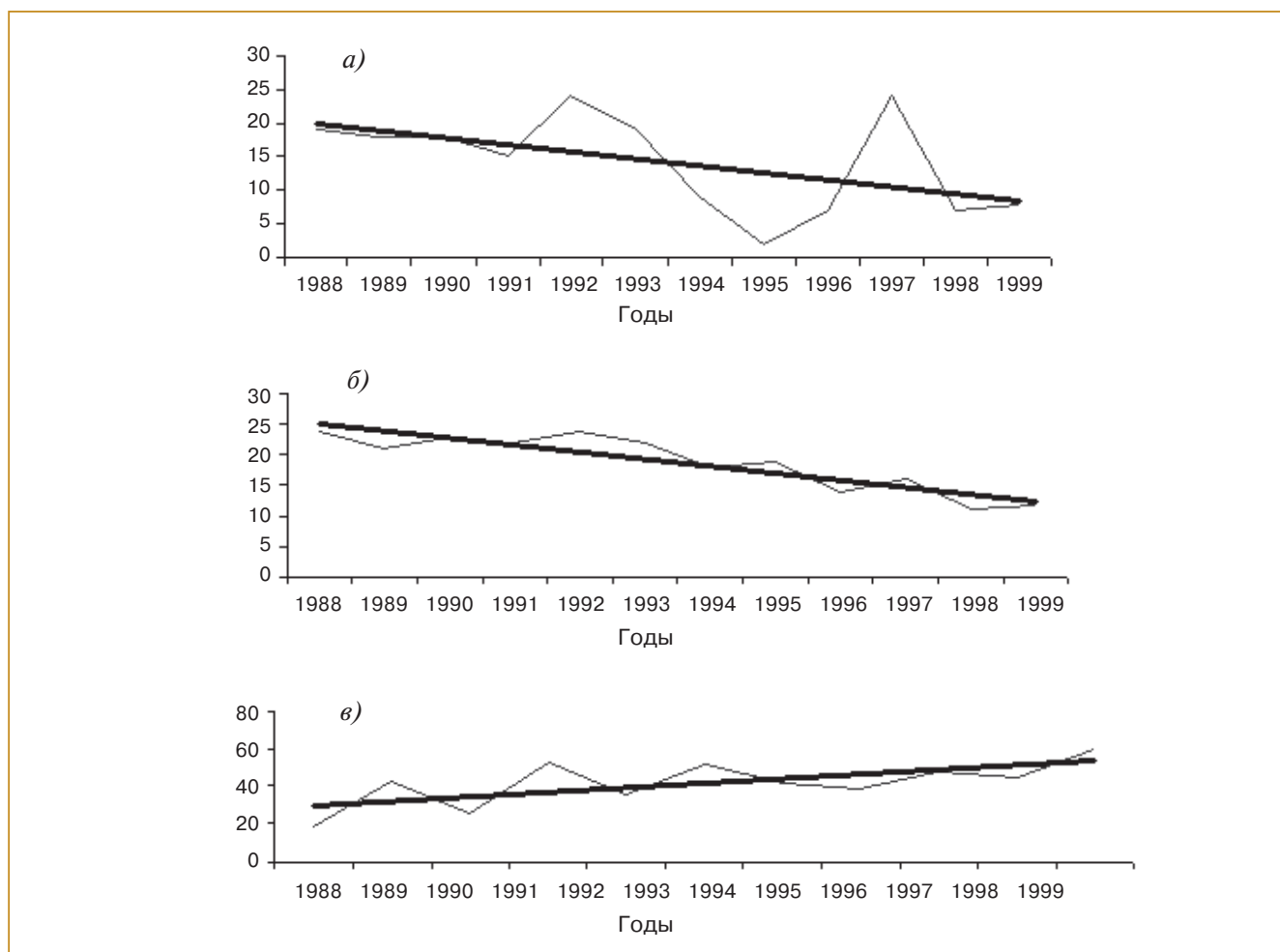


Рис. 2.6.1. Изменение сроков наступления фенофаз древесно-кустарниковых видов растений в Тебердинском заповеднике в конце XX века. а) распускание листьев у березы бородавчатой; б) распускание листьев у рябины обыкновенной; в) пожелтение листьев у шиповника. По оси ординат на рисунках а и б — порядковый номер суток в апреле, на рисунке в — дни, отсчитываемые от 1 августа; прямые линии — линейные тренды (Онищенко и др., 2001).

почек осенью, вторичном цветении. По сообщению из Воронежского заповедника, в 2000 г. вторично плодоносила малина (Венгеров и др., 2001). Эти явления неблагоприятны для растений, поскольку неизбежное в холодный период года (пусть даже в ослабленной форме) понижение температуры прекратит вторичное развитие, и растение будет сильно ослаблено к началу периода “законной” вегетации весной будущего года (Венгеров и др., 2001).

Наиболее общей тенденцией является смещение в сторону более ранних дат времени наступления ряда ранне- и средневесенних фенологических фаз растений. Фактические данные для некоторых фенологических явлений по центральной части Европейской территории России и их оценка приведены ниже (Минин, 2000а, 2000б; Воскова, 2006).

На рис. 2.6.2 в картографической форме представлены значения смещения сроков распускания первых листьев у березы бородавчатой за период с середины 1960-х годов до конца XX века. Как видно на рисунке, однозначных повсеместных ожидаемых в связи с потеплением реакций не наблюдалось. Так, на севере региона облиствение березы стало наступать раньше на 7–8 суток, тогда как на юге — на 1–2 суток.

Изменения сроков событий поздней весны, таких как зацветание рябины обыкновенной, знаменующие начало лета, проявляются еще в большей степени неопределенно. Так, по данным работ (Волков и др., 2001; Гордиенко, Леванова, 2001) в Башкирском и Ильменском заповедниках это событие стало наступать позже. В центральной части региона выявлены слабые тенденции на установление более ранних сроков зацветания ря-

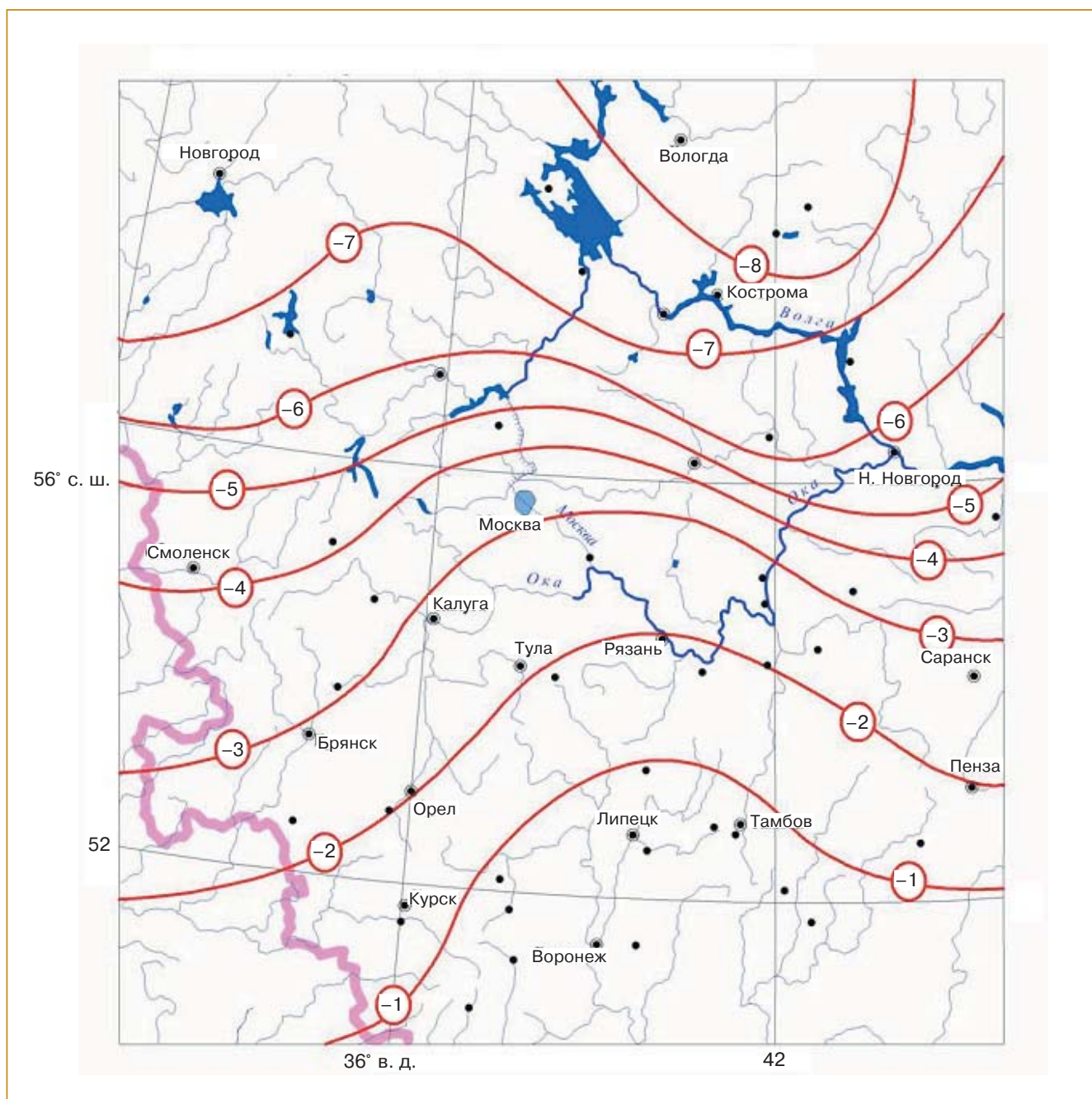


Рис. 2.6.2. Изолинии смещения сроков (сутки) разворачивания первых листьев у березы бородавчатой на ЕТР за период 1970–2000 гг. Точками показаны пункты фенологических наблюдений (Минин, 2000а, 2000б; Воскова, 2006).

бины (рис. 2.6.3) (Минин, 2000а, 2000б; Воскова, 2006).

На рис. 2.6.4 представлены результаты анализа данных фенологического мониторинга по событиям окончания листопада у березы бородавчатой в центре ЕТР. Повсеместно наблюдается смещение сроков в сторону зимы, причем на севере оно более значительно (5–6 суток), тогда как на юге — всего на 2–3 суток. В целом это свидетельствует о

фактическом увеличении продолжительности периода активной вегетации древесных растений в отдельных субрегионах за рассматриваемый период (Минин, 2000а, 2000б; Воскова, 2006).

Сопоставление тенденций смещения разных весенних и осенних фенодат для одних и тех же пород деревьев часто обнаруживает их разнонаправленность. Так, за 1961–1990 гг. (Осипов и др., 2001) на территории Приокско-Террасного запо-

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

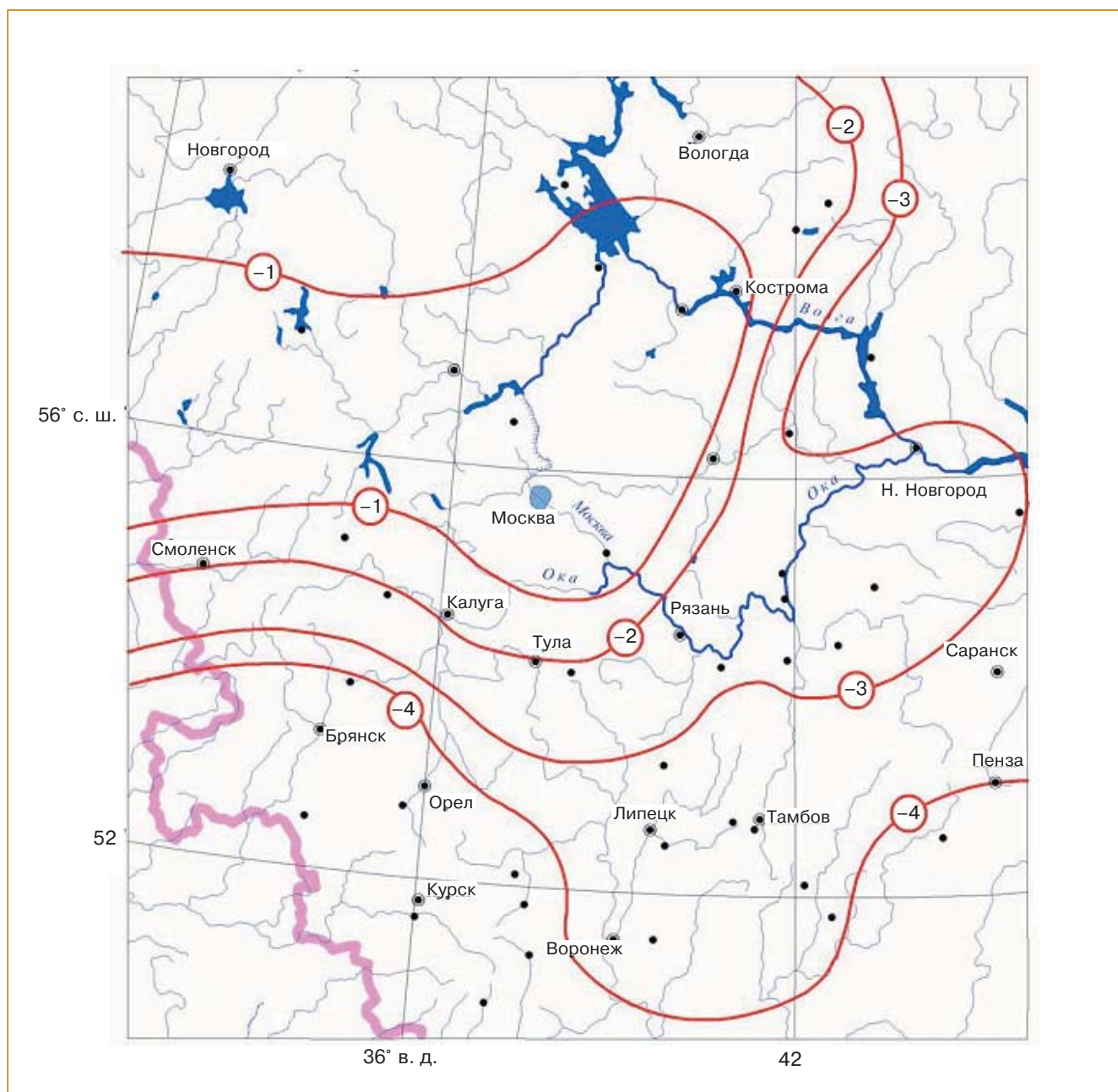


Рис. 2.6.3. Смещение сроков (сутки) зацветания у рябины обыкновенной на ЕТР за период с середины 1960-х годов до конца XX века. Точками показаны пункты фенологических наблюдений (Минин, 2000а, 2000б; Воскова, 2006).

ведника период вегетации березы бородавчатой (от начала сокодвижения до окончания листопада) удлинился примерно на 2 недели за счет “весны”, однако период от распускания листьев до начала их пожелтения сократился практически на месяц. Это также характерно для черемухи обыкновенной *Prunus padus* (2 недели), рябины обыкновенной *Sorbus aucuparia* (9 суток), в меньшей степени — для дуба черешчатого *Quercus robur* и лещины *Corylus avellana* (Осипов и др., 2001).

Таким образом, в отличие от “формального” вегетационного периода — от начала сокодвижения до окончания листопада — период активной вегетации древесных пород, обычно происходящий с мая по август – сентябрь, имеет явную тенденцию к сокращению в ряде субрегионов ЕТР.

Недостаточное количество данных фенологического мониторинга по Азиатской части территории России не позволяет провести подобный анализ для всей территории страны. Однако некото-

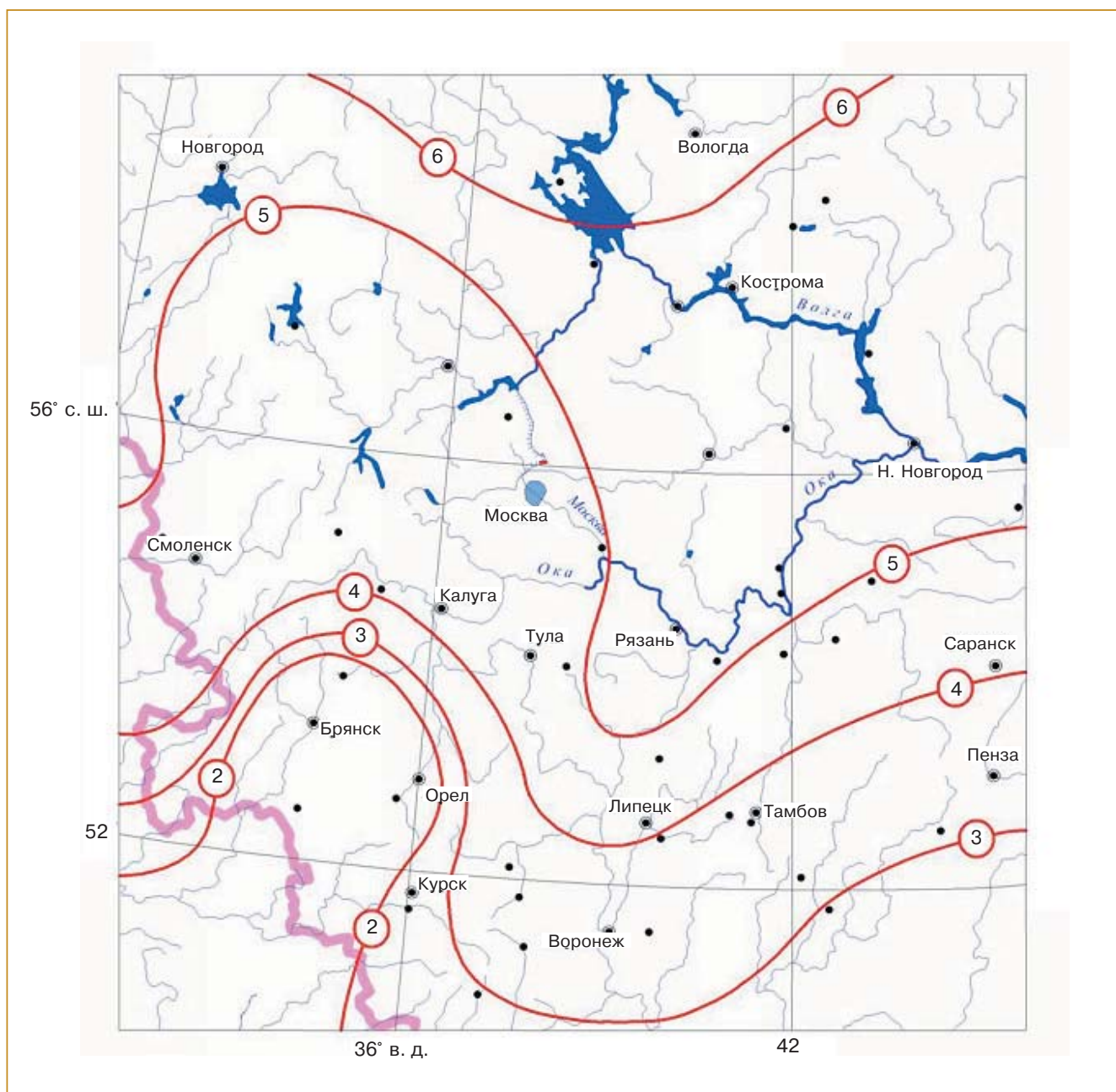


Рис. 2.6.4. Изолинии смещения сроков окончания листопада у березы бородавчатой на ЕТР за период 1970–2000 гг. Точками показаны пункты фенологических наблюдений (Минин, 2000а, 2000б; Воскова, 2006).

рую информацию можно получить расчетными методами, используя имеющиеся в научных публикациях зависимости сроков наступления фенологических событий у растений со значениями гидрометеорологических величин. Так, в работе (Семенов и др., 2006) приведена расчетная карта изменения даты распускания листьев у осины *Populus tremula* в 1966–1995 гг. по сравнению с 1936–1965 гг. Оценка выполнялась, исходя из данных мониторинга климата Росгидромета за XX

век, имеющих суточное разрешение. Использовалась связь срока распускания листьев с суммой эффективных температур (см. раздел 2.1.6). Результаты представлены на рис. 2.6.5.

На рисунке видно, что сдвиг рассматриваемой фенодаты имеет различное направление в разных регионах, несмотря на повсеместное потепление в среднегодовом аспекте, кроме некоторых полярных областей (Семенов и др., 2006). Особенно значителен сдвиг в сторону более поздних дат в

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

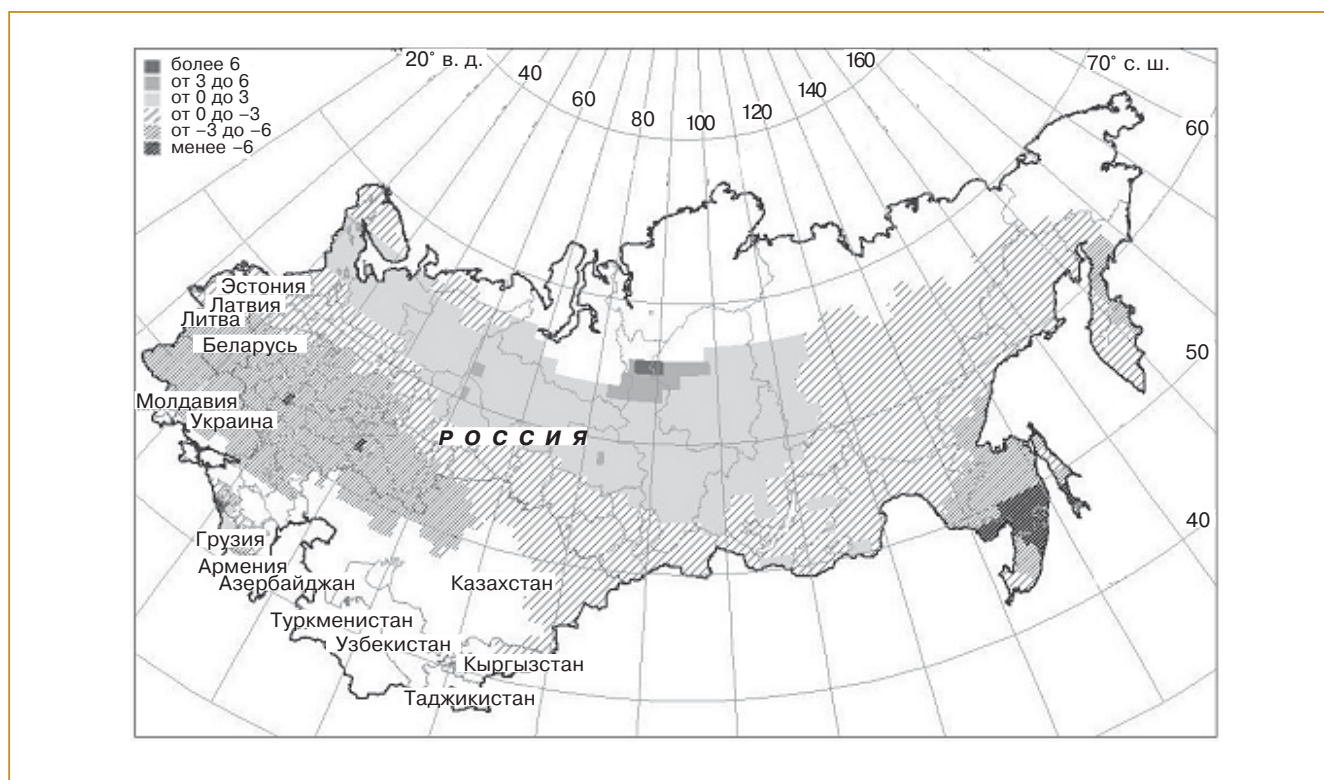


Рис. 2.6.5. Изменение расчетного срока (сутки) события распускания листьев у осины *P. tremula* в 1966–1995 гг. по сравнению с 1936–1965 гг. Сдвиг во времени указан оттенками серого цвета и штриховкой; белый цвет означает, что точка в ареал осины не входит (Семенов и др., 2006).

центре Западной Сибири. Однако масштаб его — субрегиональный.

Таким образом, несмотря на потепление, произошедшее на территории страны в конце XX века в отношении среднегодовых значений температуры воздуха в приповерхностном слое атмосферы, повсеместного ожидаемого сдвига фенологических дат наземных растений не произошло. Причина этого — существенная нелинейность отклика растений на изменение климата (Минин, 1991; Ведюшкин и др., 1995; Семенов и др., 2004). Они реагируют не на изменение средних параметров климата, а на изменение характеристик годового хода суточных значений, а в ряде случаев — и суточного хода срочных значений метеорологических величин.

2.6.3. Прирост деревьев

Климат существенно влияет на основной процесс жизни растений — фотосинтез. По данным Ю. Л. Цельникер (Цельникер и др., 2002а), продукция древесных пород (если принимать во внимание только деревья, растущие на высокоплодо-

родной почве) на юге ареала колеблется от 0,23 до 0,58 кг углерода с 1 м² поверхности листа в год, а на севере — от 0,14 до 0,29 кг, т. е. снижается приблизительно в 2 раза. Это — оценки максимально возможной продуктивности в естественных условиях. Снижение продуктивности на севере по сравнению с южными регионами связано в основном с малой продолжительностью вегетационного периода.

Интенсивность фотосинтеза существенно зависит от потока фотосинтетически активной радиации (ФАР). Так, судя по экспериментальным данным по району Петрозаводска (Кайбияйнен, Болондинский, 1995), интенсивность фотосинтеза в районе Петрозаводска более чем на 90% определяется потоком ФАР. Аналогичные результаты получены по Подмосковию и Тверской области для ели: там варьирование потока ФАР обуславливает 60% и более варьирования интенсивности фотосинтеза (Цельникер и др., 2002б).

В том случае, когда не поток ФАР, а обычные гидрометеорологические величины (температура, осадки) являются лимитирующими, именно они оказывают существенное воздействие на фотосин-

тез. Так, А. С. Щербатюк и др. (1999) отмечают значительное снижение продукции трех хвойных пород деревьев в Сибири на широте 52° с. ш. в результате засухи. Примерно на той же широте в Воронежской области А. Г. Молчанов и др. (1996) отметили значительное снижение фотосинтеза у дуба под влиянием почвенной и атмосферной засухи.

Наблюдающееся изменение климата оказывает влияние на все основные процессы жизни растений, в том числе на фотосинтез и продуктивность. По данным работы (Алексеев, Марков, 2003), современное глобальное изменение климата приводит к увеличению продуктивности древостоев в России. Наиболее явно этот эффект проявился на мягколиственных породах деревьев. Среднее увеличение объема древесины для средневозрастных, приспевающих и спелых древостоев этой группы пород составило во второй половине XX века 0,5–0,6% их запаса в год (примерно 20–25% за 40 лет).

Измерения параметров деревьев, упомянутых выше, проводились в ходе выполнения научно-исследовательских проектов, и вследствие этого полученные данные характеризуют лишь некоторые части территории страны. Систематические данные, характеризующие влияние изменения климата на прирост деревьев в более широком масштабе, касаются измерений радиального прироста деревьев. Этот показатель связан с обсуждавшимся выше — интенсивностью фотосинтеза и продуктивностью.

В работах (Ваганов и др., 1996; Ваганов, Шиятов, 1999) исследованы древесно-кольцевые хронологии, наиболее чувствительные к изменению температуры — они были получены в ходе дендроклиматического мониторинга на части станций, расположенных в высоких широтах севера Евразии. Результаты анализа данных свидетельствуют о неоднородности реакции прироста древесных растений на повышение температуры.

Неоднородность в пространстве и во времени реакции радиального прироста древесных растений на повышение температуры особенно заметна в региональных древесно-кольцевых хронологиях для двух периодов времени — для первой и второй половины XX века. Это хорошо видно на рис. 2.6.6, где приведены сглаженные кривые радиального прироста (индексы прироста) для трех древесно-кольцевых хронологий, характеризующие регионы Тувы, Индигирки и Таймыра. В 1920–1930-е годы прирост увеличивается примерно с одинаковой скоростью. Однако значения в максимуме различны — как в абсолютном измерении, так и по сравнению со значениями в начале XX века. Значения радиального прироста в минимуме во время его депрессии во второй половине XX века для рассматриваемых трех регионов заметно различаются как по величине, так и по времени наступления — степень синхронизации хода прироста уменьшилась по сравнению с первой половиной XX века.

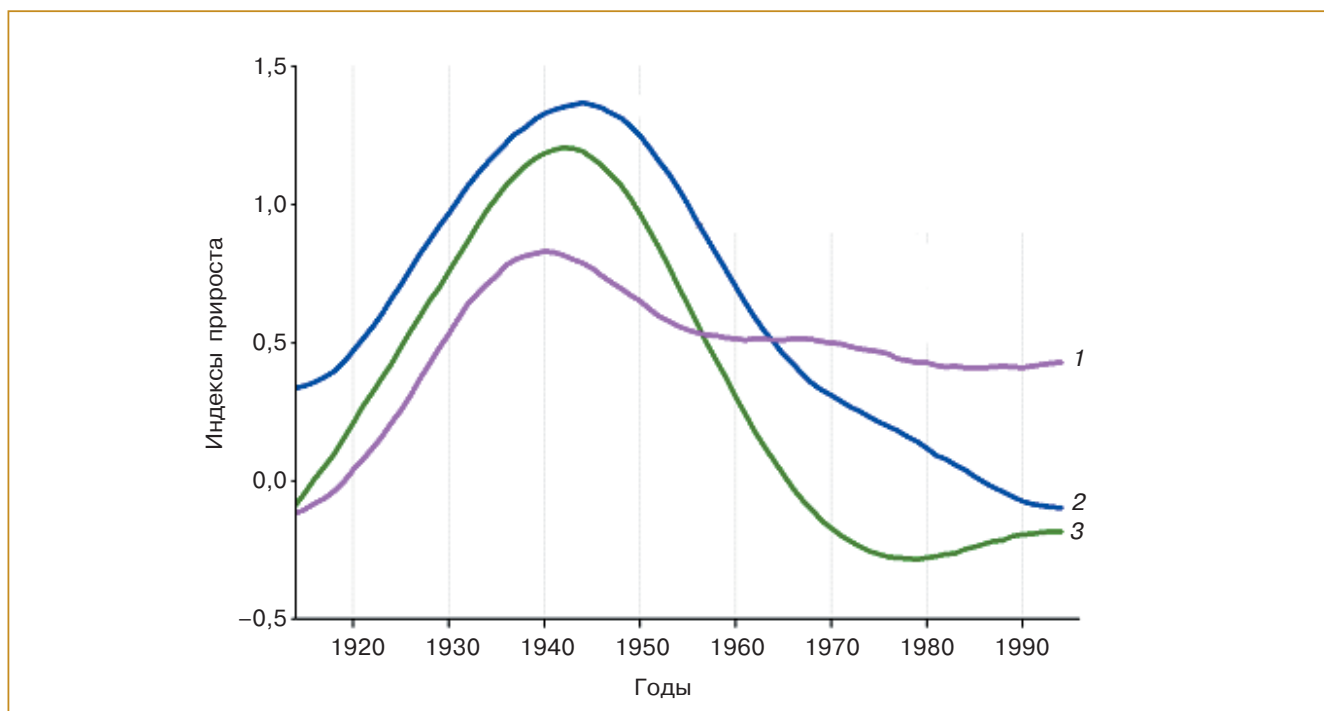


Рис. 2.6.6. Радиальный прирост деревьев (индексы прироста), произрастающих на полярной (1 — Индигирка; 2 — Таймыр) и верхней (в горах Тувы — 3) границах ареала на севере и юге Сибири.

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

Совместный анализ хода индексов прироста деревьев и хода летней температуры показал, что потепление климата в 1920–1940-е годы было более синхронизированным с увеличением прироста деревьев в рассматриваемых регионах, чем для периода конца XX века. В конце XX века реакция деревьев на потепление менее однозначна по сравнению с потеплением в первой половине XX века — региональная специфика стала более выраженной (Ваганов и др., 1996; Ваганов, Шиятов, 1999).

В объяснение снижения прироста деревьев во второй половине XX века (см. рис. 2.6.6) можно предположить, что потепление климата приводит к дисбалансу процессов фотосинтеза и дыхания у деревьев. Повышение температуры в большей степени усиливает дыхание, чем фотосинтез. Это приводит к снижению относительного и абсолютного радиального прироста древесных растений севера Евразии.

В условиях влияния океана сигнал изменчивости климата может обнаруживаться не только при сравнении радиального прироста деревьев со значениями обычных гидрометеорологических величин — температурой и суммой осадков, — но и с показателями, характеризующими океанические процессы. В работе (Соломина и др., 2005) для Курильских островов обнаружена зависимость между индексами прироста дуба *Quercus crispula* и месячными значениями ТДО — тихоокеанской десятилетней осцилляции (PDO — Pacific Decadal Oscillation) за период 1900–2000 гг.

Хронологии лиственницы камчатской *Larix cajanderi* (Камчатка) не обнаруживают явных связей с ТДО, возможно в связи с тем, что они в большей степени, чем кунаширские хронологии, отражают климат внутренней части полуострова и в меньшей степени зависят от температуры поверхности океана.

2.6.4. Границы леса

Фактическая граница леса не соответствует своему потенциально возможному положению, определяемому заданным климатом (климатическая граница). При похолодании граница леса проходит выше (по широте или же высоте) его климатической границы вследствие большей устойчивости средневозрастных, приспевающих и спелых древесных растений по сравнению с подростом. Вследствие этого фактическая граница леса понижается (по широте или же высоте) постепенно, т. е. наблюдается запаздывание изменения положения границы по отношению к изменению климата. При потеплении также наблюдается эффект запаздывания — продвижение леса в тундру лимитируется

плодоношением, распространением и прорастанием семян (всхожесть семян лиственницы весьма низка — 1–3%) и сохранностью подростка. Поэтому при потеплении фактическая граница леса находится ниже (по широте или же высоте) своего потенциального положения — климатической границы. Ниже рассматриваются изменение границы лес — тундра и движение верхней границы леса в горах.

2.6.4.1. Граница лес — тундра

На территории России в некоторых лесотундровых сообществах наблюдается достоверное увеличение облесенных участков и продвижение лесных массивов на север (Шиятов и др., 2005).

На примере самого северного в мире древостоя — урочища Ары-Мас — показано возрастание сомкнутости древостоев и продвижение лиственницы в зону тундры в конце XX столетия (Ваганов и др., 1996; Харук и др., 2006). Эти лесотундровые массивы не подвержены локальному антропогенному воздействию. Причиной наблюдаемых изменений растительности может служить изменение климата Северной Евразии.

Выделяются два основных типа продвижения древесной растительности в тундру:

1) распространение от “материнской стены леса” на величину радиуса разлета семян. Последующая волна расселения может наблюдаться по достижении деревьями возраста плодоношения (т. е. через ~30 лет). Этот тип расселения формирует “диффузную” границу леса;

2) распространение от отдельно стоящих деревьев, куртин или стланиковых форм лиственницы, находящихся за пределами лесной границы (“мозаичная” граница леса).

Данные дешифрирования снимков спутника “Landsat” урочища Ары-Мас за 1973 и 2000 гг. показывают (рис. 2.6.7), что увеличение сомкнутости крон проявляется существенно быстрее, чем экспансия деревьев в тундру (Ваганов и др., 1996; Харук и др., 2006). На рисунке заметно, что в 2000 г. древостой наблюдаются на тех участках урочища, где в 1973 г. были редины и редколесья, что говорит о продвижении границы леса в северном направлении.

В некоторых северных районах отчетливо прослеживается изменение распределения различных лесотундровых сообществ в XX веке. На рис. 2.6.8–2.6.10 показано изменение различных лесотундровых сообществ с 1910 по 2000 г. на Полярном Урале в районах массива Рай-Из и гор Черная и Малая Черная, а также района горы Сланцевая (Шиятов и др., 2005).

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

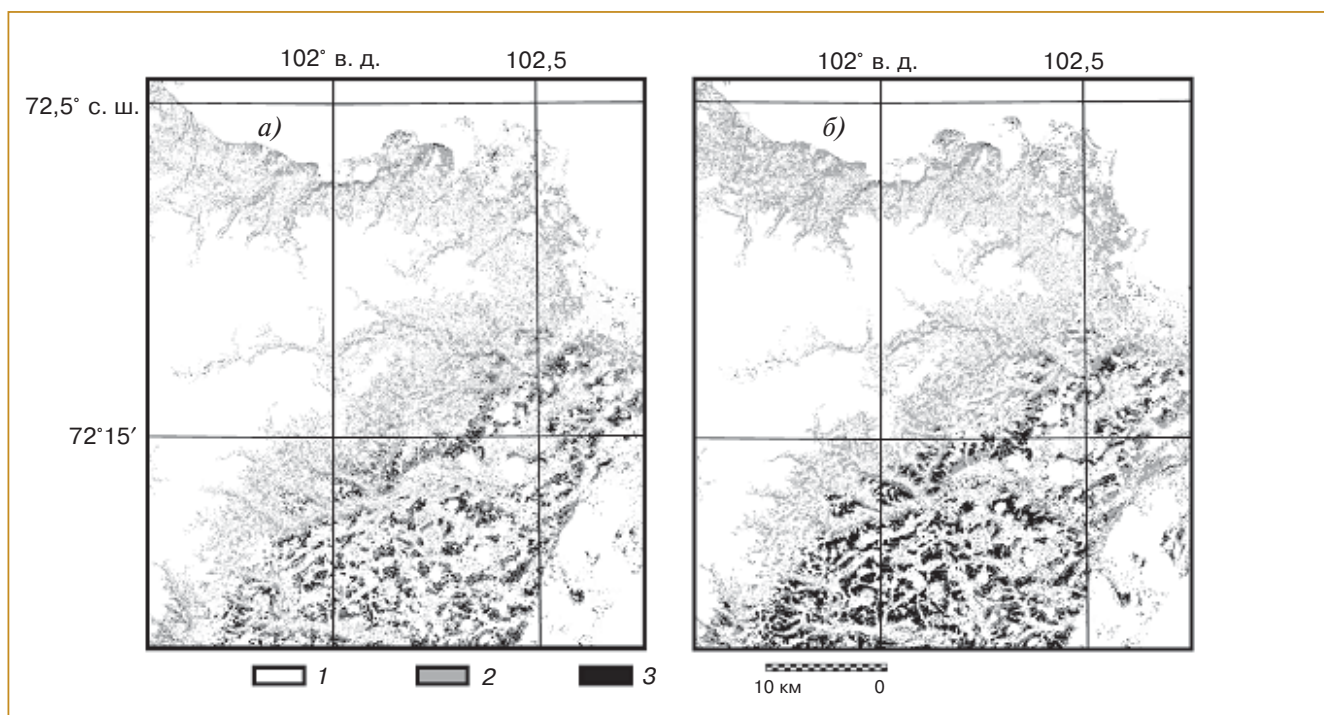


Рис. 2.6.7. Картограммы урочища Ары-Мас (Ваганов и др., 1996; Харук и др., 2006). а) снимок 1973 г.; б) снимок 2000 г.; 1 — фон (тундра и пойма реки), 2 — редины и редколесья (сомкнутость крон < 0,3), 3 — древостои (сомкнутость крон ≥ 0,3).

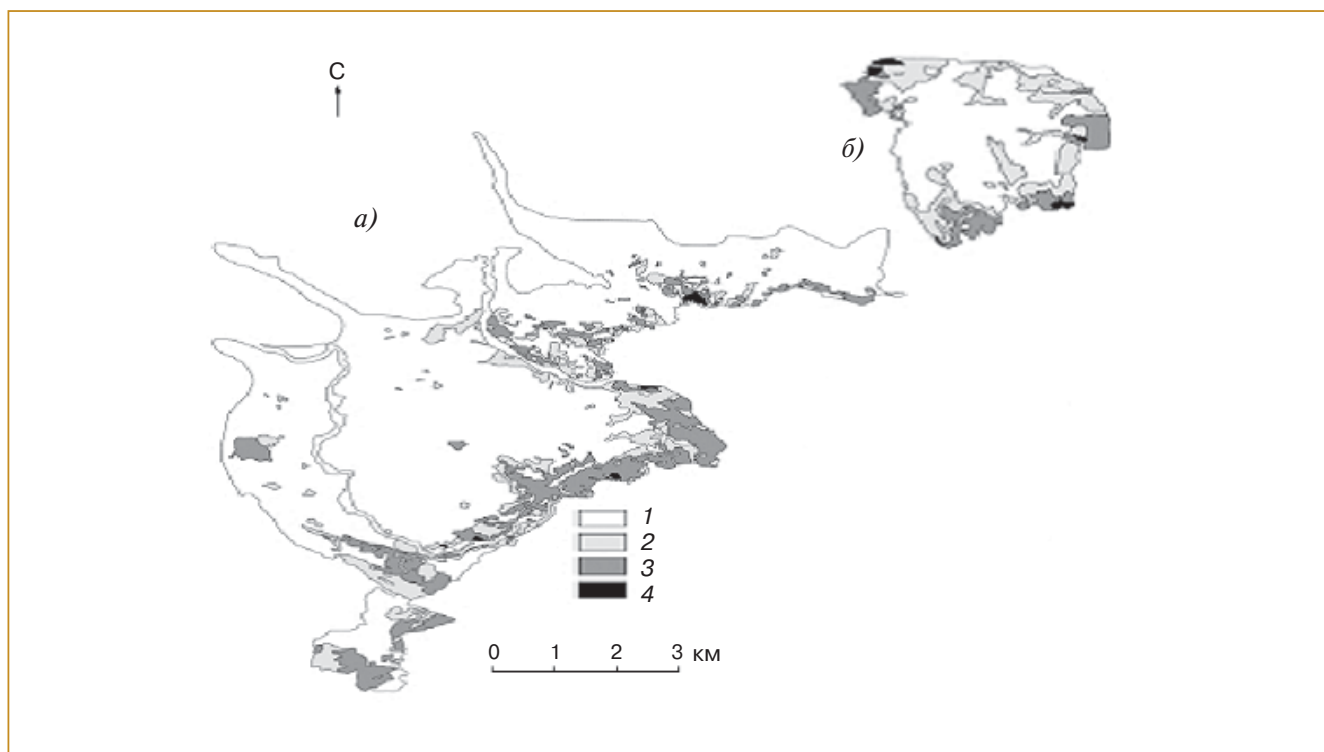


Рис. 2.6.8. Распределение различных типов лесотундровых сообществ в начале 1910-х годов. а) район массива Рай-Из и гор Черная и Малая Черная, б) район горы Сланцевая (восточный макросклон Полярного Урала, бассейн р. Сось, 66°46'–66°55' с. ш., 65°22'–65°49' в. д.). 1 — тундра с одиночными деревьями; 2 — редина; 3 — редколесье; 4 — сомкнутый лес.

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

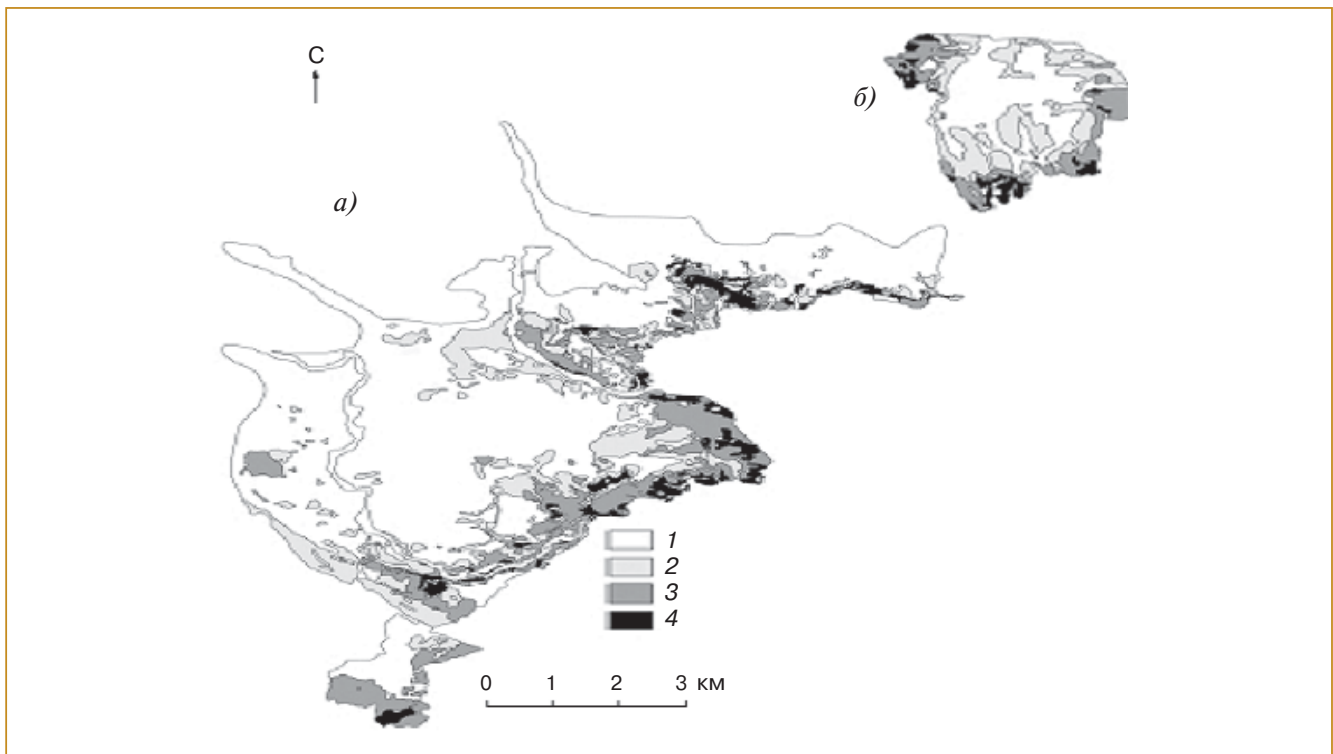


Рис. 2.6.9. Распределение различных типов лесотундровых сообществ в начале 1960-х годов. Пояснения те же, что на рис. 2.6.8.

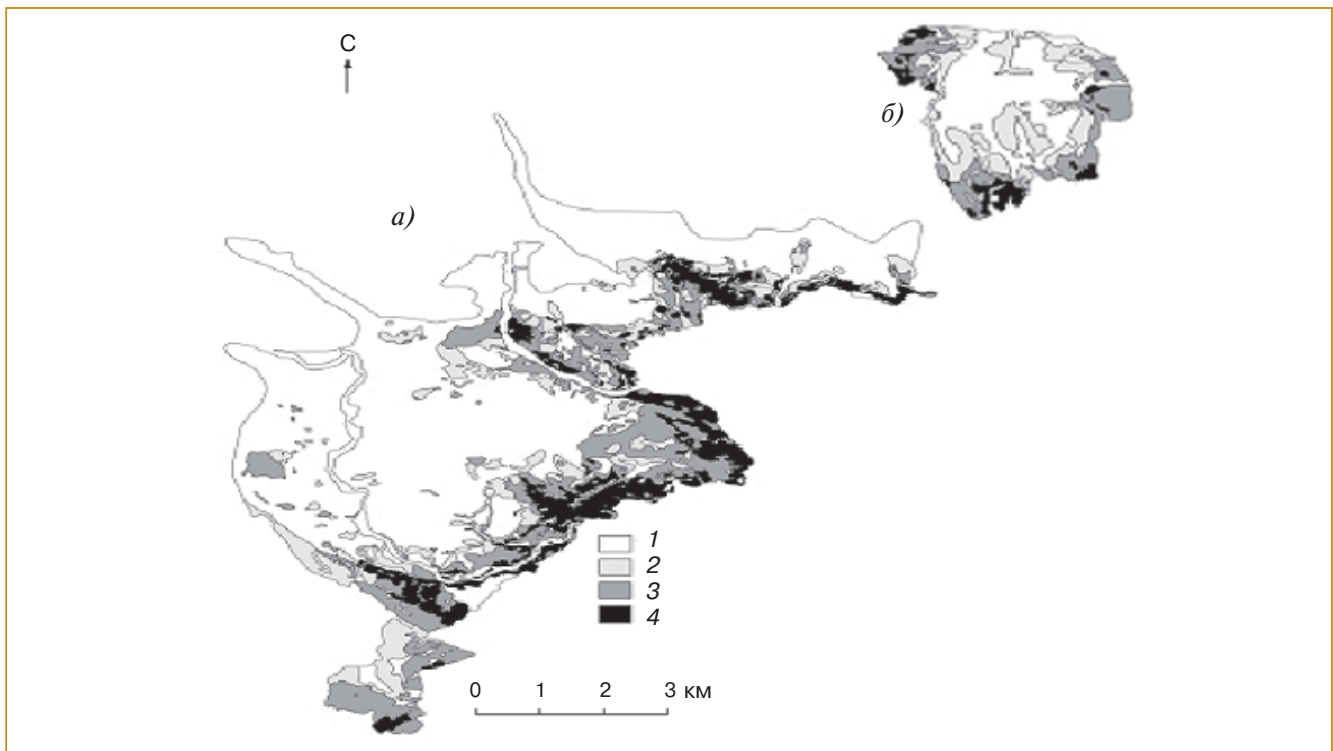


Рис. 2.6.10. Распределение различных типов лесотундровых сообществ в конце XX века. Пояснения те же, что на рис. 2.6.8.

2.6.4.2. Верхняя граница леса в горах

В некоторых горных районах наблюдается заметное изменение высотных границ растительных зон. Так, в горных экосистемах Национального парка “Таганай” (Южный Урал) прослеживается продвижение верхней границы леса вверх (Шиятов и др., 2001). Это обнаружено для нескольких точек высокогорий национального парка при сопоставлении современного распределения растительности с распределением, зафиксированным на старых фотографиях.

В XX веке в пределах подгольцового и в нижней части горно-тундрового поясов происходило энергичное возобновление древесной растительности под пологом редколесий и парковых лесов, а также расселение древесных растений на территориях, которые раньше были заняты луговыми и тундровыми сообществами. Об этом свидетельствуют такие факты, как увеличение лесопокрываемой площади, сомкнутости крон, высоты и диаметра древостоев, превращение стланиковой формы роста деревьев в кустовую, наличие обильного и жизнеспособного подроста преимущественно стволовой формы роста, незначительное количество сухостоя и валежа в древостоях, продвижение верхней границы мелколесий на пологих склонах вверх. Результаты дендрохронологического анали-

за показали, что эти изменения в растительности вызваны изменением климата.

Особенно энергично в Национальном парке “Таганай” возобновлялась и расселялась ель сибирская. В связи с этим в подгольцовом поясе роль ели возросла вследствие уменьшения роли березы. На пологих склонах, где имеется мелкозем или почвенный покров, верхняя граница мелколесий продвинулась выше в горы. Продвижение составило до 60–80 м по вертикали и до 500–600 м по склону. Особенно заметно продвинулась граница мелколесий на северо-западном склоне Дальнего Таганая; здесь имеются пригодные для поселения деревьев местообитания, которые к тому же хорошо обеспечены семенным материалом, так как господствующие западные ветры дуют со стороны облесенной долины р. Шумга вверх по склону. На покрытых каменными россыпями крутых склонах и на переувлажненных ложбинах стока высотное положение верхней границы мелколесий изменилось меньше, зато произошло значительное увеличение сомкнутости и высоты древостоев (рис. 2.6.11).

Анализ временных рядов индексов прироста ели сибирской *Picea obovata*, произрастающей в подгольцовом поясе, показал, что в колебаниях прироста хорошо выражены вековые циклические колебания, обусловленные в основном изменени-

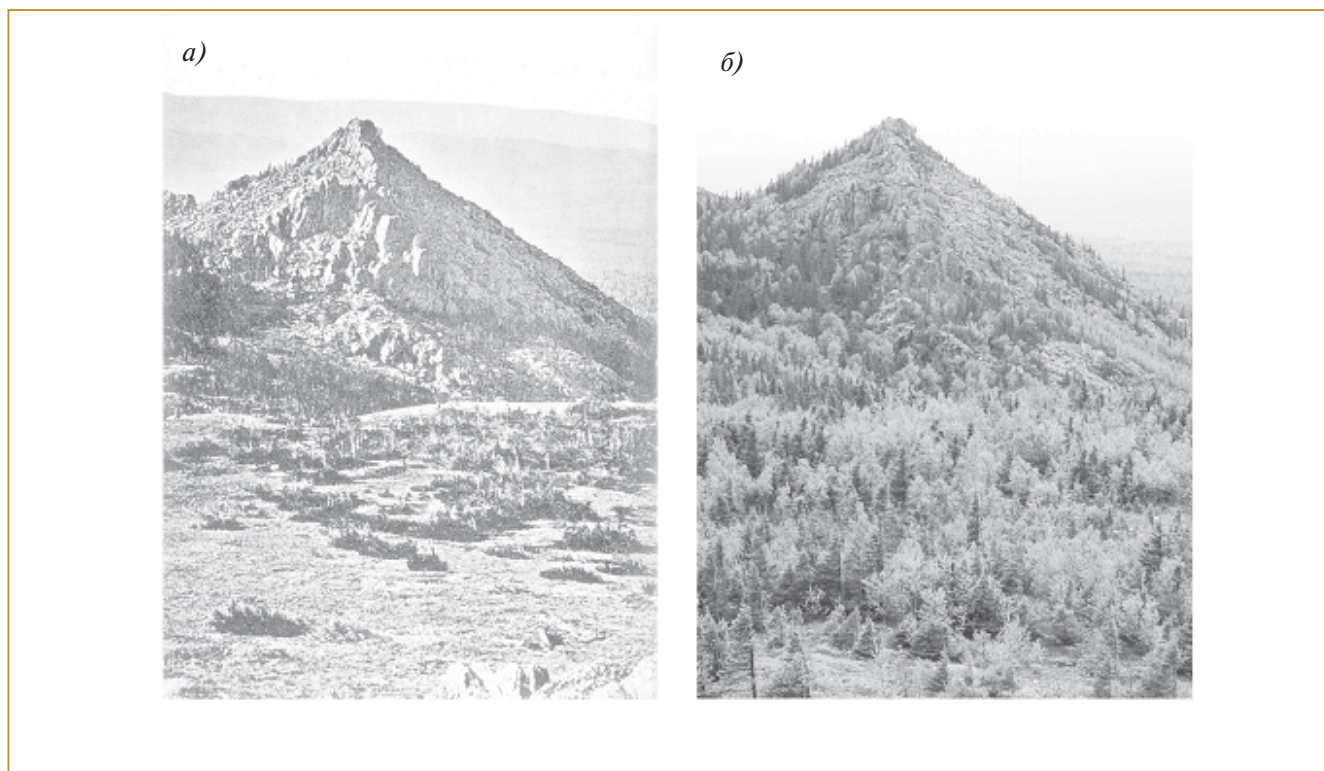


Рис. 2.6.11. Изменение верхней границы леса. Южный Урал, район вершины Три Сестры, 1027,5 м над уровнем моря в 1903 (а) и 2000 гг. (б) (Шиятов и др., 2001).

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

ем климатических условий, в частности термических условий вегетационного периода. Во второй половине XIX — начале XX веков прирост деревьев был меньше, так как климат был относительно прохладным. В 1910–1930-х годах наблюдалось значительное увеличение радиального прироста деревьев, обусловленное потеплением климата. Это явилось причиной обильного возобновления и интенсивного расселения древесных растений в пределах подгольцового и нижней части горно-тундрового поясов. В 1940–1950-х годах происходило слабое и кратковременное похолодание климата, которое привело к небольшому изреживанию еловых и гибели некоторых березовых древостоев на сухих местообитаниях. Это похолодание не вызвало снижения верхней границы мелколесий. С 1960-х годов до настоящего времени возобновление и расселение древесной растительности продолжается на фоне потепления климата (Шиятов и др., 2001).

2.6.5. Опустынивание

Опустынивание есть результат взаимодействия множества факторов. Среди них — изменение климата, которое становится одним из главных в экстремальных условиях (Золотокрылин и др., 2007). При опустынивании климатический фактор часто накладывается на локальные (региональные) антропогенные воздействия в районах со значительной хозяйственной нагрузкой на экосистемы. В этом случае опустынивание может приобретать катастрофический характер. Проявления этих взаимодействующих факторов очень трудно разделить, так как они не являются простой суммой последствий климатических и антропогенных воздействий.

В XX веке в России процессы опустынивания оказывали заметное влияние на возможности использования природных систем в хозяйственных целях. Это касается, в первую очередь, использования некоторых земель для растениеводства и пастбищ для животноводства (Грингоф, 2000). Невозможность хозяйственного использования земель возникла вследствие комплекса причин. Среди них — изменение климата, подтопление и последующее засоление земель, эрозия, чрезмерная антропогенная нагрузка.

2.6.5.1. Климатическое опустынивание

Во второй половине XX века на равнинных полупустынных и субгумидных землях России обозначились два субрегиона с доминированием антропогенной составляющей опустынивания: европейская часть общей площадью 657,9 тыс. км² и азиатская часть, охватывающая 1460 тыс. км² (Глазовский, Орловский, 1996; Куст и др., 2002; Петров, 2005). Из антропогенных факторов опустынивания

в настоящее время в европейском субрегионе продолжает преобладать деградация растительности под влиянием выпаса скота (Борликов и др., 2000), а в азиатском субрегионе — потеря плодородия почвы в результате распашки целинных и залежных земель (Бурлакова, 2005). Эти факторы проявляются в региональном масштабе. Отметим, что антропогенная нагрузка на экосистемы в этих субрегионах заметно снизилась в начале 1990-х годов в связи с изменением социально-экономического уклада.

Катастрофическое опустынивание этих субрегионов возможно лишь в случае однонаправленного воздействия двух групп факторов: 1) усиления аридности климата и учащения частоты опасных засух; 2) разнообразных, превышающих критический уровень региональных антропогенных воздействий на экосистемы. Катастрофическое опустынивание упомянутых субрегионов означает их включение в сферу климатического опустынивания с обратными связями, т. е. их интегрирование в Северо-Туранскую область климатического опустынивания (методологические вопросы освещены в разделе 2.1.6.5).

Мониторинг экосистем Северо-Туранской области показывает, что ее северная граница находится на расстоянии первых сотен километров от территории России и остается стабильной в последние два десятилетия XX века (Золотокрылин, 2003, 2005). В то же время опустынивание распространилось на осушенные участки Аральского моря и экосистемы придельтовых равнин рек Амударья и Сырдарья. В Северо-Туранской области в 1992–2001 гг. по сравнению 1982–1991 гг. прослеживается тенденция ослабления климатического опустынивания на Прикаспийской низменности и некоторого его усиления на территории между Аральским морем и оз. Балхаш.

В процессе антропогенного опустынивания в засушливых субрегионах России в конце XX века наблюдалась определенная цикличность. Она была обусловлена как климатическим фактором, так и сменой социально-экономической обстановки в стране. Многолетние изменения показателей аридности климата и повторяемости опасной атмосферной засухи (см. раздел 2.1.6.5) в рассматриваемых субрегионах России во второй половине XX века имели следующие черты. Аридность ослабла в европейском субрегионе и усилилась на востоке азиатского субрегиона в период 1961–2000 гг. по сравнению с периодом 1935–1960 гг. (Золотокрылин, Черенкова, 2006). На ослабление аридности в период 1961–1990 гг. повлияло сокращение ареала опасной атмосферной засухи в лесостепи и степи (восток Центрального Черноземья, Поволжье и Западное Предуралье) с одновременным уменьшением ее частоты в полупустыне (Нижнее Повол-

жье, Калмыкия). Но в 1991–2000 гг. ареал опасной атмосферной засухи вновь расширился вследствие включения степных и лесостепных экосистем восточной части Европейской территории России (Золотокрылин и др., 2007). В восточной части Западной Сибири значительно увеличилась частота засух в конце XX века — начале XXI века (Гуляева, Костюков, 2003).

Климат ЕТР в среднем за год стал теплее и влажнее в конце XX века (Глазовский, Орловский, 1996; Семенов, Гельвер, 2003; Титкова, 2003; Сотнева, 2004; Ранькова, 2005; Вомперский и др., 2006). Следствием мягких зим, ослабления промерзания почв и увеличения осадков холодного периода было повышение влагосодержания почв весной. В целом увеличилось число дней с эффективными осадками, особенно с сильными осадками (более 10 мм/сутки). В итоге весеннее повышение увлажнения территории стало одной из предпосылок широкомасштабного восстановления естественных компонентов биоты — процесса распространения злаковых сообществ (остепнения) (Виноградов и др., 1999; Биткаева, Николаев, 2000; Шилова и др., 2001; Новикова и др., 2004). Увеличение весенних влагозапасов почвы отмечено также в лесостепных и степных зернопроизводящих районах юго-востока ЕТР (Сиротенко, Грингоф, 2006). Важно отметить, что восстановление растительного покрова началось примерно с середины 1980-х годов, т. е. за много лет до резкого сокращения поголовья скота в результате смены социально-экономических условий в начале 1990-х годов (Золотокрылин, Виноградова, 2007).

Увеличение продуктивности злаковых сообществ послужило причиной накопления степного войлока, которое привело к лучшему увлажнению почвы из-за задержания травостоем снега и к защите почв от иссушения. Но образование войлока на пастбищах повысило частоту пожаров, столь характерных для степи (Шилова и др., 2001; Чибилев, 2004). Пожар воздействует положительно на злаки в результате стимуляции их кущения и уничтожения видов-конкурентов, но задерживает восстановление пустынных полукустарничков (полыни, кохии). Восстановление исходной структуры фитоценозов после пожаров происходит достаточно быстро. При этом возрастает количество видов, а также общее проективное покрытие растений. Фитомасса значительно увеличивается в первые 5 лет после пожара (Опарин, 2007).

Процесс восстановления растительности замедлил аридную денудацию, которая является главным естественным процессом опустынивания засушливых земель. В то же время в последние 10–15 лет он сопровождался повышением уровня грунтовых вод (Соколова и др., 2001; Вомперский и др., 2006; Сажин и др., 2006). Повышение уров-

ня вызвало увеличение их минерализации и следовательно прогрессивное засоление верхней части почвенно-грунтовой толщи как в солонцах, так и в большей степени — на лугово-каштановых почвах (гидроморфное опустынивание). С другой стороны, процесс засоления замедлился из-за возросшей частоты промывания засоленных почв сильными осадками.

Другой причиной восстановления растительного покрова стало резкое ослабление антропогенной нагрузки на пастбища в начале 1990-х годов. Например, в Калмыкии наибольшее распространение сильно деградированных пастбищ имело место в 1982–1991 гг. на Центрально-Черноземельской песчаной равнине, на стыке Южной Сарпинской низменности и Астраханской перевеянной низменной равнины, а также в Приволжской песчано-супесчаной полосе с массивами перевеянных песков (Золотокрылин, Виноградова, 2007). Эти пастбища трансформировались в умеренно и слабо деградированные в 1992–2001 гг. Но локальный перевыпас сохранился и переместился в новые районы Приергининской равнины (восточнее Элисты), Южной Сарпинской низменности, Бэровских бугров и подстепных ильменей.

Площадь сильно деградированных пастбищ ($NDVI \leq 0,09$) в Калмыкии была минимальной в период 1991–1998 гг. Она стала резко увеличиваться после 1999 г. и достигла почти 10 тыс. км² в 2001 г. Наибольшее увеличение площади было во вторую половину вегетационного сезона. Как правило, сильная деградация проявилась вдоль путей сезонного перегона скота на пастбища Калмыкии из соседних территорий.

На востоке азиатского субрегиона (западная часть Алтайского края) в конце XX века наблюдалась иная картина. Если учесть, что здесь признаки антропогенного опустынивания, характеризующиеся снижением почвенного плодородия и изреживанием травяного покрова, проявились с 1970–1990-х годов, то увеличение индекса аридности климата и частоты атмосферных засух (особенно весенних) обострило ситуацию (Бурлакова, 2005; Винокуров и др., 2005; Орлова, 2005).

Таким образом, засушливые земли России подвержены преимущественно антропогенному опустыниванию. Они представлены двумя субрегионами — европейским и азиатским. Эти субрегионы не входят в область климатического опустынивания, а их аридизация лишь эпизодически поддерживается положительной обратной связью альbedo — осадки в региональной климатической системе в годы опасных засух. Развитие катастрофического опустынивания этих субрегионов возможно лишь в случае их интегрирования в Северо-Туранскую область климатического опустынивания. Возможно ли это в будущем вследствие

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

ожидаемых изменений климата — предмет перспективной оценки с использованием моделирования изменения климата и его экологических последствий. Следует, однако, отметить, что в начале XXI века появились признаки нового усиления антропогенного пресса на экосистемы, особенно в европейском субрегионе. Вследствие этого предпосылки катастрофического опустынивания приграничных окраин обоих субрегионов сохраняются, особенно во время обширных опасных засух.

2.6.5.2. Опустынивание вследствие хозяйственной деятельности

В XX веке процессы антропогенного опустынивания, выражающиеся в деградации земель (иногда до чрезвычайной степени) вследствие нерациональной хозяйственной деятельности, были присущи некоторым регионам России. В ряде случаев они усиливались неблагоприятными изменениями климата.

Чрезмерно интенсивное использование пастбищ Прикаспийского региона в Калмыкии и Дагестане в 1960–1980-х годах привело к возникновению и прогрессирующему развитию процесса опустынивания этих засушливых территорий. В Калмыкии в 1913 г. выпасалось до 1 млн. голов скота, при этом площадь деградированных пастбищ составляла около 5%; на этой же территории в 1985 г. выпасалось 5,2 млн. голов скота, а площадь деградированных пастбищ достигла почти 95% (Виноградов, 1993). К началу 1988 г. 56% пастбищных территорий оказались охваченными процессом опустынивания, в связи с чем территория Калмыцкой АССР в 1989 г. была объявлена зоной экологического бедствия. В 1994 г. была разработана “Генеральная схема борьбы с опустыниванием Черных земель и Кизлярских пастбищ (Калмыкия, Дагестан)” для площади около 5 млн. га.

К 1996 г. хозяйственное состояние пастбищ российской части Прикаспийского региона заметно улучшилось. Главными причинами такого изменения состояния растительного покрова стали резкое уменьшение количества выпасаемого поголовья скота и смягчение аридности климатических условий. Годовое количество атмосферных осадков увеличилось в Прикаспийском регионе от 180 до 320 мм в группировке влажных лет, а число дней с пыльными бурями и суховеями уменьшилось (Санганджиева и др., 1998; Борликов и др., 2000). По данным этих же авторов, в 1987 г. в среднем на 100 га пастбищ калмыцкой части Прикаспия выпасались 75 голов овец (при урожайности 1,5 ц/га) при зоотехнической норме 23 головы, т. е. в 3,3 раза больше нормы. В 1999–2000 гг. в среднем на 100 га пастбищ выпасались 18 голов овец (при средней урожайности 2,5 ц/га) при зоо-

технической норме 38 голов, т. е. норма выпаса не превышалась.

В конце XX века чрезвычайная ситуация сложилась на пастбищных землях Астраханской области, где “перегрузка” скотом привела к дигрессии степных фитоценозов и развитию дефляционных процессов на площади 1,3 млн. га, из которых 0,4 млн. га превратились в развеваемые ветром пески. Опустыниванием охвачено до 50% площади Сальских степей в Ростовской области, около 37% территории Кулундинских степей в Алтайском крае, до 15% равнинных территорий Республики Тыва. Опустынивание и проблемы борьбы с ним стали актуальными для Краснодарского и Ставропольского краев, Волгоградской, Воронежской, Омской, Оренбургской, Саратовской, Челябинской и Читинской областей, для республик Хакасия и Бурятия (Государственный доклад..., 1995).

Деградация оленьих пастбищ — это северный вариант опустынивания, как результат “перегрузок” пастбищ домашними и дикими оленями, нарушения почвенного и растительного покровов при неконтролируемом бездорожном проезде вездеходов и автотранспорта. Площадь деградированных оленьих пастбищ превышает 68% их общей площади — более 230 млн. га (см. табл. 2.6.1).

В Российской Федерации около 100 млн. га (46,8%) сельскохозяйственных угодий фактически или потенциально подвержены разным формам опустынивания. На 1 января 1993 г. площадь дефляционно-опасных земель составила 52,0 млн. га, подверженных дефляции 1,7 млн. га, эрозии 27,8 млн. га; засоленных земель было 12,3 млн. га (Петров, 2000). Процессы опустынивания отмечены в 35 субъектах России, где проживает около половины населения страны и производится более 70% сельскохозяйственной продукции (Государственный доклад..., 2000).

По данным Роскомзема, в 1994 г. в республиках Мордовия и Чувашская, в Ханты-Мансийском автономном округе было эродировано более 90% сельскохозяйственных угодий, в Белгородской области — 88%, в Ростовской области и Удмуртской Республике — по 72%, в Кабардино-Балкарии — 68%, в Республике Марий Эл — 60%. Было эродировано более половины площадей сельскохозяйственных угодий в Саратовской области и Республике Хакасия. Еще в 14 субъектах Российской Федерации сельскохозяйственные угодья эродированы на площади от 30 до 50% (Государственный доклад..., 1995).

В табл. 2.6.2 приведены данные о степени опустынивания сельскохозяйственных земель (Антончиков и др., 2002). К настоящему времени, как утверждают авторы цитируемой работы, значительная часть территории Калмыкии и равнинной

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

Таблица 2.6.1. Площадь деградированных оленьих пастбищ в России, млн. га (Государственный доклад..., 1995)

Зона оленеводства	Степень деградации			Всего деградированных пастбищ
	слабая	средняя	сильная	
Европейская	5,2	10,0	8,7	23,9
Западносибирская	13,2	10,0	12,0	35,2
Среднесибирская	4,0	20,8	16,0	40,8
Восточносибирская	6,5	15,7	5,0	27,2
Северо-восточная	20,3	50,7	32,0	103,0
Итого	49,2	107,2	73,7	230,1

Таблица 2.6.2. Степень опустынивания (%) сельскохозяйственных угодий юга ЕТР в 1995–1996 гг. (Антончиков и др., 2002)

Субъект Российской Федерации	Степень опустынивания		
	слабая	средняя	сильная
Республика Дагестан (равнинные районы)	32,4	33,4	34,2
Республика Калмыкия	36,8	30,1	33,1
Астраханская область	54,9	27,8	17,3
Волгоградская область	67,1	18,6	14,3
Саратовская область	74,1	21,9	4,0
Самарская область	75,6	16,1	8,3
Республика Татарстан	81,3	18,2	0,5

части Дагестана (около 70%) представляет собой наиболее крупные очаги антропогенного опустынивания в Европе. В Астраханской, Волгоградской, Саратовской, Самарской областях и в Республике Татарстан деградированные аридные земли занимают около 50% их общей территории.

В результате опустынивания на юге ЕТР половину сократилась площадь продуктивных сельскохозяйственных угодий, образовались 14,2 млн. га земель, потенциально подверженных деградации.

Процессы опустынивания и деградации земель, пригодных для сельскохозяйственного использования, активизировались и в Азиатской части России: на юге Урала и Западной Сибири, в Восточной Сибири и в Забайкалье. В этих регионах продолжается сокращение площадей сельскохозяйственных угодий, интенсивно расширяются площади залежных земель — с 20,7 тыс. га в 1995 г. до 82 тыс. га в 2000 г. Ускорителем процессов опустынивания в юго-западных районах Сибири явилась распашка целинных земель, основные массивы которых расположены в субаридных климатических условиях (Антончиков и др., 2002).

2.6.6. Особо охраняемые природные территории

Изменения биоты, наблюдаемые в экосистемах заповедников, часто характеризуют явления регионального масштаба, а не специфику данной заповедной территории. Так, более раннее наступление фенодат у некоторых видов растений и животных на 5 суток и более равносильно переносу пункта наблюдения на 300 км южнее, что соответствует потеплению климата региона в целом (Гордиенко, Леванова, 2001).

Судя по материалам заповедников, фенологические реакции животных на современные изменения климата неоднозначны. Например, весенний пролет уток (в основном кряквы) стал осуществляться раньше (кроме Башкирского заповедника), а по отлетам (осенним пролетам) сведения противоречивые. В Печоро-Илычском и Окском заповедниках они стали наблюдаться раньше, в Ильменском — позже; в Башкирском заповеднике выраженных смещений сроков не обнаружено (Минин, 2000а, 2000б).

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

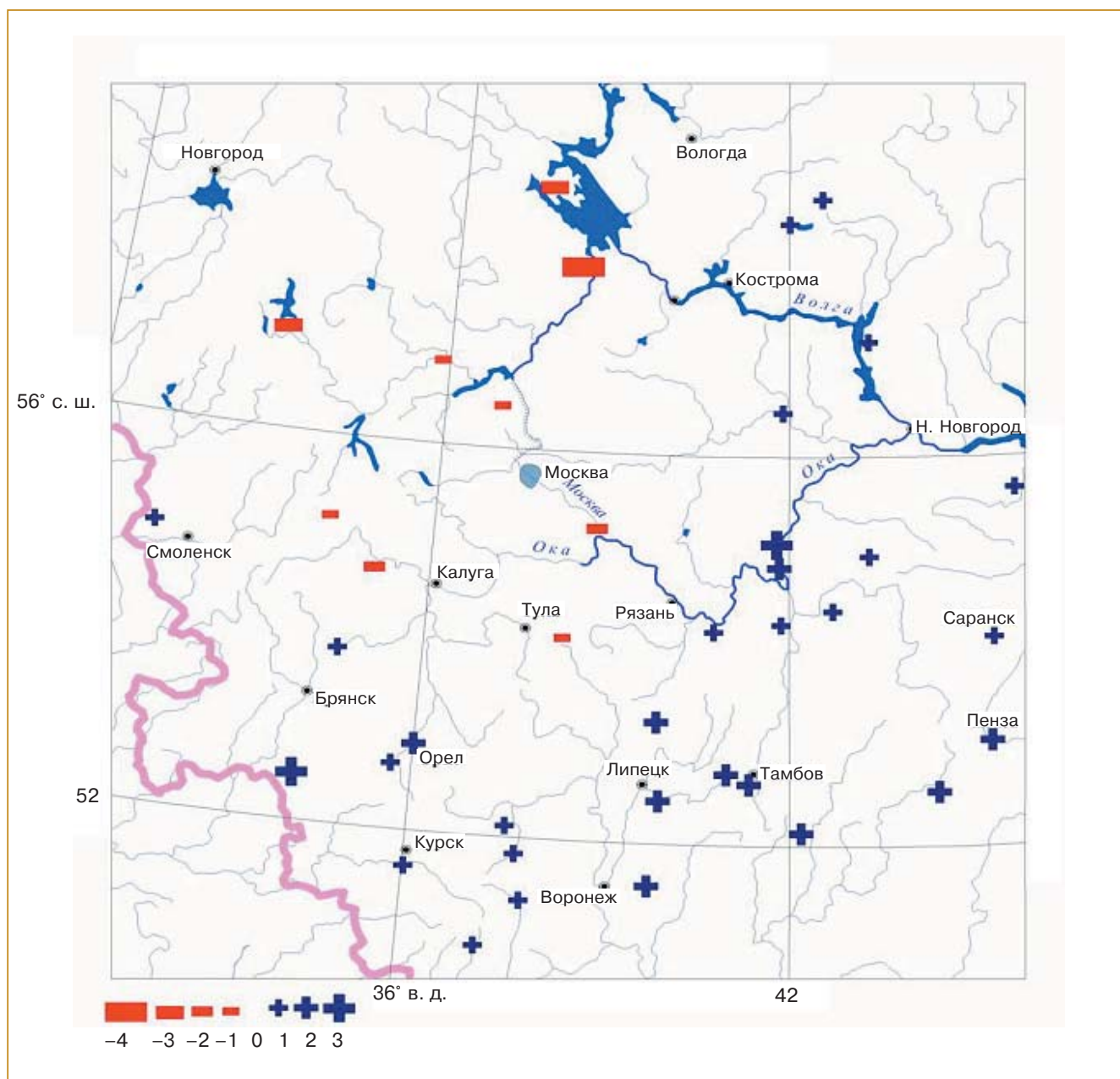


Рис. 2.6.12. Изменение сроков (сутки) первого кукования кукушки обыкновенной за 1970–2000 гг. (Воскова, 2006).

По материалам заповедников и данным добровольных корреспондентов-фенологов прилет большинства видов воробьиных птиц за последние десятилетия в целом стал происходить раньше (Минин, 2000а, 2006). Однако прилет скворцов на большей части Русской равнины стал, напротив, немного задерживаться (Минин, 2000а), а прилет и первое кукование кукушки стали начинаться в северо-западном секторе центральной части ЕТР немного раньше, а в восточном и южном секторах — на несколько дней позже (рис. 2.6.12).

В Приокско-Тerrasном заповеднике результаты анализа сроков прилета птиц весьма противоречивы. К концу периода 1948–1998 гг. по сравнению с его началом примерно на неделю раньше стали появляться белая трясогузка и грач, а кряква — даже на две недели (см. рис. 2.6.13 и 2.6.14), причем сроки ее прилета хорошо коррелируют со средней температурой воздуха в марте (Осипов и др., 2001). Это же характерно для прилета трясогузки, а данные по грачу не обнаруживают трендов. Для кукушки не обнаружено никакой тенденции к смещению сроков начала кукования.

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

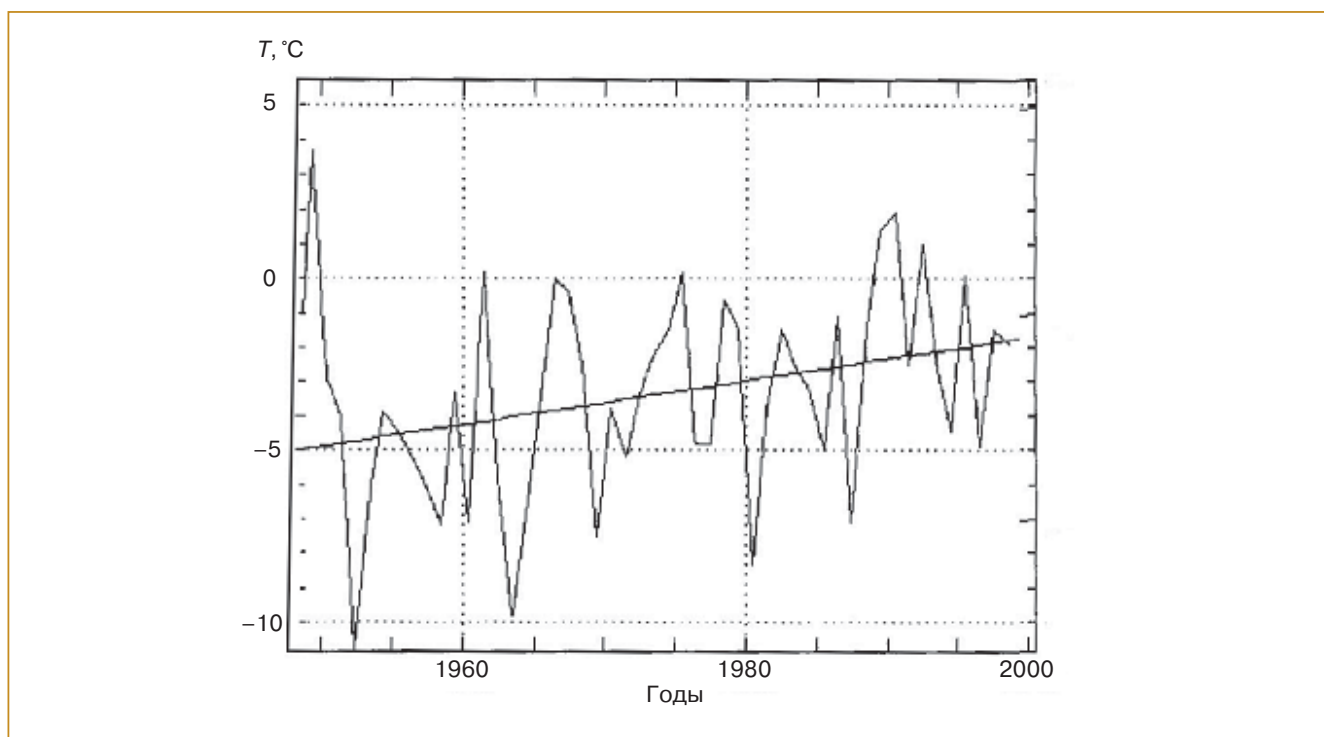


Рис. 2.6.13. Среднемесячные значения температуры воздуха в марте и их линейный тренд (Осипов и др., 2001).

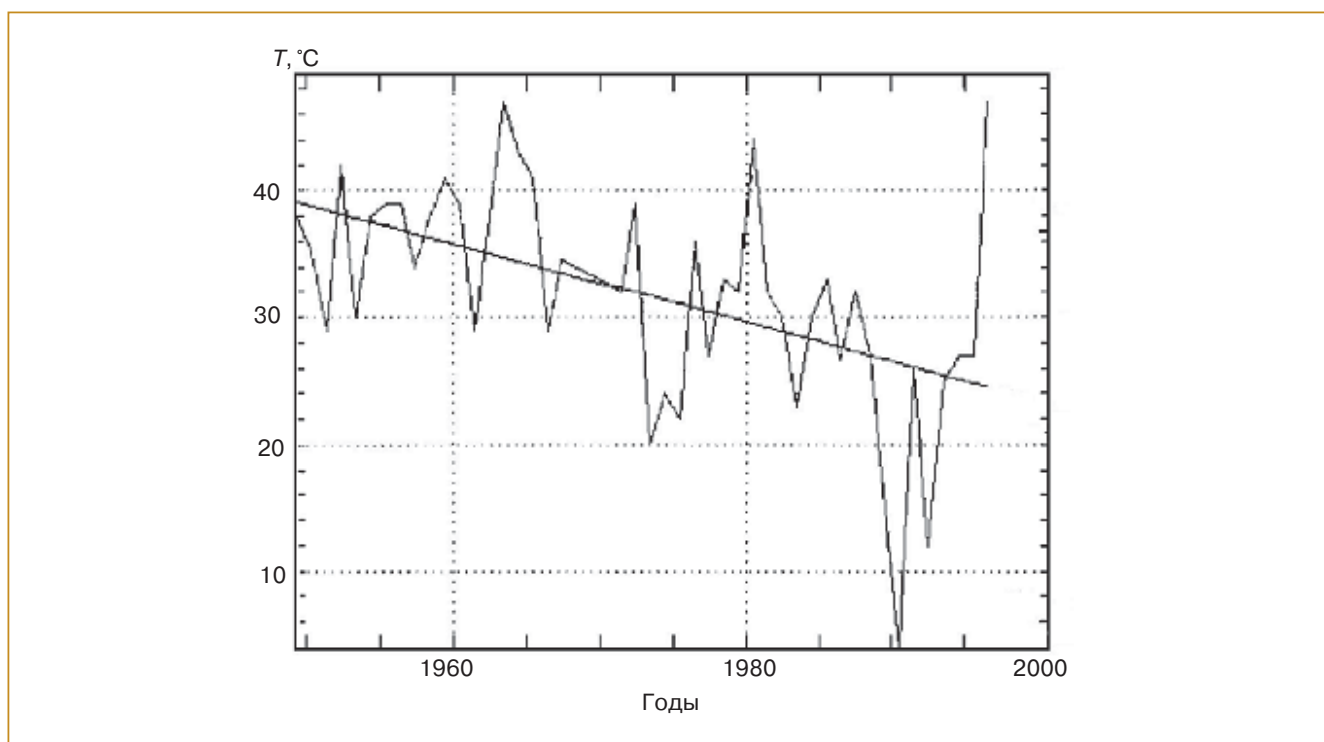


Рис. 2.6.14. Даты прилета кряквы и их линейный тренд (Осипов и др., 2001).

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

В Сихотэ-Алинском заповеднике прослеживается влияние изменения климата на численность крупных млекопитающих. Отмечено, что за последние 40 лет XX века численность большей части крупных млекопитающих Сихотэ-Алинского заповедника постепенно увеличивалась, и сильнее всего эта тенденция проявилась в период второй волны потепления климата, которая началась в конце 1980-х — начале 1990-х гг. (Заумыслова, 2006). Самый простой и очевидный механизм позитивного влияния повышения температуры воздуха на численность изюбря, кабана, косули и пятнистого оленя на территории заповедника — непосредственное снижение зимней смертности и повышение выживаемости молодняка в весенне-летний период (Заумыслова, 2006). Наоборот, для лося значительное повышение летней температуры воздуха оказалось, по-видимому, крайне неблагоприятным. Распространение лося на Дальнем Востоке во многом определяется значениями температуры летом, к которым лось достаточно чувствителен. Более мягкий климат и увеличение плотности кормовых животных стимулировало рост численности популяции тигра как в заповеднике, так и по всему Приморскому краю. Однако это привело к снижению численности популяции волка вследствие конкуренции (Заумыслова, 2006).

Изменения биоты часто связаны с климатом опосредствованно. В Сихотэ-Алинском заповеднике отмечена гибель дубовых лесов *Quercus mongolica*, вызванная грибными заболеваниями. Первые признаки массового усыхания дуба на территории заповедника были отмечены в 1975 г. До этого массовая гибель дубовых лесов в конце прошлого века отмечалась на западном побережье Японии, на Тихоокеанском побережье США и в Западной Европе. Японские авторы связывают это явление с глобальным потеплением климата и связанным с ним продвижением на север ареала патогенных грибов (Громыко, 2006). Они перемещаются с помощью амброзиевых жуков — переносчиков спор — в леса, где деревья не имеют иммунитета. В других случаях усыхание дубняков связывается непосредственно с климатическими изменениями. Так, в Центрально-Черноземном заповеднике сочетание поздних весенних заморозков и летне-осенних засух негативным образом отразилось на состоянии дубовых древостоев *Quercus robur* и способствовало появлению локальных очагов их усыхания в середине и конце 1990-х годов (Рыжков и др., 2001).

Озеро Байкал (уникальная водная экосистема и более 80% запасов пресных поверхностных вод России) является одним из наиболее экологически критических регионов России. Решением ЮНЕСКО в 1996 г. озеро Байкал придан статус

“Объект мирового наследия”. Однако традиционно обеспокоенность состоянием Байкала в основном вызывается действием локальных, пусть даже очень мощных антропогенных факторов, таких как Байкальский целлюлозно-бумажный комбинат. Между тем проблема последствий изменения климата для озера является также серьезной.

По данным инструментальных измерений (Груза, Ранькова, 2004), в Прибайкалье и Забайкалье в период 1901–2000 гг. температура воздуха в приповерхностном слое атмосферы в среднем увеличивалась со скоростью $0,17^{\circ}\text{C}/10$ лет, т. е. повышение температуры за этот период времени составило $1,7^{\circ}\text{C}$. Это превосходит средние значения для земного шара в целом ($0,6^{\circ}\text{C}$) и для территории России ($1,0^{\circ}\text{C}$) (Груза, Ранькова, 2004). Особенно интенсивно процесс потепления в Байкальском регионе происходил в последней четверти XX века (Груза, Ранькова, 2004). Данные о тенденциях температурного и ледового режимов озера также свидетельствуют о заметном потеплении (Анохин и др., 2006).

Результаты мониторинга и моделирования изотопного состава углерода, водорода и кислорода в поверхностных водах в регионе (Израэль и др., 1998) свидетельствуют о значительности вклада процессов изменения климата (в частности, увеличения температуры и изменения режима осадков) в изменение изотопного состава этих веществ.

Из-за потепления озера холодолюбивые эндемичные виды — обитатели Байкала — могут оказаться в условиях возрастающего неблагоприятного воздействия повышенной температуры.

Изменение климатической ситуации в Баргузинском заповеднике, территория которого непосредственно примыкает к Байкалу, повлекло за собой смещение в жизненных циклах некоторых видов растений и птиц, выразившееся в более ранних сроках начала вегетации, в удлинении сроков вегетации в целом, в более раннем прилете птиц с зимовок. Для растений оказалось существенным потепление весенних месяцев, а для птиц, вероятно, более раннее формирование кормовой базы, возможность раньше приступить к размножению. В то же время у видов растений, для которых характерно относительно позднее начало вегетации и цветения, изменений, которые могут быть определены связаны с потеплением, не выявлено (Ананьин и др., 2001).

Хотя экосистемы заповедников и защищены (хотя бы формально) от хозяйственных нагрузок, есть антропогенный фактор, который на них существенно влияет. Это — антропогенные лесные пожары. Они могут возникать как в результате неосторожного обращения с огнем непосредственно на территории заповедников (как правило, там есть населенные пункты), так и вследствие лесных

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

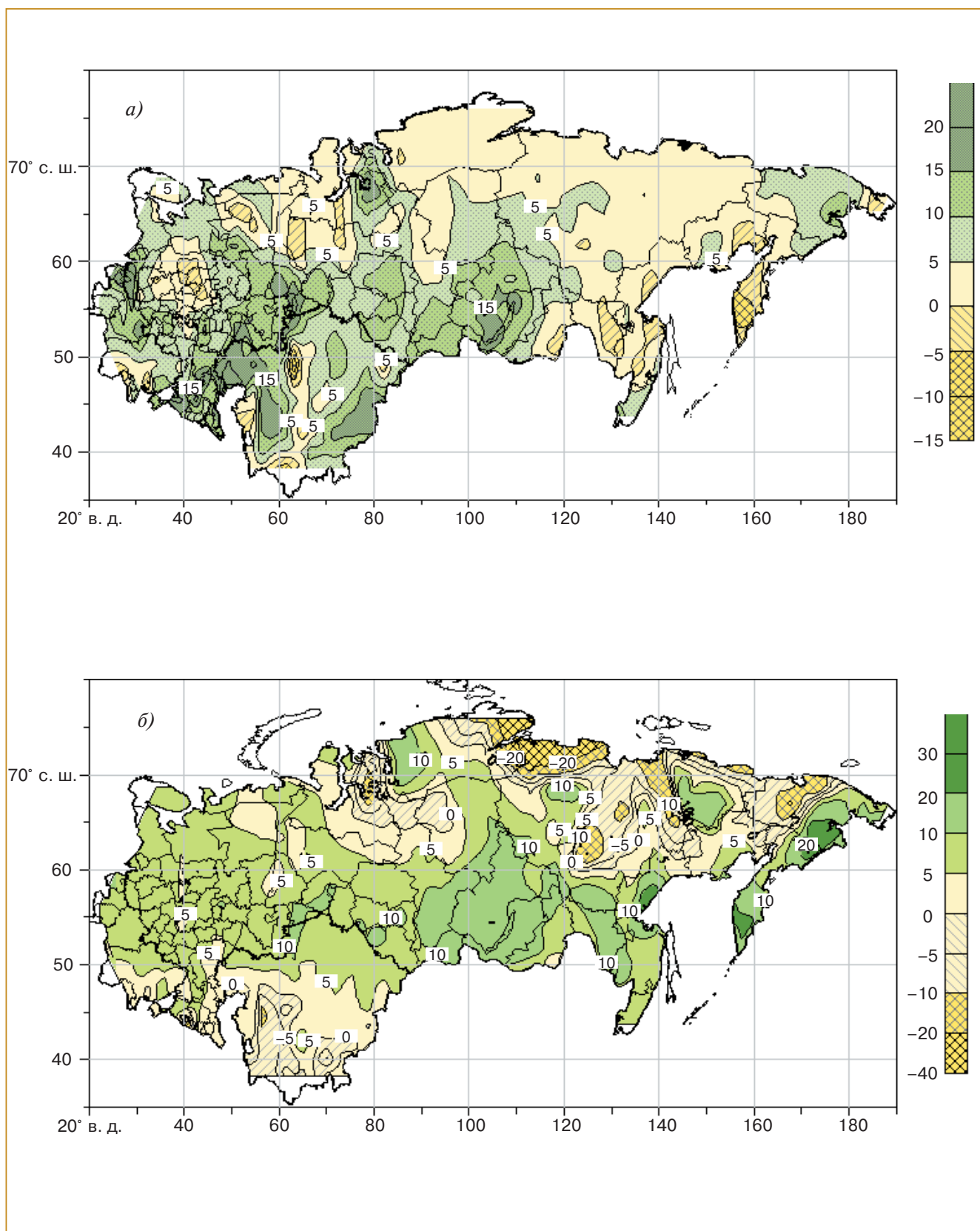


Рис. 2.6.15. Потенциальные климатогенные изменения (%) годичной первичной продукции экосистем (а) и содержания органического углерода (б) за период 1975–2004 гг. (Сиротенко, Абашина, 2008).

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

пожаров на окружающих незаповедных территориях. Изменения климата могут в ряде случаев усиливать риск лесных пожаров (см. разделы 2.10 и 3.10). Так, за последние 50 лет XX века в районе Баргузинского заповедника произошло значительное по масштабам изменение климата, выразившееся в потеплении весной и летом и, как следствие, в увеличении среднегодовой температуры воздуха и удлинении безморозного периода. В то же время режим увлажнения территории оставался практически неизменным. В совокупности климатические изменения привели к усилению аридности климата. Одним из последствий аридизации, вероятно, стало повышение пожароопасности (Ананьин и др., 2001).

2.6.7. Первичная продуктивность экосистем и содержание углерода в почвах

Как показывают расчетные оценки (Сиротенко, Абашина, 2007), изменения климата способствовали увеличению потенциальных значений первичной продуктивности экосистем (см. рис. 2.6.15а) и содержания органического углерода в почве (см. рис. 2.6.15б) на большей части территории бывшего СССР в 1975–2004 гг. Уменьшение потенциального содержания гумуса характерно в основном для тундровой зоны Сибири и пустынь Приаралья. Остальные очаги возможного уменьшения содержания гумуса — на юге Украины, Северном Кавказе и в Прикаспийской низменности — занимают небольшие площади. Практически на всей ЕТР сложились условия, способствующие накоплению органического углерода в почве, но самые благоприятные для этого климатические условия сформировались в азиатской части России южнее 60° с. ш. от Урала до побережья на Дальнем Востоке.

При интерпретации оценок, представленных на рис. 2.6.15, следует иметь в виду, что они получены с помощью равновесной модели почва — растительность — климат. Это означает, что эти оценки относятся к тому квазиравновесному состоянию растительности и почвы, которое соответствует заданному климату. Таким образом, оценки, приведенные на рис. 2.6.15, характеризуют изменение такого состояния растительности и почвы, которое соответствует фактическому изменению климата в 1975–2004 гг. Эти данные не содержат информации о переходном процессе в условиях меняющегося климата, о его характерных временах. Для их исследования нужны соответствующие динамические модели, которые в настоящее время интенсивно разрабатываются (Семенов, 2004; Сиротенко и др., 2005, 2006).

Широко распространено представление о том, что в случае потепления усиление поглощения

CO₂ вследствие увеличения первичной продуктивности растений не приведет к дополнительному его изъятию из атмосферы, поскольку потепление в значительно большей степени стимулирует разложение мертвого органического вещества, содержащегося в почве. При дальнейшем потеплении это может превратить экосистемы суши из стока CO₂, которым они сейчас являются, в его источник (Алексеев и др., 1999; Climate Change, 2007, 2007).

Это приведет к дальнейшему усилению парникового эффекта, к дальнейшему повышению температуры. Таков механизм положительной обратной связи: повышение температуры — обогащение атмосферы CO₂ вследствие потока CO₂ из экосистем суши в атмосферу — повышение температуры.

Однако существуют и иные представления. Так, приведенные в работе (Giardina and Ryan, 2000) данные показывают, что повышение температуры не стимулирует разложение органических веществ в лесных минеральных почвах. Данные, приведенные на рис. 2.6.15, косвенно подтверждают такую возможность — изменение климатических условий на территории России в последние десятилетия потенциально приводит к увеличению поглощения CO₂ экосистемами суши, что способствует изъятию CO₂ из атмосферы и последующему ослаблению парникового эффекта.

2.6.8. Литература

- Алексеев В. А., Марков М. В., 2003. Статистические данные о лесном фонде и изменение продуктивности лесов России во второй половине XX века, СПб, Санкт-Петербургский лесной экологический центр, 274 с.
- Алексеев В. В., Киселева С. В., Чернова Н. И., 1999. Рост концентрации CO₂ в атмосфере — всеобщее благо?, Природа, № 9, с. 3–13.
- Ананьин А. А., Ананьина Т. Л., Дарижалов Е. А., Пузаченко А. Ю., Фадеев А. С., 2001. Влияние изменения климата на биоту Баргузинского заповедника, в кн.: Влияние изменения климата на экосистемы. Охраняемые природные территории России: анализ многолетних наблюдений, под ред. А. Кокорина, А. Кожаринова, А. Минаева, М., Русский университет, ч. 2, с. 1–8.
- Анохин Ю. А., Болтнева Л. И., Мяч Л. Т., 2006. К оценке возможных последствий изменения климата на экосистему озера Байкал, II Всероссийская конференция “Научные аспекты экологических проблем России”, тезисы докладов, секция 3 “Региональные аспекты проблем окружающей среды в России”, Москва, 29–31 мая 2006 г.

- Антончиков А. Н., Бакинова Т. И., Душков В. Ю., Забеликов З. Г. и др., 2002.** Опустынивание и экологические проблемы пастбищного животноводства степных регионов Юга России, Всемирный союз охраны природы, Представительство МСОП для России и СНГ, М., 92 с.
- Биткаева Л. Х., Николаев В. А., 2000.** Потенциал остепнения Терских песков. Степи Северной Евразии, Материалы Международного симпозиума “Стратегия сохранения природного разнообразия и степного природопользования в XXI веке”, Оренбург, с. 67–68.
- Борликов Г. М., Харин Н. Г., Бананова В. А., Татеиши Р., 2000.** Опустынивание засушливых земель Прикаспийского региона, Ростов-на-Дону, Изд-во СКНЦ ВШ, 89 с.
- Бурлакова Л. М., 2005.** Деградация земель и опустынивание. Рациональное природопользование в аридных регионах России, Мелиорация и водное хозяйство, № 1, с. 6–9.
- Ваганов Е. А., Шиятов С. Г., 1999.** Роль дендроклиматических и дендрогидрологических исследований в разработке глобальных и региональных экологических проблем (на примере азиатской части России), Сибирский экологический журнал, т. VI, № 2, с. 111–115.
- Ваганов Е. А., Шиятов С. Г., Мазепа В. С., 1996.** Дендроклиматические исследования в Урало-Сибирской субарктике, Новосибирск, Наука, 324 с.
- Ведюшкин М. А., Колосов П. А., Минин А. А., Хлебоброс Р. Г., 1995.** Климат и растительность суши: взгляд с позиций явления гистерезиса, Лесоведение, № 1, с. 3–14.
- Венгеров П. Д., Сапельникова И. И., Базильская И. В., Масалькин А. И., 2001.** Климатические изменения и вызываемые ими прямые и косвенные эффекты в Воронежском заповеднике, в кн.: Влияние изменения климата на экосистемы. Охраняемые природные территории России: анализ многолетних наблюдений, под ред. А. Кокорина, А. Кожаринова, А. Минина, М., Русский университет, ч. 2, с. 39–47.
- Виноградов Б. В., 1993.** Современная динамика и экологическое прогнозирование природных условий Калмыкии, Проблемы освоения пустынь, № 1, с. 29–37.
- Виноградов Б. В., Кулик К. Н., Сорокин А. Д., Федотов П. Б., 1999.** Изодинамическое картографирование и долговременный мониторинг опустынивания и деградации земель с применением нелинейных методов моделирования, Почвоведение, № 4, с. 494–504.
- Винокуров Ю. И., Красноярова Б. А., Понько В. А., 2005.** Географические проблемы опустынивания в сибирских регионах, Мелиорация и водное хозяйство, № 1, с. 12–13.
- Влияние изменения климата на экосистемы. Охраняемые природные территории России: анализ многолетних наблюдений, 2001.** Под ред. А. Кокорина, А. Кожаринова, А. Минина, М., Русский университет.
- Волков А. М., Габдеев И. И., Яныбаева В. А., Жирнова Т. В., Багаутдинова З. Т., 2001.** Климатические флуктуации и изменения природных экосистем Башкирского заповедника, в кн.: Влияние изменения климата на экосистемы. Охраняемые природные территории России: анализ многолетних наблюдений, под ред. А. Кокорина, А. Кожаринова, А. Минина, М., Русский университет, ч. 2, с. 62–69.
- Вомперский С. Э., Добровольский Г. В., Сапанов М. К., Сиземская М. Л., Соколова Т. А., 2006.** Рукотворный лесной оазис в полупустыне, Вестник РАН, т. 76, № 9, с. 798–804.
- Воскова А. В., 2006.** Современные фенологические тенденции в природе центральной части Русской равнины. Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. географ. наук, М., 26 с.
- Глазовский Н. Ф., Орловский Н. С., 1996.** Проблемы опустынивания и засух в СНГ и пути их решения, Известия РАН, сер. геогр., № 4, с. 7–23.
- Гордиенко Н. С., Леванова Т. А., 2001.** Анализ многолетних феноклиматических изменений природы Ильменского заповедника, в кн.: Влияние изменения климата на экосистемы. Охраняемые природные территории России: анализ многолетних наблюдений, под ред. А. Кокорина, А. Кожаринова, А. Минина, М., Русский университет, с. 9–15.
- Гордиенко Н. С., Минин А. А., 2006.** Фенологические тенденции последних десятилетий в природе Южного Урала, Известия РАН, сер. географ., № 3, с. 48–56.
- Государственный доклад “О состоянии окружающей природной среды Российской Федерации в 1994 г.”, 1995.** М., Зеленый мир, 332 с.
- Государственный доклад “О состоянии окружающей природной среды Российской Федерации в 1999 г.”, 2000.** М., Государственный центр экологических программ Государственного комитета по охране окружающей среды, 580 с.
- Грингоф И. Г., 2000.** Засухи и опустынивание — экологические проблемы современности, Труды ВНИИСХМ, вып. 33 “Проблемы мониторинга засух”, СПб, Гидрометеиздат, с. 14–40.
- Громько М. Н., 2006.** Изменение климата и катастрофические нарушения лесных экосистем в Сихотэ-Алинском заповеднике, в кн.: Влияние климата на экосистемы бассейна реки Амур, М., WWF России, с. 52–67.
- Груза Г. В., Ранькова Э. Я., 2004.** Обнаружение изменений климата: состояния, изменчивости и экстремальности климата, Труды Всемирной

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

- конференции по изменению климата, Москва, 29 сентября — 3 октября 2003 г., М., Новости, с. 101–111.
- Гуляева Н. В., Костюков В. В., 2003.** Пространственно-временная изменчивость атмосферного увлажнения лесостепей Урала и Западной Сибири в вегетационный период, *Метеорология и гидрология*, № 2, с. 97–102.
- Заумислова О. Ю., 2006.** Влияние изменения климата на динамику численности крупных млекопитающих на территории Сихотэ-Алинского заповедника, в кн.: *Влияние климата на экосистемы бассейна реки Амур*, М., WWF России, с. 76–81.
- Золотокрылин А. Н., 2003.** Климатическое опустынивание, отв. ред. А. Н. Кренке, М., Наука, 246 с.
- Золотокрылин А. Н., 2005.** Мониторинг климатической составляющей опустынивания, в кн.: *Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем*, СПб, Гидрометеопиздат, т. 20, с. 105–123.
- Золотокрылин А. Н., Черенкова Е. А., 2006.** Изменения индикаторов соотношения тепла и влаги, биопродуктивности в зональных равнинных ландшафтах России во второй половине XX в., *Известия РАН, сер. географ.*, № 3, с. 19–28.
- Золотокрылин А. Н., Виноградова В. В., 2007.** Соотношение между климатическим и антропогенным факторами восстановления растительного покрова юго-востока Европейской России, *Аридные экосистемы*, т. 14, № 33–34, с. 20–33.
- Золотокрылин А. Н., Виноградова В. В., Черенкова Е. А., 2007.** Динамика засух в Европейской России в ситуации глобального потепления, *Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем*, т. XXI, с. 160–182.
- Израэль Ю. А., Анохин Ю. А., Есиков А. Д., Козлов Н. А., Бобров В. А., 1998.** Фракционирование стабильных изотопов углерода, кислорода и водорода в атмосферных осадках и поверхностных водах бассейна озера Байкал, *Метеорология и гидрология*, № 1, с. 60–68.
- Кайбияйнен Л. К., Болондинский В. К., 1995.** Фотосинтетическая фиксация CO₂ и биомасса лесных ценозов. К методике оценки стока CO₂, *Физиология растений*, т. 42, вып. 1, с. 138–143.
- Куст Г. С., Глазовский Н. Ф., Андреева О. В., Шевченко Б. П., Добрынин Д. В., 2002.** Основные результаты по оценке и картографированию опустынивания в Российской Федерации, *Аридные экосистемы*, т. 8, № 16, с. 7–27.
- Минин А. А., 1991.** Климат и экосистемы суши: взаимосвязи и пространственно-временная изменчивость состояний, в сб.: *Итоги науки и техники. Сер. метеорология и климатология*, М., ВИНТИ, т. 19, 172 с.
- Минин А. А., 2000а.** Фенология Русской равнины: материалы и обобщения, М., Изд-во АБФ/АБФ, 160 с.
- Минин А. А., 2000б.** Фенологические особенности состояния экосистем Русской равнины за последние десятилетия, *Известия РАН, серия географ.*, № 3, с. 75–80.
- Молчанов А. Г., Молчанова Т. В., Мамаев В. В., 1996.** Физиологические процессы у сеянцев дуба черешчатого при недостатке влаги, *Лесоведение*, № 1, с. 54–64.
- Неронов В. В., 1998.** Антропогенное остепнение пустынных пастбищ северо-западной части Прикаспийской низменности, *Успехи современной биологии*, т. 118, вып. 5, с. 597–612.
- Новикова Н. М., Волкова Н. А., Хитров Н. Б., 2004.** Растительность солонцового комплекса заповедного степного участка в Северном Прикаспии, *Аридные экосистемы*, т. 10, № 22–23, с. 9–17.
- Онищенко В. В., Салпагаров А. Д., Дега Н. С., 2001.** Анализ гидроклиматических и фенологических данных Северного Кавказа (Тебердинский заповедник), в кн.: *Влияние изменения климата на экосистемы. Охраняемые природные территории России: анализ многолетних наблюдений*, под ред. А. Кокорина, А. Кожаринова, А. Минина, М., Русский университет, с. 101–105.
- Опарин М. Л., 2007.** Антропогенная трансформация и естественное восстановление биоты сельскохозяйственных ландшафтов Нижнего Поволжья и Закавказья, Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора биологических наук, М., 46 с.
- Орлова И. В., 2005.** Опустынивание в степной зоне Алтайского края: проблемы и пути их решения, *Мелиорация и водное хозяйство*, № 1, с. 13–15.
- Осипов И. Н., Реймерс А. Н., Рымкевич Ю. И., 2001.** Сопряженный анализ многолетних климатических и биологических данных в Приокско-Террасном заповеднике, в кн.: *Влияние изменения климата на экосистемы. Охраняемые природные территории России: анализ многолетних наблюдений*, под ред. А. Кокорина, А. Кожаринова, А. Минина, М., Русский университет, с. 56–61.
- Петров В. И., 2005.** Процессы опустынивания и концепция борьбы с ними на сельскохозяйственных землях аридной зоны России, в сборнике лекций международных курсов ЮНЕП/ЦМП/ВНИИАЛМИ “Антропогенная деградация ландшафтов и экологическая безопасность”, Волгоград, Москва — Волгоград, с. 115–134.

- Ранькова Э. Я., 2005.** Климатическая изменчивость и изменения климата за период инструментальных наблюдений. Диссертация в виде научного доклада на соискание ученой степени доктора физ.-мат. наук, М., ИГКЭ, 67 с.
- Рыжков О. В., Пузаченко А. Ю., Власов А. А. и др., 2001.** Столетняя динамика климата и биоты в центральной лесостепи (на примере Центрально-Черноземного заповедника), в кн.: Влияние изменения климата на экосистемы. Охраняемые природные территории России: анализ многолетних наблюдений, под ред. А. Кокорина, А. Кожаринова, А. Минина, М., Русский университет, ч. 2, с. 69–81.
- Сажин А. Н., Петров С. А., Погосян Н. В., Васильев Ю. И., Волошенкова Т. В., Козина О. В., Монилов С. Н., 2006.** Связь внутривековых изменений увлажнения со сменой циркуляционных эпох и ее отражение в природных процессах Атлантико-Европейского сектора Евразии, Известия РАН, сер. географ., № 1, с. 26–34.
- Санганджиева Л. Х., Борликов Г. М., Бананова В. А., Александров В. А., 1998.** Карта микроэлементного состава экосистем Калмыкии, М 1 : 500 000, Пятигорск, Госкартография.
- Семенов С. М., 2004.** Парниковые газы и современный климат Земли, М., Издательский центр “Метеорология и гидрология”, 175 с.
- Семенов С. М., Гельвер Е. С., 2003.** Климатические изменения годовой суммы осадков и частоты измеренных осадков на территории России и соседних стран в XX веке, Доклады РАН, т. 393, № 6, с. 818–821.
- Семенов С. М., Кухта Б. А., Гельвер Е. С., 2004.** О нелинейности климатогенных изменений сроков фенологических явлений у древесных растений, Доклады РАН, Общая биология, т. 396, № 3, с. 427–429.
- Семенов С. М., Ясюкевич В. В., Гельвер Е. С., 2006.** Выявление климатогенных изменений, М., Издательский центр “Метеорология и гидрология”, М., 324 с.
- Сиротенко О. Д., Абашина Е. В., 2008.** Современные климатические изменения продуктивности биосферы России и сопредельных стран, Метеорология и гидрология, № 4, с. 101–107.
- Сиротенко О. Д., Грингоф И. Г., 2006.** Оценки влияния ожидаемых изменений климата на сельское хозяйство Российской Федерации, Метеорология и гидрология, № 8, с. 92–100.
- Сиротенко О. Д., Абашина Е. В., Романенков В. А., 2005.** Моделирование влияния изменений климата на динамику органического углерода в пахотных почвах, эмиссию CO₂ и продуктивность агроэкосистем, Метеорология и гидрология, № 8, с. 83–95.
- Сиротенко О. Д., Романенков В. А., Грингоф И. Г., 2006.** Моделирование процессов депонирования атмосферного углерода агроферрой, Метеорология и гидрология, № 11, с. 81–88.
- Соколова Т. А., Сиземская М. Л., Толпешта И. И., Сапанов М. К., Субботина И. В., 2001.** Динамика солевого состояния целинных почв полупустыни Северного Прикаспия в связи с многолетними колебаниями уровня грунтовых вод, в сб.: Экологические процессы в аридных биогеоценозах. Доклады на XIX ежегодных чтениях памяти академика В. Н. Сукачева 22 ноября 2000 г., М., с. 113–132.
- Соломина О., Джакоби Г., Дарриго Р., Браунинг А., Еременко Н., Муравьев Я., 2005.** Реконструкции летних температур на Камчатке и на острове Кунашир по дендрохронологическим данным за последние 400 лет, в кн.: Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем, СПб, Гидрометеиздат, т. 20, с. 37–58.
- Сотнева Н. И., 2005.** Динамика климатических условий второй половины XX в. района Джаныбекского стационара Северного Прикаспия, Известия РАН, сер. географ., № 5, с. 74–83.
- Титкова Т. Б., 2003.** Изменения климата полупустынь Прикаспия и Тургая в XX в., Известия РАН, сер. географ., № 1, с. 106–111.
- Харук В. И., Рэнсон К. Дж., Им С. Т., Наурзбаев М. М., 2006.** Лиственничники лесотундры и климатические тренды, Экология, № 5, с. 323–331.
- Цельникер Ю. Л., Малкина И. С., Завельская Н. А., 2002а.** Географические аспекты фотосинтеза у лесных деревьев России, в кн.: Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем, СПб, Гидрометеиздат, т. 18, с. 81–108.
- Цельникер Ю. Л., Милукова И. М., Выгодская Н. Н., Корзухин М. Д., 2002б.** Влияние условий на фотосинтез ели (*Picea abies*), в кн.: Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем, СПб, Гидрометеиздат, т. 18, с. 337–357.
- Чибилев А. А., 2004.** Эколого-географические проблемы Российско-Казахстанского приграничного субрегиона, Известия РГО, т. 136, вып. 3, с. 13–22.
- Шилова С. А., Чабовский А. В., Неронов В. В., 2001.** Закономерности динамики полупустынных экосистем Калмыкии при снятии антропогенного пресса. Чтения памяти В. Н. Сукачева. XIX, в сб.: Экологические процессы в аридных биогеоценозах. Доклады на XIX ежегодных чтениях памяти академика В. Н. Сукачева 22 ноября 2000 г., М., с. 9–55.
- Шиятов С. Г., Мазепа В. С., Моисеев П. А., Братухина М. Ю., 2001.** Изменения климата и их влияние на горные экосистемы национального парка “Таганай” за последние столетия, в кн.: Влияние изменения климата на экосистемы.

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

Охраняемые природные территории России: анализ многолетних наблюдений, под ред. А. Кокорина, А. Кожаринова, А. Минина, М., Русский университет, ч. 2, с. 16–31.

Шиятов С. Г., Терентьев М. М., Фомин В. В., 2005. Пространственно-временная динамика лесотундровых сообществ на Полярном Урале, Экология, № 2, с. 1–8.

Щербатюк А. С., Суворова Г. Г., Янькова Л. С., Русакова Л. В., Копытова Л. Д., 1999. Видовая специфичность реакции фотосинтеза хвойных на факторы среды, Лесоведение, № 5, с. 41–49.

Climate Change 2007, 2007. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Parry M. L., Canziani O. F., Palutikof J. P., van der Linden P. J., and Hanson C. E., eds., Cambridge, UK, Cambridge University Press, 976 p.

Giardina C. P. and Ryan M. G., 2000. Evidence that decomposition rates of organic carbon in mineral soil do not vary with temperature, Nature, vol. 404, pp. 857–861.

2.7. КОНТИНЕНТАЛЬНАЯ МНОГОЛЕТНЯЯ МЕРЗЛОТА И ЛЕДНИКОВЫЕ СИСТЕМЫ

Ведущие авторы: О. А. Анисимов, Ю. А. Анохин, А. Н. Кренке

Авторы: М. Д. Ананичева, П. М. Лурье, Л. Т. Мяс
Редактор-рецензент: А. А. Величко

2.7.1. Общая характеристика

Изменения климата, в первую очередь изменение термического режима и осадков, непосредственно сказываются на состоянии объектов криосферы — континентальной многолетней мерзлоте, ледниковых системах арктических островов и горных ледниковых системах. Это приводит не только к изменению их роли в климатической системе, но и меняет условия хозяйственной деятельности в ряде регионов, где она зависит от состояния этих объектов.

Зона континентальной многолетней мерзлоты — криолитозона — занимает значительную часть территории континентов Северного полушария. Рисунок 2.7.1 дает представление об ее распространении в Евразии в XX веке (фрагмент карты из работы (Brown et al., 1997)), а рис. 2.7.2 — на территории СССР (Кудрявцев и др., 1978).

Увеличение температуры многолетнемерзлых почвогрунтов и глубины сезонного протаивания в XX веке отмечалось многими исследователями. На севере Аляски с начала XX столетия до 1980-х годов температура верхнего горизонта многолетнемерзлых грунтов увеличилась на 2–4°C (Lachenbruch and Marshall, 1986; Osterkamp and Romanovsky, 1999), а в последующие 20 лет еще в среднем на 3°C (Nelson, 2003). На северо-западе Канады верхний слой многолетней мерзлоты с 1975 по 1995 г. стал теплее на 2°C (Majorowicz and Skinner, 1997).

Последствия потепления климата для континентальной многолетней мерзлоты и ледниковых систем могут иметь как региональный, так и глобальный масштабы. К важным региональным последствиям можно отнести изменение несущих свойств многолетнемерзлых грунтов, что влияет на

состояние зданий и технических сооружений (см. разделы 2.2 и 3.2), и изменение гидрологического режима рек, имеющих ледниковое питание, что сказывается на водных ресурсах. К глобальным последствиям можно отнести возможное воздействие на глобальную климатическую систему при усилении эмиссии парниковых газов из оттаивающих многолетнемерзлых почвогрунтов.

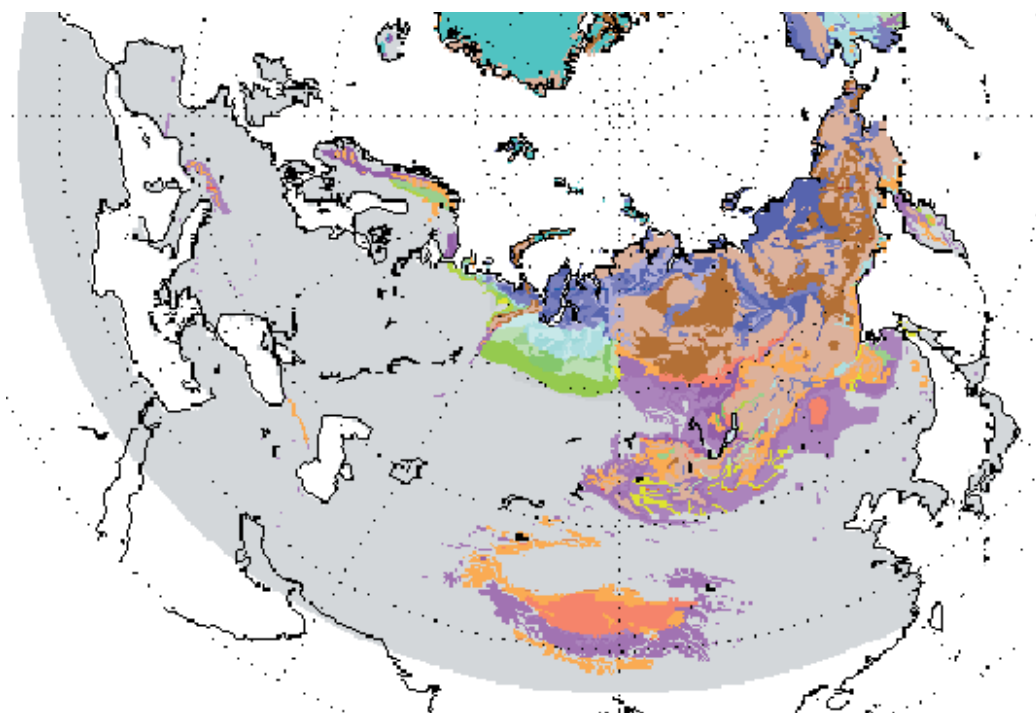
Деграция многолетней мерзлоты уже сейчас причиняет заметный ущерб населению и экономике многих северных стран, и перспектива ее усиления вызывает серьезные опасения (Fedorov, 1996). Эта проблема является особо существенной для России, где многолетнемерзлые породы занимали в XX веке более половины (63–67%) территории страны. На многолетней мерзлоте стоит множество населенных пунктов Восточной и Западной Сибири, проложены и прокладываются нефте- и газопроводы, автомобильные и железные дороги, линии электропередач и коммуникаций. Проблема деграции многолетней мерзлоты особо значима для территории севера Западной Сибири, где расположен 81% доказанных месторождений нефти и газа.

Криолитозона подразделяется на три части в зависимости от сомкнутости многолетнемерзлых пород, а именно, на зоны со сплошным (более 90% площади), прерывистым (50–90%) и островным (менее 50%) их распространением.

Влияние изменения климата на ледниковые системы (в том числе арктических островов, гор) обладает определенной спецификой, иногда осложняющей атрибуцию наблюдаемых изменений. Размеры и режим ледников весьма изменчивы. Причиной их изменений могут быть как внешние условия, определяемые климатом, так и внутренние динамические процессы, происходящие в ледниках.

В данном разделе для полноты картины описаны изменения ледниковых систем не только на территории России, но и других стран СНГ.

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.



Распространение многолетней мерзлоты, % площади	Содержание льда в почвогрунтах (видимый лед в верхнем слое глубиной 10–20 м), % объема				
	низменности, возвышенности, интра- и интер-монтанные депрессии, характеризующиеся толстым слоем отложений			горы, высокогорья, хребты и плато, характеризующиеся тонким слоем отложений	
	высокое (> 20%)	среднее (10–20%)	низкое (0–10%)	от высокого до среднего (> 10%)	низкое (0–10%)
Непрерывная (90–100%)	Ch	Cm	Cl	Ch	Cl
Прерывистая (50–90%)	Dh	Dm	DI	Dh	DI
Спорадическая (10–15%)	Sh	Sm	SI	Sh	SI
Островная (0–10%)	lh	lm	ll	lh	ll

Распространение многолетней мерзлоты показано разными цветами; количество льда в почвогрунтах показано разными оттенками цвета. Буквенные обозначения указывают на то, к каким именно классам многолетней мерзлоты и содержания льда относится данный элемент географического пространства.

 Ледовые щиты и ледники

Рис. 2.7.1. Распределение многолетней мерзлоты в Евразии в XX веке. Фрагмент глобальной карты из работы (Brown et al., 1997). Разными цветами обозначается среднее относительное содержание льда.

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

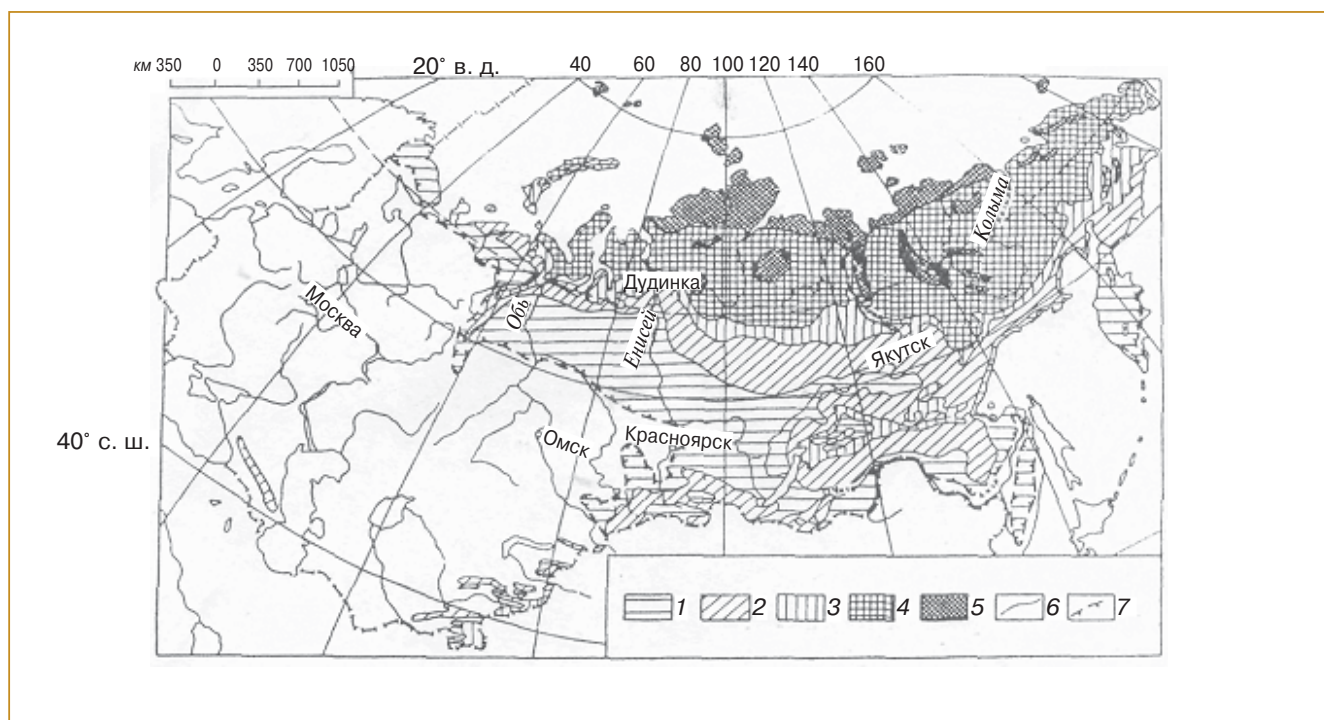


Рис. 2.7.2. Распространение многолетнемерзлых пород (ММП) на территории СССР (Кудрявцев и др., 1978). 1 — зона редкоостровного, островного и массивно-островного распространения ММП со среднегодовыми температурами T_{cp} от -1 до 3°C и мощностью мерзлой толщи M от 0 до 100 м; области 2, 3, 4, 5 входят в зону сплошного распространения ММП, причем значения T_{cp} и M в них меняются соответственно в следующих пределах: от -1 до -3°C , от 50 до 300 м; от -3 до -5°C , от 100 до 400 м; от -5 до -9°C , от 200 до 600 м; ниже -9°C , от 400 до 900 м; 6 — границы зон ММП; 7 — южная граница криолитозоны.

Состояние оледенения в XX веке на территории СССР подверглось детальному исследованию в 1960–1970-х годах, когда проводились широкие гляциологические работы по Международной гидрологической программе. Их итогом стал составленный на основании специального руководства (Руководство по составлению Каталога ледников СССР, 1967) Каталог ледников СССР (1967–1978), в основу которого легли картографические и аэрофотосъемочные материалы, относящиеся в основном к 1950–1960-м годам.

С тех пор климат существенно изменился, что отразилось на состоянии оледенения: во многих местах ледники сильно отступили, и их режим претерпел серьезные изменения.

2.7.2. Оценка изменений состояния криолитозоны по данным наблюдений

Увеличение температуры воздуха в приповерхностном слое атмосферы, произошедшее на большей части территории России к концу XX века, особенно в холодный период календарного года (Груза и др., 2001; Семенов, Гельвер, 2002; Груза, Ранькова, 2003), сказалось на состоянии криолито-

зоны. На это указывают сравнительные исследования изменения температуры воздуха в приповерхностном слое атмосферы и термического режима многолетнемерзлых пород, проведенные на территории России в связи с современным потеплением климата. Основными параметрами, по которым проводилась оценка состояния многолетнемерзлых пород, были значения температуры на разной глубине и глубина сезонного протаивания.

Исследование температуры на разных глубинах (до 3,2 м) показало, что вслед за современным повышением температуры воздуха происходит переформирование термического режима почвогрунтов; в работе (Чудинова и др., 2003) обнаружено, что в период с 1961 по 2003 г. происходило повышение температуры почвогрунтов в Западной Сибири, Восточной Сибири и Забайкалье с темпом $0,05\text{--}0,08^{\circ}\text{C}/\text{год}$, что привело к переходу на ряде станций в конце 1990-х годов среднегодовой температуры почвы на глубине 160 см через 0°C в сторону положительной температуры.

В работах (Павлов и др., 2002; Павлов, Малкова, 2005) приводятся результаты сравнительных исследований термического режима приповерхностных слоев атмосферы и литосферы в центре и

на севере Сибири в XX веке. Они показывают, что по сравнению с относительно холодными 1950-ми годами примерно на половине рассматриваемой территории повышение среднегодовой температуры воздуха к 2000 г. составило 1°C и более. Наибольшее потепление отмечается в центре и на юге Якутии (до $2,1^{\circ}\text{C}$), в Забайкалье, на территории Пур-Надымского междуречья, в восточной части Таз-Енисейского междуречья, в юго-восточной части Гыдана, а также в Среднем Приамурье. В то же время арктические острова, побережье полярных морей и значительная часть равнинной территории северо-востока страны характеризуются более слабым потеплением ($0,5\text{--}0,7^{\circ}\text{C}$). С конца 1970-х годов в центральной части Якутии среднегодовая температура воздуха увеличилась в среднем на $2,5^{\circ}\text{C}$. Одновременно обнаружено увеличение температуры почвогрунтов, даже на больших глубинах: на севере Западной Сибири за период с конца 1970-х годов до середины 1990-х годов увеличение температуры на глубине 10 м составило $0,9\text{--}1,2^{\circ}\text{C}$ для районов сплошной криолитозоны, $0,9\text{--}1,4^{\circ}\text{C}$ для прерывистой и $0,2\text{--}0,8^{\circ}\text{C}$ для островной криолитозоны (Павлов и др., 2002; Павлов, Малкова, 2005).

Однако при практически повсеместном и заметном повышении среднегодовой температуры воздуха на территории России на многих участках криолитозоны не наблюдается синхронного увеличения глубины сезонного протаивания. Это можно объяснить многофакторностью формирования температурного режима почвогрунтов. Он формируется не только под влиянием средней температуры воздуха, но также особенностей ее годового хода, высоты снежного покрова, влажности почвы, состояния растительного покрова (Анисимов, Белолуцкая, 2003, 2004). В работах (Израэль, Павлов и др., 2006; Израэль, Анохин и др., 2006) был проведен анализ влияния трех факторов — температуры воздуха, количества осадков, высоты снежного покрова на температуру на разных глубинах для ряда российских метеорологических станций, расположенных в области криолитозоны. Результаты оценок этих параметров приведены в табл. 2.7.1. Как следует из данных таблицы, изменения средней температуры воздуха за период 1991–2003 гг. по сравнению с нормой 1961–1990 гг. находятся в диапазоне от $0,3$ до $1,5^{\circ}\text{C}$, при этом наибольшие значения наблюдаются в Якутии и Забайкалье. Изменения средней температуры на глубине 160 см находятся в диапазоне от $-0,4$ до $1,1^{\circ}\text{C}$. Следует отметить, что аналогичный сравнительный анализ изменений сезонных значений температуры воздуха и почвогрунтов указывает на большую неоднозначность взаимосвязи этих параметров (Четвертое национальное сообщение РФ, 2006).

В табл. 2.7.1 приведены также результаты расчета линейного тренда для временных рядов среднегодовых значений температуры воздуха и почвы на глубине 160 см за 1961–2003 гг. Проверка на достоверность показала статистическую значимость на уровне 95%, если значения линейного тренда превосходят $0,02^{\circ}\text{C}/\text{год}$.

При этом, как и для аномалий — изменений по отношению к норме 1961–1990 гг., — в оценках линейного тренда температуры почвы можно видеть несколько больший разброс значений по сравнению с оценками трендов температуры воздуха. Частично это может объясняться меньшей, чем для температуры воздуха, точностью данных мониторинга температуры почвы на глубинах (хотя для некоторых регионов имеются и достаточно точные термометрические данные, см. (Frauenfeld et al., 2004)), а также особенностями теплообмена между атмосферой и литосферой в разные сезоны. В связи с последним в работе (Шерстюков, 2008) проанализированы изменения температуры грунта на глубинах 80, 160 и 320 см с учетом этих сезонных особенностей. Показано, что дополнительный нагрев почвы в теплое время года за счет повышения температуры воздуха при наличии достаточно мощного снежного покрова, существенно уменьшающего теплообмен между атмосферой и почвой в холодное время года, теоретически может обеспечить больший положительный тренд среднегодовой температуры грунта по сравнению с трендом среднегодовой температуры воздуха.

Приведенные в табл. 2.7.1 данные об аномалиях количества осадков и максимальных за зиму среднемесячных значений высоты снежного покрова за период 1991–2003 гг. по сравнению с базовым периодом 1961–1990 гг. показывают, что однозначных тенденций в динамике этих параметров в области криолитозоны не обнаруживается, хотя увеличение как количества осадков, так и максимальной высоты снежного покрова произошло на большей части из рассматриваемых станций.

Повышение температуры почвогрунтов и увеличение глубины сезонного протаивания в конечном счете приводят к изменению южных границ криолитозоны, что обнаруживается при сравнении карт распространения континентальной многолетней мерзлоты (Анисимов и др., 2002), составленных для разных периодов времени. Так, на карте И. Я. Баранова для начала 1950-х годов южная граница многолетней мерзлоты проходит в целом вдоль 63° с. ш., что, очевидно, связано с предшествующим потеплением 1930–1940-х годов. На карте, составленной позже, южная граница многолетней мерзлоты на востоке региона сдвинута уже к 62° с. ш. Наибольшее изменение границы многолетней мерзлоты к югу фиксируется на карте, составленной во второй половине 1970-х годов, где

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

Таблица 2.7.1. Средние значения температуры воздуха T и грунта на глубине 160 см T_{160} , количества осадков R и максимальной за зиму среднемесячной высоты снежного покрова $H_{сн}$ за 1961–1990 гг. (норма), изменения их средних значений за 1991–2003 гг. по сравнению с нормой и линейный тренд (коэффициент регрессии, °C/год × 100) среднегодовых значений температуры воздуха и грунта на глубине 160 см за период 1961–2003 гг. (Израэль, Анохин и др., 2006)

№ п/п	Станция	Норма (среднее значение за период 1961–1990 гг.)				Изменение среднего значения за период 1991–2003 гг. по сравнению с нормой				Линейный тренд* в период 1961–2003 гг., °C/год × 100	
		T , °C	T_{160} , °C	R , мм	$H_{сн}$, см	T , °C	T_{160} , °C	R , мм	$H_{сн}$, см	T	T_{160}
1	Усть-Цильма	-1,9	3,6	46,3	61,6	0,3	0,5	-0,6	7,7	1,3	1,4
2	Печора	-2,4	4,2	47,7	88,8	0,3	0,4	5,7	-5,2	1,1	1,6
3	Няксимволь	-1,9	3,7	45,2	55,9	0,7	0,5	1,5	8,2	2,7	2,3
4	Березово	-3,6	3,3	43,9	59,8	0,3	0,9	1,2	7,3	1,2	3,3
5	Марре-Сале	-8,4	—	24,9	—	0,6	—	1,5	—	2,3	—
6	Ханты-Мансийск	-1,5	4,5	45,3	55,4	0,9	0,5	1,0	-4,9	4,2	3,0
7	Туруханск	-6,6	2,3	46,5	115,4	0,6	0,3	5,3	-10,9	3,5	2,5
8	Енисейск	-1,7	4,5	40,1	49,7	1,3	0,5	-2,9	1,4	5,4	2,0
9	Тура	-9,2	-0,6	30,8	44,4	1,1	0,7	2,8	6,2	4,1	3,2
10	Ванавара	-6,1	1,2	34,2	53,8	1,2	0,9	0,3	2,5	5,0	4,2
11	Хатанга	-13,3	—	23,1	33,0	0,7	—	-0,8	15,7	3,2	—
12	Жигалово	-4,1	2,3	28,4	30,0	1,3	0,8	1,8	5,2	5,0	3,7
13	Ербогачен	-7,0	1,1	27,8	55,8	1,1	0,2	2,7	1,1	4,8	1,0
14	Баргузин	-2,9	4,2	29,1	40,6	1,4	1,1	2,6	5,8	5,4	3,9
15	Оленек	-12,5	-3,8	24,3	48,5	0,7	0,1	1,8	-0,6	4,3	1,3
16	Витим	-5,4	3,2	35,6	69,0	1,0	0,4	2,6	5,6	4,1	3,1
17	Мама	3,7	-4,5	43,4	67,4	0,8	0,8	3,1	5,8	3,7	3,2
18	Чита	-2,6	1,6	28,6	7,6	1,5	0,4	0,2	1,2	5,8	1,2
19	Сунтар	-7,6	-0,6	22,9	37,6	0,9	1,0	1,6	6,1	4,3	5,5
20	Могоча	-5,2	-0,5	34,8	14,6	0,9	0,9	2,2	2,6	3,5	3,1
21	Олекминск	-6,3	0,3	26,2	44,9	0,7	0,1	-1,0	-4,7	3,2	1,6
22	Вилуйск	-9,1	-0,5	21,5	44,0	1,0	-0,1	2,5	3,4	4,2	1,3
23	Жиганск	-11,4	-0,9	25,2	62,6	0,4	1,1	3,5	-13,4	3,0	5,8
24	Бомнак	-4,7	1,8	46,0	36,3	0,8	0,2	-2,2	0,2	4,1	1,4
25	Якутск	-9,9	-1,1	20,0	31,5	1,3	0,9	-1,8	-0,3	5,8	5,0
26	Верхоянск	-15,3	-7,3	14,6	25,4	0,9	-0,4	0,2	-0,6	4,0	0,9
27	Им. П. Осипенко	-2,7	2,8	38,2	37,5	0,9	0,4	-1,0	-8,6	3,2	2,7
28	Аян	-2,8	1,9	74,4	66,4	0,5	0,2	-2,7	-3,4	2,6	0,5
29	Оймякон	-16,4	-7,3	18,6	32,0	0,9	0,3	-2,0	-0,1	3,6	3,2
30	Сусуман	-12,8	-5,3	23,3	—	0,9	0,2	-0,9	—	4,9	3,0
31	Магадан	-3,3	-0,2	44,6	31,1	0,6	0,8	-1,3	5,2	2,5	2,7
32	Сеймчан	-11,3	—	25,3	—	0,7	—	-0,7	—	3,5	—
33	Марково	-8,6	1,0	33,1	70,0	0,8	0,6	-2,3	4,1	3,0	1,5
34	Анадырь	-7,5	—	28,1	—	0,6	—	2,5	—	1,9	—

Примечание. * Коэффициент линейной регрессии.

граница проведена вдоль 60–61° с. ш., а на востоке региона — еще южнее, у 59–58° с. ш. Это — отражение процессов интенсивного новообразования островов многолетней мерзлоты при похолодании 1960–1970-х годов. Однако на карте, составленной для последних десятилетий XX века, южная граница многолетней мерзлоты вновь в целом сдвинута к 62° с. ш. Южнее расположены только отдельные острова многолетнемерзлых пород на междуречье Оби и Иртыша. На новейшей карте (2000 г.) эти наиболее южные острова многолетней мерзлоты уже не показаны. Отметим, что столь существенные изменения границы многолетней мерзлоты за относительно короткий срок (около полувека) происходили при изменении среднегодовой температуры воздуха в интервале $\pm 1,5^\circ\text{C}$.

2.7.3. Оледенение арктических островов

Заметные изменения происходят также в состоянии оледенения российских арктических островов. Хотя происходило как отступление, так и наступание ледников, но во второй половине XX века общей тенденцией было отступление, т. е. изменения шли в направлении, соответствующем потеплению климата (Климатически обусловленные колебания ледников..., 2006).

Архипелаг Земля Франца-Иосифа. Общая ширина фронтов ледников, заканчивающихся в море, на архипелаге Земля Франца-Иосифа составляла в 2001 г. 2510 км. Более 60% процентов этих фронтов с 1952 г. испытали отступление в среднем на 0,8 км. Средняя скорость отступления 17 м/год, но значения заметно различаются в центральной и южной частях архипелага. Максимум зафиксирован на выводном леднике № 12 на о. Галля — более 3,6 км, т. е. 74 м/год.

Некоторые участки ледниковых куполов наступали (29 км²), но отступление имело гораздо больший масштаб (–404 км²). Чистое сокращение составило 375 км², что составляет 3% общей площади. Больше всего (суммарно на 250 км²) площадь оледенения сократилась на островах Солсбери, Земля Вильчека, Гукера, Земля Георга, Галля, Мак-Клинтока, Грэм-Белл, Ла-Ронсьер, Луиджи, Циглера. Один небольшой ледяной остров — Перламутровый — площадью 1,6 км² совершенно исчез в результате деградации ледникового купола. Общая протяженность фронтов ледников и средняя толщина льда на их фронтах равны 145,55 км и 68 м соответственно. Следовательно, потери льда в море на этих ледниках могут достигать 1,15 км³ льда в год.

Общая длина активных фронтов на архипелаге составляет 1606 км, а суммарная протяженность тех их участков, где за последние 50 лет отмечены заметные изменения (наступление или отступление более чем на 200 м), равна 820 км. По данным

радиолокационного зондирования, средняя толщина льда на них составляет около 50 м. Предполагая, что именно для таких участков характерны средние скорости движения льда на фронте 98 м/год, получаем, что общие потери льда в море на ледниках Земли Франца-Иосифа составляют 4 км³ льда в год.

Архипелаг Новая Земля. Оледенение Новой Земли известно с давних пор. Можно найти описания ледяных берегов и айсбергов, выполненные в 1596–1597 гг. во время третьей экспедиции В. Баренца вокруг северной оконечности архипелага.

Оледенение Новой Земли по оценкам на 1952 г. составляло около 23 637 км², из них большая часть приходится на ледниковый покров Северного острова — 20 136 км².

В среднем за последние 50 лет выводные ледники Новой Земли отступили на 1,5 км, а максимальное отступление достигло 5,56 км. Средняя взвешенная по ширине ледниковых фронтов скорость их отступления — 30 м/год. В результате такого сокращения ледников площадь архипелага Новая Земля уменьшилась на 284,2 км², так как освободились некоторые ранее заполненные ледниками бухты и фьорды. Сравнивая эту оценку сокращения площади ледников с оценкой В. С. Корякина (1997) для первой половины XX века (224 км²), можно сделать вывод, что темпы сокращения не снизились, а даже несколько увеличились.

Архипелаг Северная Земля. Этот архипелаг состоит из четырех крупных островов и ряда малых, общей площадью 36 788 км², а общая площадь оледенения Северной Земли равна 18325,5 км², т. е. 49,8% суммарной площади островов (Каталог ледников СССР, 1980). Степень оледенения в целом убывает с севера на юг: на о. Шмидта доля оледенения в общей площади острова составляет 99,7%, на о. Комсомолец — 68,5%, на о. Октябрьской Революции — 58%, на о. Большевик — 31%.

В целом за последние 50 лет выводные ледники Северной Земли отступили в среднем на 130 м, а максимальное отступление составило 208 м. Средняя взвешенная по ширине ледниковых фронтов скорость их отступления составляет 2,7 м/год. В результате такого сокращения оледенения площадь архипелага Северная Земля уменьшилась на 136,2 км². Главная доля этого сокращения (94%) приходится на купол Шмидта, купол Полярный (он же — Арктический, № 1) и выводной ледник № 18 купола Академии Наук.

2.7.4. Горное оледенение

В середине XX века общая площадь горного оледенения материковой части территории СССР составляла по данным Каталога ледников СССР

(1967–1978) 22209,2 км², а суммарный запас воды, аккумулированный в ледниках, оценивался примерно в 1570 км³. Во второй половине XX века, в особенности в его конце, деградация горных ледников Урала, Памиро-Алая, северного Тянь-Шаня, Алтая, Большого Кавказа, северо-востока Сибири и Камчатки стала доминирующей тенденцией.

В разделе 2.7.4.1 представлена общая характеристика состояния и изменений горных ледниковых систем на территории России и в ближайшем географическом окружении в соответствии с (Оледенение Северной и Центральной Евразии..., 2006). Кратко охарактеризованы ледники Урала, Памиро-Алая, Северного Тянь-Шаня, Алтая. Изменения горных ледников Большого Кавказа, северо-востока Сибири и Камчатки охарактеризованы более детально в отдельных разделах 2.7.4.2, 2.7.4.3 и 2.7.4.4.

2.7.4.1. Общая характеристика

Урал. Современное оледенение Урала представлено примерно 140 снежно-ледовыми образованиями малых размеров площадью до 1 км². К концу XX века оледенение Урала заметно деградировало. За время инструментальных наблюдений (1953–1981 гг.) ледники Полярного Урала потеряли до 20–30% своей массы, причем основная часть этой потери пришлось на 1953–1963 гг. В последующие годы, вплоть до 1981 г., ледники при значительной амплитуде колебаний массы мало изменились, но в 1990-х годах началась их интенсивная деградация.

Памиро-Алай. Ледники занимают около 10% всей горной территории Памиро-Алая. На конец 1960-х годов здесь было около 10,5 тыс. ледников общей площадью около 9,8 тыс. км². С начала 1960-х до середины 1970-х годов происходило незначительное наступание или сокращение темпов отступления ледников по сравнению с предыдущим периодом — с конца XIX века до начала 1960-х, в котором доминировал процесс отступления. Судя по массовым измерениям сдвигов концов ледников по космическим снимкам 1972–1990 гг., скорость отступления увеличилась в 1,2–1,5 раза во вторую половину этого периода по сравнению с первой. В эти годы ледники на Восточном Памире отступали в среднем по 4,8 м/год, на Центральном Памире — по 6 м/год, на Южном Памире — по 3,5–5,5 м/год. В 1990–2001 гг. отступление ледников замедлилось.

Северный Тянь-Шань. С 1955 по 1990 г. скорость отступления ледников северного склона Заилийского Алатау составила 8,5 м/год, а площадь чистого льда сократилась на 29,2%.

На внутренних хребтах Северного Тянь-Шаня устойчивое сокращение оледенения отмечается с

середины XIX века. Самые малые темпы отступления (2–5 м/год) измерены по повторным снимкам на ледниках массива Ак-Шыйрак.

Комплексные гляциологические исследования, выполненные на леднике Григорьева — крупнейшем плосковершинном леднике Тянь-Шаня (площадь 8,8 км²) в хр. Терской Алатау, показали, что в целом за последние 150 лет площадь ледника Григорьева сократилась более чем на 10%.

Продолжают сокращаться (по 4–6 м/год) ледники Джунгарского Алатау. С 1955 по 1972 г. общая площадь оледенения уменьшилась на 120,3 км², а с 1956 по 1990 г. площадь оледенения южного склона хребта сократилась на 40%.

В изменчивости всех исследованных ледников можно выделить три периода: с конца 1950-х до начала 1970-х годов происходила незначительная потеря массы льда при близких к нулю значениях баланса массы. Затем последовал период резкого ухудшения состояния ледников, которое стало наиболее выраженным к началу 1970-х — середине 1980-х годов. После этого состояние ледников несколько улучшилось.

Алтай. Последнее крупное наступание ледников Алтая завершилось в конце 1830-х годов. С середины XIX века ледники преимущественно отступают, хотя наблюдались периоды кратковременных задержек и незначительных наступаний; ледники южной экспозиции отступают в полтора раза быстрее, чем северной, исчезают малые ледники, а сложные распадаются. К 1952 г. площадь оледенения Центрального Алтая сократилась на 15%. За 1952–1998 гг. площадь оледенения всего Алтая уменьшилась на 7,1%. Во время потепления последних десятилетий наиболее подверженными воздействию меняющегося климата оказались ледники, расположенные на периферии Алтайской горной системы — на юге и востоке.

2.7.4.2. Большой Кавказ

Приведенные в данном разделе оценки изменения оледенения Большого Кавказа в XX столетии получены в работах (Панов, 1993; Лурье, 2002). При этом использовались Каталоги ледников (Подозерский, 1911; Каталог ледников СССР, 1967–1977; 1975–1978).

На Большом Кавказе в XIX–XX веках размеры оледенения уменьшались. При этом происходило уменьшение площади ледников, в том числе их длины; распадение ледников на части и отчленение от них притоков; исчезновение ледников. Все это привело к изменению числа и площади ледников (Панов, 1993; Лурье, 2002; Хрусталева, Панова, 2002; Лурье и др., 2005; Лурье, Панов, 2003).

За 1895–2000 гг. на Большом Кавказе число ледников увеличилось на 255, или на 14%, и про-

изошло это как на северном, так и южном склонах. По отдельным бассейнам рек происходил главным образом рост числа ледников, хотя в нескольких бассейнах отмечено и уменьшение (реки Кубань, Кусарчай, Бзыбь, Кодори). Наиболее значительное увеличение числа ледников произошло в бассейне р. Терек, где оно составило 274 ледника, а наибольшее сокращение произошло в бассейне р. Кубань — на 58 ледников. Всего в результате распада образовалось 411, а отчленения — 545 ледников. Распалось 156, а исчезло (растаяло) 545. Исчезали в основном каровые и висячие ледники с площадью до 1,2 км².

Площадь оледенения за 1895–2000 гг. уменьшилась на 948,3 км², или на 43,2%. На северном склоне Большого Кавказа площадь оледенения сократилась на 47,1%, а на южном — на 32,1%. По бассейнам разных рек сокращение площади оледенения весьма неодинаково — от 29,2% в бассейне р. Ингури на южном склоне Большого Кавказа до 66,7% в бассейне р. Самура на северном склоне. Наибольшее уменьшение площади отмечается у сплошных и простых долинных ледников, языки которых спускаются далеко вниз по долинам рек. У малых ледников, несмотря на небольшие абсолютные значения площади сокращения, оно в процентном исчислении нередко достигает 70–80%.

Одновременно произошло сокращение толщины и объема ледников. Средняя толщина ледников за рассматриваемый период уменьшилась на 9 м, или 23% толщины ледников в 1895 г., а объем льда сократился на 10–90% (сокращение в каждом случае определялось размерами ледников и их высотным положением). В целом объем оледенения Большого Кавказа уменьшился на 88,0 км³, или на 56% объема льда в 1895 г.

Одновременно с уменьшением площади и объема ледников происходит их отступление (сокращение длины нижней части языка ледника). За 1895–2000 гг. практически все ледники Большого Кавказа отступили в среднем по всему региону на 600 м. Конкретные значения отступления зависят от морфологического типа ледников — чем крупнее ледник, тем больше у него отступление, и наоборот. Наибольшие значения отступления отмечаются у сложных долинных ледников, они достигали 2000–4000 м. Средние за 1895–2000 гг. годовые значения отступления ледников весьма сильно варьируют: от 1,0 до 36,1 м/год. На общем фоне отступления отмечаются случаи наступания или стационарирования отдельных ледников, что связано с местными особенностями расположения конкретного ледника.

В последние десятилетия в регионе отмечается повышение температуры воздуха и увеличение количества атмосферных осадков. Однако при

этом темп деградации оледенения в 1970–2000 гг. сократился, и уменьшение площади оледенения за этот период составило 4,11 км²/год, т. е. в 2,1 раза меньше, чем за 1890–1970 гг., меньше стала также скорость отступления ледников.

У рек Большого Кавказа с ледниковым питанием в 1970–2000 гг. намечилось увеличение стока, что связано как с увеличением атмосферных осадков, так и с таянием ледников.

2.7.4.3. Северо-восток Сибири (горы Сунтар-Хаята, хребет Черского)

В последнее тридцатилетие в регионе, где расположены горы Сунтар-Хаята и хребет Черского, отмечается существенное потепление, в основном в результате повышения температуры зимой и осенью, хотя тренды средней температуры лета также положительные (Ананичева и др., 2003). Это потепление сказалось на состоянии ледников.

Реконструкция опорного ледника 31 в Северном массиве Сунтар-Хаята, приведенная в работе (Ананичева, Давидович, 2002) для периодов интенсивного потепления в историческом прошлом, говорит о том, что ледники массива не исчезли даже в Микулинское межледниковье, а в оптимум голоцена высота границы питания поднялась на 50–90 м; соответственно можно полагать, что концы ледников к настоящему времени поднялись на 100–180 м (см. методические пояснения в разделе 3.1.7).

Судя по дендрохронологическим данным, холодные периоды были в горах Сунтар-Хаята во второй половине XVI — начале XVIII веков и в XIX — начале XX века. Близкие даты холодных и теплых периодов отмечались и в горах системы Черского (Некрасов и др., 1973; Ловелиус, 1979). “Свежий” облик морен (отсутствие на их поверхности цветковых растений и мхов; только в самой нижней части морен наблюдаются редкие небольшие пятна лишайников), вероятно, свидетельствует об их формировании в начале потепления после максимального похолодания в начале XX века (Граве и др., 1964; Некрасов и др., 1973).

Оценка отступления ледников гор Сунтар-Хаята и хребта Черского выполнена по данным космических снимков спутника “Landsat” (2003 г.) и Каталога ледников СССР (1981). Результатом анализа стала количественная оценка сокращения площадей ледников этих двух горных стран северо-востока Сибири в зависимости от гляциологически (морфологический тип ледника) и климатически (экспозиция) обусловленных факторов за периоды 1940–1970 гг. (Сунтар-Хаята) и 1970–2003 гг. (Сунтар-Хаята и хребет Черского). Также было выполнено сравнение сокращения площадей ледников этих двух горных стран между собой за период 1970–2003 гг.

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

Наибольшие потери площади в абсолютных величинах в Сунтар-Хаята понесли ледники сложно-долинных и долинных типов разных экспозиций — самые крупные по размерам ледники по аэрофотосъемке 1945 г. Сокращение площади составило в среднем по группе от 0,9 до 0,45 км². Доля потерянной площади у каровых, карово-долинных и всячих ледников, меньших по размеру по сравнению с долинными и сложно-долинными, больше, чем у последних (от 10 до 80%). В основном это ледники северных экспозиций. Ледники южных направлений в процентном исчислении потеряли меньше площади (0,2–46%) (Ананичева и др., 2003; Ананичева, Кренке, 2005).

Масштаб отступления ледников хребта Черского соответствует размерам ледников и интенсивности потепления в течение последнего тридцатилетия. Преобладающая экспозиция ледников — северная и северо-западная. В абсолютном выражении долинные и сложно-долинные ледники этих экспозиций потеряли максимум площади — в среднем по группам от 0,84 до почти 2 км². Наибольшая потеря площади у каровых ледников характерна для тех, которые открыты с северо-западного и северо-восточного направлений (0,7–0,8 км²). Относительная доля утраченной поверхности также велика у ледников северо-восточной, восточной и северо-западной экспозиций (наибольшее потепление), причем для всех морфологических типов, но особенно долинных, карово-долинных и каровых. Анализ также показал некоторые неопределенности в оценке изменений длин ледников, связанные с неопределенностью методики оценки этого параметра для Каталога ледников СССР (1981).

В целом к 2003 г. оледенение гор Сунтар-Хаята по площади сократилось по сравнению с серединой XX века на 19,3%, или на 37,2 км². Для ледников хребта Черского сокращение оказалось в процентном исчислении более значительным — с 1970 по 2003 г. сокращение площади составило 28%; однако абсолютные цифры оказались близкими — 43 км² (уменьшение площади от 156 до 113 км²).

2.7.4.4. Камчатка

Колебания ледников Камчатки определяются кроме климатических причин вулканической деятельностью (Каталог ледников СССР, 1969). В районах активного вулканизма наблюдаются как разрушения ледников, так и их наступание в результате покрытия поверхности области абляции пеплом и лавой. В настоящее время масса ледников Авачинской группы вулканов сократилась в 1,5 раза по сравнению их массой в середине XIX века.

Баланс массы ледника Козельский в этой группе менялся в соответствии с вулканогенными процессами — пирокластический материал, покрывавший его поверхность после извержений

Авачинского вулкана, вызвал стационаривание и даже наступание ледника.

Условия, благоприятные для существования ледников, сложились во второй половине XIX века в кратере вулкана Мутновская Сопка.

В результате вулканической деятельности в Ключевской группе вулканов отмечено разрушение языка Толбачинского ледника и, наоборот, продвижение ледника Эрмана. В целом площадь оледенения Ключевской группы вулканов за последние 60 лет увеличилась на 5%.

Наиболее чувствительны к климатическим изменениям ледники Кроноцкого полуострова. Почти все они имеют отрицательный баланс массы и отступают. Так, фронт ледника Корято с 1971 по 1997 г. отступил на 300–310 м, причем во вторую половину периода скорость отступления возросла вдвое.

В целом оледенение невулканических районов, включая Срединный хребет, сокращается, в то время как в вулканических районах тенденции в этом отношении неоднозначны.

2.7.5. Литература

- Ананичева М. Д., Давидович Н. В., 2002. Реконструкция оледенения хребта Сунтар-Хаята в периоды оптимумов четвертичного времени, Материалы гляциологических исследований, вып. 93, с. 73–79.
- Ананичева М. Д., Давидович Н. В., Мерсье Ж. Л., 2003. Изменения климата северо-востока Сибири за последнее столетие и отступление ледников Сунтар-Хаята, Материалы гляциологических исследований, вып. 94, с. 216–225.
- Ананичева М. Д., Кренке А. Н., 2005. Эволюция высот климатической снеговой линии и границы питания ледников на северо-востоке Сибири в XX веке, Материалы гляциологических исследований, вып. 98, с. 225–233.
- Анисимов О. А., Белолуцкая М. А., 2002. Оценка влияния изменения климата и деградации вечной мерзлоты на инфраструктуру в северных регионах России, Метеорология и гидрология, № 6, с. 15–22.
- Анисимов О. А., Белолуцкая М. А., 2003. Влияние изменения климата на вечную мерзлоту: прогноз и оценка неопределенности, в кн.: Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем, СПб, Гидрометеоиздат, т. XIX, с. 21–38.
- Анисимов О. А., Белолуцкая М. А., 2004. Моделирование воздействия антропогенного потепления на вечную мерзлоту: учет влияния растительности, Метеорология и гидрология, № 11, с. 73–81.
- Анисимов О. А., Величко А. А., Демченко П. Ф., Елисеев А. В., Мохов И. И., Нечаев В. П., 2002. Влияние изменений климата на вечную мерз-

- лоту в прошлом, настоящем и будущем, Известия РАН. Физика атмосферы и океана, т. 38, № 1, с. 25–39.
- Граве Н. А., Гаврилова М. К., Гравис Г. Ф. и др., 1964.** Промерзание земной поверхности и оледенение хребта Сунтар-Хаята, Гляциология, т. 16, 143 с.
- Груза Г. В., Бардин М. Ю., Ранькова Э. Я., Рочева Э. В., Соколов Ю. Ю., Самохина О. Ф., Платова Т. В., 2001.** Об изменении температуры воздуха и атмосферных осадков на территории России в XX веке, в кн.: Состояние и комплексный мониторинг природной среды и климата. Пределы изменений, М., Наука, с. 18–39.
- Груза Г. В., Ранькова Э. Я., 2003.** Колебания и изменения климата на территории России, Известия РАН. Физика атмосферы и океана, т. 39, № 2, с. 1–20.
- Израэль Ю. А., Анохин Ю. А., Мяч Л. Т., Шерстюков Б. Г., 2006.** Изменение элементов климата в районах вечной мерзлоты на территории Российской Федерации, в кн.: Материалы международной конференции “Теория и практика оценки состояния криосферы Земли и прогноз ее изменений, Тюмень, 29–31 мая 2006 г.”, Тюмень, т. 1, с. 72–75.
- Израэль Ю. А., Павлов А. В., Анохин Ю. А., Мяч Л. Т., Шерстюков Б. Г., 2006.** Статистические оценки динамики изменения элементов климата в районах вечной мерзлоты на территории Российской Федерации, Метеорология и гидрология, № 5, с. 27–38.
- Каталог ледников СССР, 1967–1977.** Т. 8. Северный Кавказ, ч. 1–12, Л., Гидрометеиздат.
- Каталог ледников СССР, 1967–1978.** Т. 1–20, Л., Гидрометеиздат.
- Каталог ледников СССР, 1969.** Т. 20, Камчатка, ч. 2–4, 74 с.
- Каталог ледников СССР, 1975–1978.** Т. 9, Закавказье и Дагестан, вып. 1–4, Л., Гидрометеиздат.
- Каталог ледников СССР, 1980.** Т. 16, Северная Земля, ч. 1, Л., Гидрометеиздат, 70 с.
- Каталог ледников СССР, 1981.** Т. 19, Северо-восток, ч. 3.
- Климатически обусловленные колебания ледников во второй половине XX века, 2006.** В кн.: Оледенение Северной и Центральной Евразии в современную эпоху, отв. ред. В. М. Котляков, М., Наука, с. 97–212.
- Корякин В. С., 1997.** Ледники Новой Земли, Земля и Вселенная, № 1, с. 17–24.
- Кудрявцев В. А., Достовалов И. Н., Романовский Н. Н. и др., 1978.** В кн.: Общее мерзлотоведение, М., Изд-во МГУ, 453 с.
- Ловелиус Н. В., 1979.** Изменчивость прироста деревьев, Л., Наука, 232 с.
- Лурье П. М., 2002.** Водные ресурсы и водный баланс Кавказа, СПб, Гидрометеиздат, 506 с.
- Лурье П. М., Панов В. Д., 2003.** Речной сток Кавказа в условиях современного изменения климата, Тезисы докладов Всемирной конференции по изменению климата, М., ИГКЭ, с. 256.
- Лурье П. М., Панов В. Д., Ткаченко Ю. Ю., 2005.** Река Кубань: гидрография и режим стока, СПб, Гидрометеиздат, 431 с.
- Некрасов И. А., Максимов Е. В., Климовский И. В., 1973.** Последнее оледенение и криолитозона Южного Верхоянья, Якутск, Книжное изд-во, 151 с.
- Нечаев В. П., 2002.** Реакция криолитозоны территории России на изменение климата в XX веке (итоги и перспективы), М., ИГРАН, с. 82–92.
- Оледенение Северной и Центральной Евразии в современную эпоху, 2006.** Отв. ред. В. М. Котляков, М., Наука, 482 с.
- Павлов А. В., Ананьева Г. В., Дроздов Д. С., Москаленко Н. Г., Дубровин В. А., Какунов Н. Б., Минайлов Г. П., Скачков Б., Скрыбин П. Н., 2002.** Мониторинг сезонно-талого слоя и температуры мерзлого грунта на севере России, Криосфера Земли, т. 6, № 4, с. 30–39.
- Павлов А. В., Малкова Г. В., 2005.** Современные изменения климата на севере России. Альбом мелкомасштабных карт, Новосибирск, Академическое издательство “Гео”, 55 с.
- Панов В. Д., 1993.** Эволюция современного оледенения Кавказа, СПб, Гидрометеиздат, 431 с.
- Подозерский К. И., 1911.** Ледники Кавказского хребта, Записки Кавказского отдела Русского географического общества, книга 29, вып. 1, 200 с.
- Руководство по составлению Каталога ледников СССР, 1967.** Под ред. О. Н. Виноградова, А. Н. Кренке, П. Н. Огановского, М., Наука, 156 с.
- Семенов С. М., Гельвер Е. С., 2002.** Изменение годового хода среднесуточной температуры воздуха на территории России в XX веке, Доклады РАН, сер. геофиз., т. 386, № 3, с. 389–394.
- Хрусталева Ю. П., Панова С. В., 2002.** Снеговые линии Большого Кавказа, Ростов-на-Дону, Изд-во РГУ, 143 с.
- Четвертое национальное сообщение Российской Федерации, 2006.** Под ред. Ю. А. Израэля и др., М., Изд-во Метеоагентства Росгидромета, 162 с.
- Чудинова С. М., Быховец С. С., Сорокиных В. А., Барри Р., Жанг Т., Гиличинский Д. А. и др., 2003.** Особенности изменения температуры почв России в период последнего потепления климата, Криосфера Земли, т. 7, № 3, с. 23–30.
- Шерстюков А. Б., 2008.** Корреляция температуры почвогрунтов с температурой воздуха высотой снежного покрова на территории России, Криосфера Земли, т. 12, № 1, с. 78–86.
- Brown J., Ferrians O. J., Jr., Heginbottom J. A., and Melnikov E. S. (eds.), 1997.** Circum-Arctic map of permafrost and ground-ice conditions, Washington, DC, U.S. Geological Survey in Cooperation with

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

- the Circum-Pacific Council for Energy and Mineral Resources, Circum-Pacific Map Series CP-45, scale 1:10,000,000, 1 sheet.
- Fedorov A. N., 1996.** Effects of recent climate change on permafrost landscapes in central Sakha, Polar Geography, No. 20, pp. 99–108.
- Frauenfeld O. W., Zhang T., Barry R. G., and Gilichinsky D., 2004.** Interdecadal changes in seasonal freeze and thaw depths in Russia, J. Geophys. Res., vol. 109, D05101, doi:10.29/2003JD004245.
- Lachenbruch A. H. and Marshall B. V., 1986.** Changing climate: Geothermal evidence from permafrost in the Alaskan Arctic, Science, vol. 234, pp. 689–696.
- Majorowicz J. A. and Skinner W. R., 1997.** Anomalous ground warming versus surface air warming in the Canadian Prairie provinces, Climatic Change, vol. 35, No. 4, pp. 485–500.
- Nelson F. E., 2003.** (Un)frozen in time, Science, vol. 299, pp. 1673–1675.
- Osterkamp T. E. and Romanovsky V. E., 1999.** Evidence for warming and thawing of discontinuous permafrost in Alaska, Permafrost and Periglacial Processes, No. 10, pp. 17–37.

2.8. СЕВЕРНЫЕ МОРЯ

Ведущие авторы: И. Е. Фролов, А. В. Цыбань

Авторы: Г. В. Алексеев, С. П. Барينوва, Ю. Л. Володкович, З. М. Гудкович, В. П. Карклин, Ю. В. Лупачев, И. О. Умбрумянц, С. В. Фролов, Т. А. Шука
Редактор-рецензент: А. П. Левич

2.8.1. Общая характеристика

Данный раздел посвящен северным морям, омывающим берега России. К ним отнесены арктические моря, а также Балтийское и Берингово моря. Влияние изменения климата на эти моря и их береговые зоны представляет существенный интерес с экономической и экологической точек зрения, поскольку их роль в экономике страны значительна, а экосистемы северных морей особенно чувствительны к изменению состояния среды, в том числе к изменению климата.

В пределах Арктики расположены территории, континентальный шельф и экономические зоны восьми арктических государств — России, Канады, Соединенных Штатов Америки, Норвегии, Дании, Финляндии, Швеции и Исландии. По площади арктическая зона России — около 3,1 млн. км², или 18% общей площади территории страны. Площадь континентального шельфа в арктической зоне России составляет более 4,0 млн. км² (около 70% ее континентальных шельфов). В этой зоне сосредоточены основные запасы ряда важнейших полезных ископаемых (Филиппов, Жуков, 2004): 80% общероссийских разведанных запасов газа промышленных категорий, 90% извлекаемых ресурсов углеводородов всего континентального шельфа Российской Федерации (из них 70% — на шельфе Баренцева и Карского морей), 15–20 млрд. т прогнозируемых запасов углеводородов (в переводе на условное топливо) находятся в глубоководной части Северного Ледовитого океана. Добыча 91% природного газа сконцентрирована в арктической зоне России.

Морская деятельность на северных морях России и экономическое развитие северных регионов в значительной степени зависят от климата. Так, например, климат, в особенности повторяемость и интенсивность экстремальных гидрометеорологических явлений, ледовые условия влияют на эффективность и безопасность добычи полезных ископаемых и морских транспортных перевозок, на возможности развития и сохранность инфраструктуры. Климат в значительной степени влияет на доступность морских биоресурсов, в том числе на условия и эффективность рыболовства.

Однако последствия изменения климата имеют не только экономическую, но и экологическую составляющую. Экосистемы северных морей, в особенности арктических, весьма чувствительны к внешним воздействиям. Это касается и загрязнения морской среды, которое, как правило, удаляется за счет естественных процессов гораздо медленнее, чем в южных морях, и изменения таких базовых характеристик водной массы, как температура и соленость. Изменение климата влияет на эти процессы, что приводит к последующим модификациям экологических процессов в морских экосистемах, к изменению их видового состава и продуктивности. В итоге это сказывается и на продуктивности популяций экономически значимых пород рыб и других морских организмов.

В данном разделе будут рассмотрены некоторые последствия изменения климата для физических и экологических систем северных морей, а также для хозяйственной деятельности.

2.8.2. Климат и хозяйственная деятельность

2.8.2.1. Температура воздуха

в приповерхностном слое атмосферы

Температура воздуха в большинстве арктических регионов в целом за XX век повысилась (Алек-

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

сеев, Иванов, 2003). В 2005 г. средняя годовая температура в области севернее 60° с. ш. впервые превзошла уровень, достигнутый в период потепления Арктики 1930–1940-х годов (см. рис. 2.8.1). Это заметно и на рис. 2.8.2, на котором представлены данные средней температуры в широтной зоне $70\text{--}85^\circ$ с. ш. в XX веке — начале XXI века.

В вековом ходе температуры прослеживается колебание с периодом около 60 лет. Вклад этого колебания в изменчивость среднегодовой температуры максимален в приатлантической Арктике, что указывает на определяющую роль Северной Атлантики в его формировании (Алексеев (ред.), 2004). На рис. 2.8.1 заметно, что амплитуда этих естественных колебаний температуры в XX веке значительно превосходит ее систематическое изменение за столетие, что, однако, не противоре-

чит наличие этого положительного тренда, отмеченного в Четвертом оценочном докладе Межправительственной группы экспертов по изменению климата (Climate Change, 2007, 2007a, 2007b).

Изменения температуры воздуха, представленные на рис. 2.8.1 и 2.8.2, в определенной мере характерны и для зоны умеренных широт Северной Евразии, в которой важным фактором формирования поля температуры является интенсивность западно-восточного переноса, приносящего тепло и влагу с океана на материк (Фролов и др., 2007). Формирование 60-летнего цикла обусловлено изменениями общей циркуляции атмосферы, характеризующимися значительным понижением атмосферного давления над Арктикой в периоды потеплений. Это находит отражение в изменениях индексов зональной циркуляции (арктическое, североатлантическое и др. колебания).

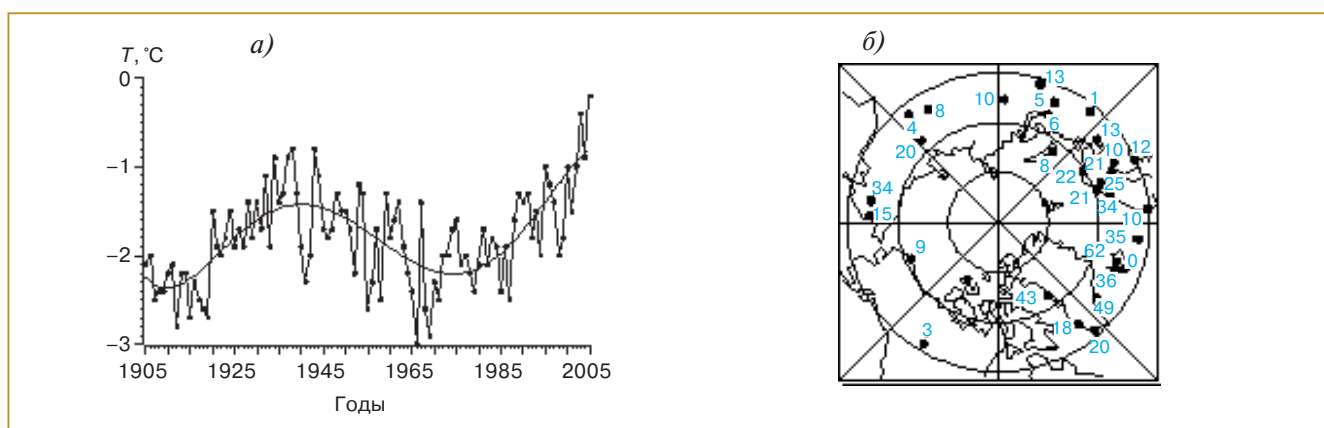


Рис. 2.8.1. Среднегодовая температура воздуха T ($^\circ\text{C}$) в приповерхностном слое атмосферы в 1900–2005 гг.: осредненные данные 30 станций, расположенных севернее 60° с. ш. (а) (жирная кривая представляет долгопериодное колебание, аппроксимированное полиномом Чебышева 4-й степени), и вклад (%) долгопериодного колебания в изменчивость (дисперсию) ряда среднегодовой температуры (б) (Алексеев, 2003; Алексеев (ред.), 2004).

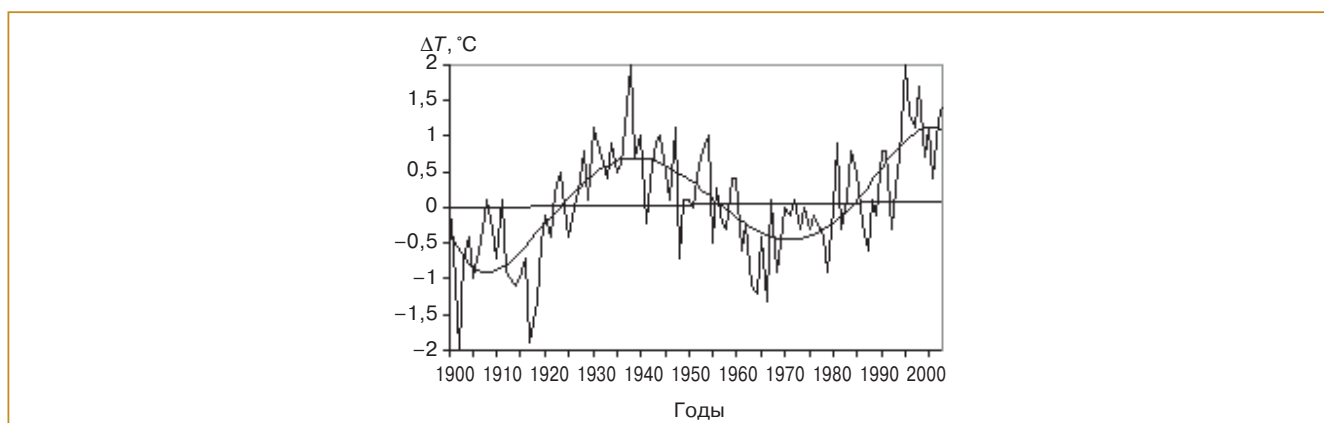


Рис. 2.8.2. Аномалия среднегодовой температуры воздуха в широтной зоне $70\text{--}85^\circ$ с. ш. в XX веке — начале XXI века и 60-летняя составляющая ее колебаний (Фролов и др., 2007).

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

2.8.2.2. Морской ледяной покров

Изменения температуры воздуха летом в большей степени влияют на изменения морского ледяного покрова, чем изменения температуры зимой. Индекс суммы положительной среднесуточной температуры воздуха ΣT за лето в морской части Арктики на протяжении 1951–2005 гг. указывает на то (см. рис. 2.8.3), что наиболее благоприятными условия для таяния снега и льда в морской Арктике были в 1950–1960-е годы и особенно в начале XXI века (Алексеев и др., 2006).

Площадь морского льда в Северном Ледовитом океане в конце летнего периода, сокращавшаяся с начала регулярных наблюдений со спутников в 1978 г., в 2005 г. достигла абсолютного минимума

за период 1978–2005 гг. (рис. 2.8.4); в 2006 г. она еще уменьшилась (NSIDC, 2005).

Как видно на рис. 2.8.5, площадь льдов в арктических морях евразийского шельфа в XX веке постепенно уменьшалась; наиболее значительные изменения произошли в морях Баренцевом, Карском и Чукотском, а также в море Бофорта (Belchansky et al., 2005).

При анализе длительных изменений морского ледяного покрова для западных и восточных морей Северного морского пути (см. рис. 2.8.6) на фоне линейных трендов прослеживается колебание с периодом около 60 лет (Карклин и др., 2001; Гудкович и др., 2005), более заметное в западных морях. На фоне этих колебаний происходили так-

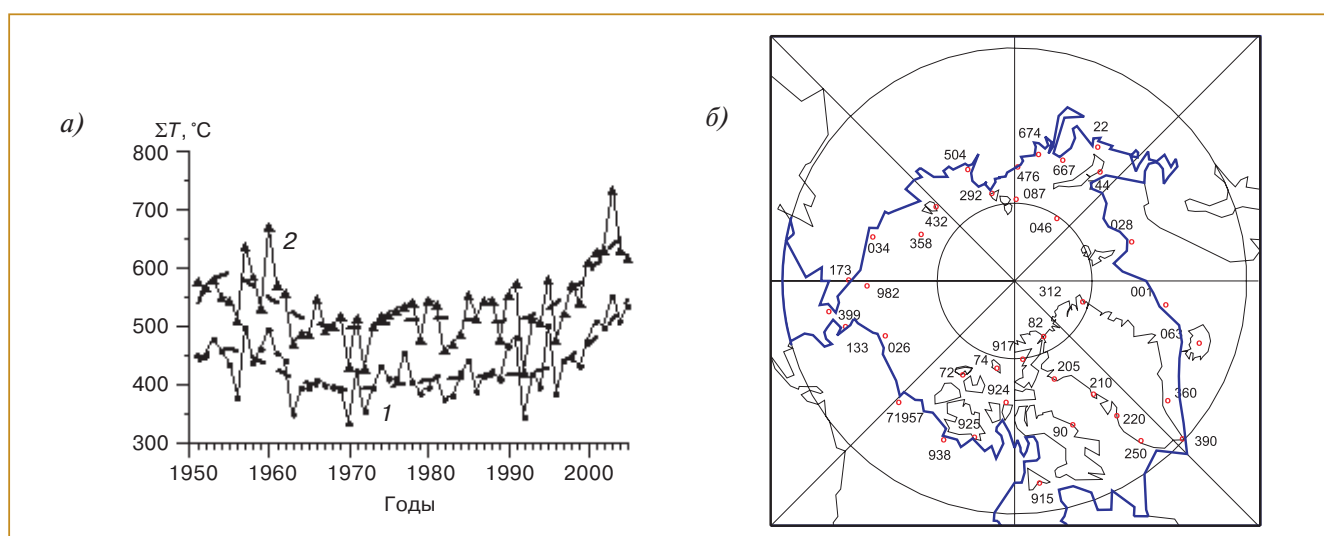


Рис. 2.8.3. Суммы положительной среднесуточной температуры воздуха летом ΣT в морской части Арктики в 1951–2005 гг. (а); положение метеостанций, данные которых использованы для расчета сумм (б). Показаны три последние цифры индекса станции по каталогу ВМО в базе данных (Александров, Дементьев, 1995). 1 — в среднем по всей морской Арктике; 2 — в среднем по приатлантической части.

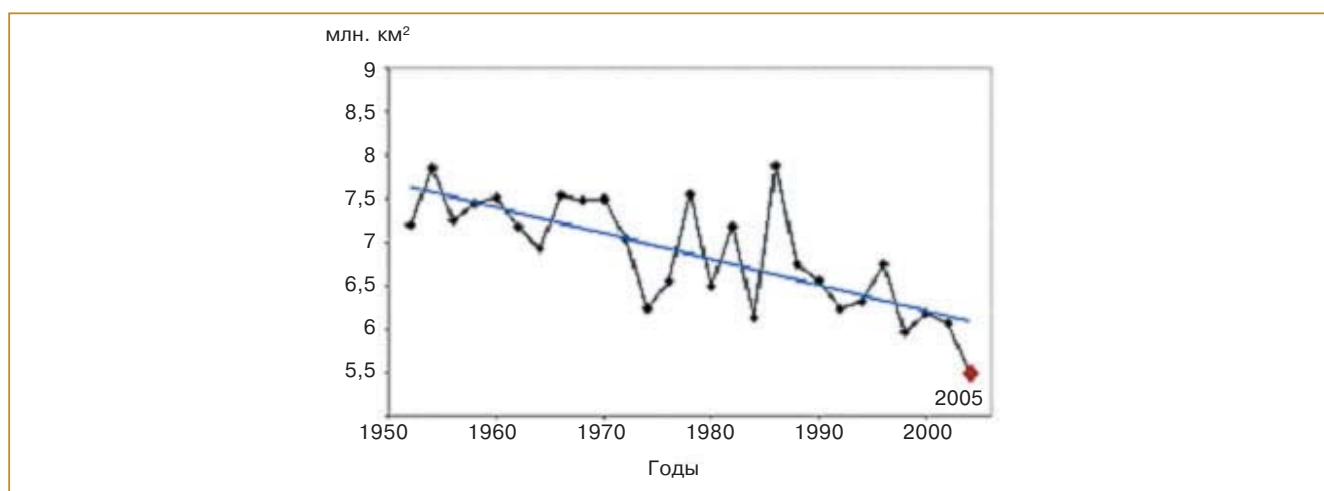


Рис. 2.8.4. Площадь области распространения арктического морского льда в сентябре (NSIDC, 2005).

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

же значительные межгодовые колебания (Алексеев и др., 2006).

В приатлантическом регионе (моря Гренландское, Баренцево и Карское) изменения ледовитости заметно отличаются от изменений в восточном регионе Северного морского пути (моря Лаптевых, Восточно-Сибирское и Чукотское) как значениями линейного тренда, так и амплитудами 60-летнего цикла (см. рис. 2.8.6).

В зимний период около 29% площади арктических морей занимают припайные (неподвижные) льды. На протяжении периода наблюдений с 1930-х годов изменения суммарной площади припая в арктических морях происходили в пределах

470–800 тыс. км². Минимальная площадь припая наблюдалась в 1995 г. В среднем за последние 20 лет общая площадь припая по сравнению с таким же предыдущим периодом уменьшилась на 20 тыс. км², что составляет всего 3% средней площади. В целом межгодовые колебания площади распространения припая и его толщины не показывают значимых трендов к уменьшению (табл. 2.8.1).

Значительно меньше данных имеется о толщине льда в Арктическом бассейне. Основным источником сведений здесь являются наблюдения дрейфующих экспедиций и сонарные измерения с подводных лодок. По данным наблюдений экспе-

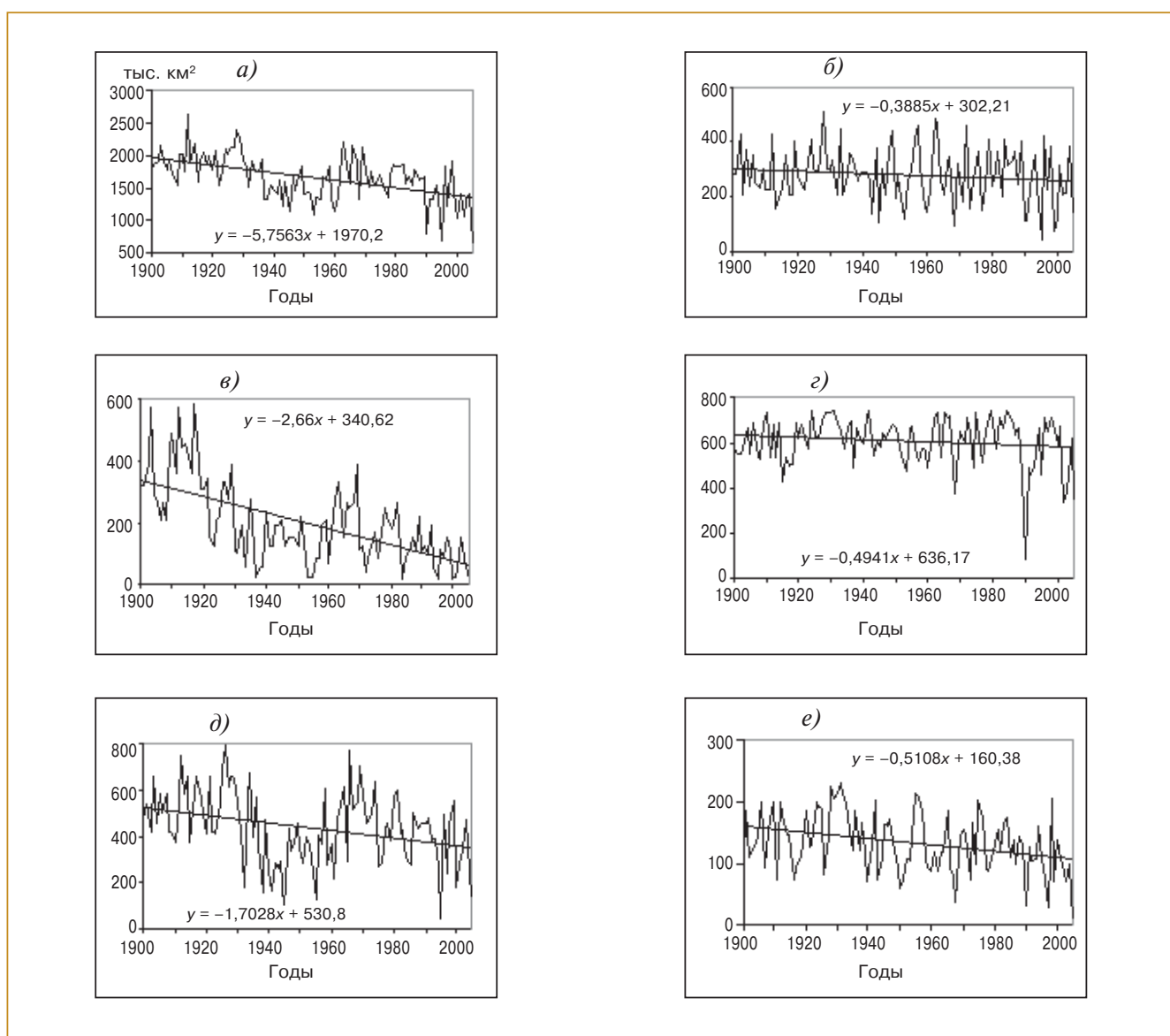


Рис. 2.8.5. Изменения площади (тыс. км²) распространения льдов в арктических морях в августе и линейные тренды в 1900–2005 гг. а) суммарная площадь; б) море Лаптевых; в) Баренцево; г) Восточно-Сибирское; д) Карское; е) Чукотское море.

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

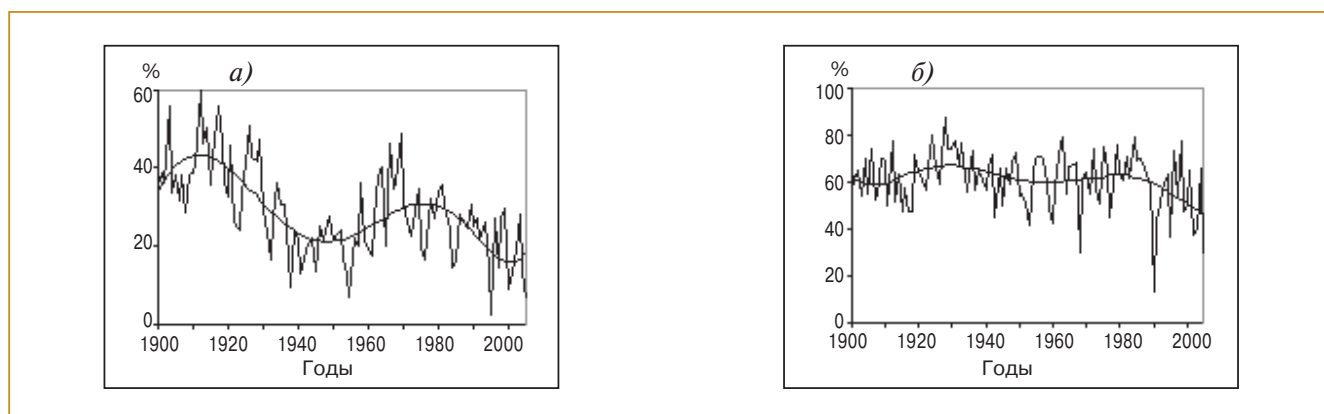


Рис. 2.8.6. Суммарная ледовитость в августе в западных морях (Баренцево и Карское) и восточных морях Северного морского пути (моря Лаптевых, Восточно-Сибирское и Чукотское; % площади регионов). а) западные моря; б) восточные моря. Плавная линия — 60-летняя составляющая колебаний ледовитости.

Таблица 2.8.1. Средняя толщина припайного льда (см) в арктических морях в конце сезона нарастания (Фролов и др., 2007)

Годы	Все моря	Карское море	Море Лаптевых	Восточно-Сибирское море
1940–1964	194	176	222	187
1965–1984	196	187	224	186
1985–2004	191	171	219	186

диции на ледокольном пароходе “Г. Седов”, толщина однолетнего льда в конце зимы 1939 г. (период первого в XX веке потепления Арктики) оказалась на 20% меньше, чем по наблюдениям экспедиции на “Фраме” (1895 г.) примерно в том же районе (Визе, 1937). По наблюдениям последних дрейфующих станций СП-32, СП-33 и СП-34 (2003–2006 гг.), толщина льда в конце XX века (второй период потепления Арктики) в приполюсном районе существенно не отличается от измеренной в экспедиции на ледокольном пароходе “Г. Седов” (Фролов и др., 2007).

Анализ данных, собранных подводными лодками в приполюсном районе с помощью сонаров (Rothrock and Maykut, 1999), показал, что толщина льда здесь за период с середины 1970-х годов к началу 1990-х годов уменьшилась на 1,0–1,5 м, т. е. примерно на 40%. В качестве причины этого называлось влияние антропогенного глобального потепления. Однако анализ тех же материалов, проведенный рядом других ученых (Shy and Walsh, 1996; McLaren et al., 1994), не подтвердил наличия таких изменений.

Граница преобладания многолетних льдов в восточном секторе Арктического бассейна от 1960–1979 гг. к 1980–2000 гг. сместилась к югу в среднем на 300 км (Фролов и др., 2007). Аналогич-

ное смещение наблюдалось по данным радиолокационных и микроволновых спутниковых наблюдений за период 1983–2005 гг. (Асмус и др., 2005). Этот сдвиг объясняется ослаблением выноса льдов из Арктического бассейна и разрежением ледяного покрова при усилении циклонической деятельности в периоды потепления.

2.8.2.3. Судходство и другие виды хозяйственной деятельности

Изменения климата существенно влияют на ледовые условия в районах, где в настоящее время проходят трассы Северного морского пути (рис. 2.8.7). Смещение ледовых массивов, появление айсбергов являются факторами риска для морских перевозок, добычи углеводородов, рыбного промысла.

Важной характеристикой условий судходства в арктических морях является продолжительность периода безледокольного плавания (Бузуев, Федяков, 1983). Средняя продолжительность периода сквозного безледокольного плавания по трассам Северного морского пути в зависимости от ледовых условий колеблется в пределах от 0 до 35 суток. При повышенной ледовитости в 1962–1983 гг. в 50% навигаций была необходима ледокольная

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

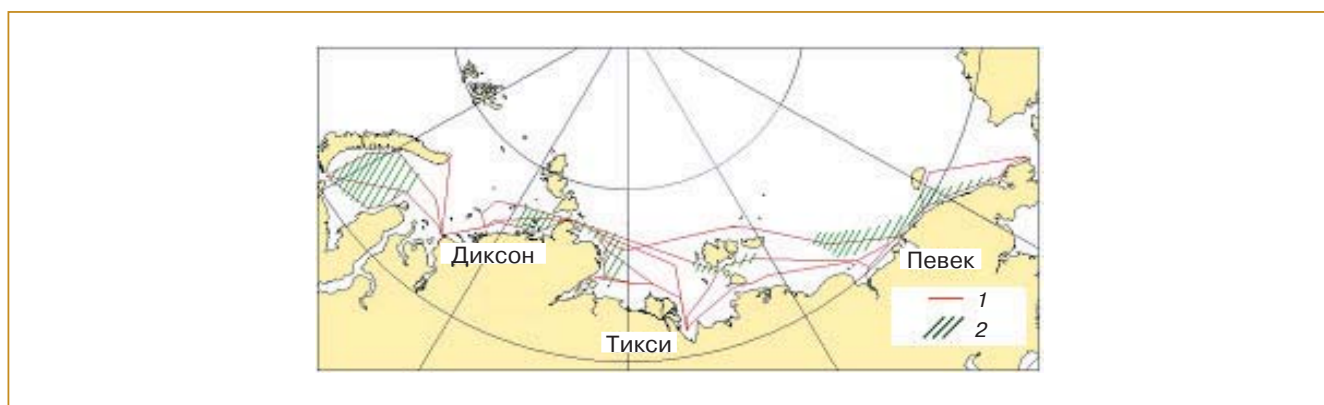


Рис. 2.8.7. Районы вдоль трассы Северного морского пути, где встречаются тяжелые ледовые условия. 1 — трассы плавания; 2 — район с неблагоприятными ледовыми условиями.

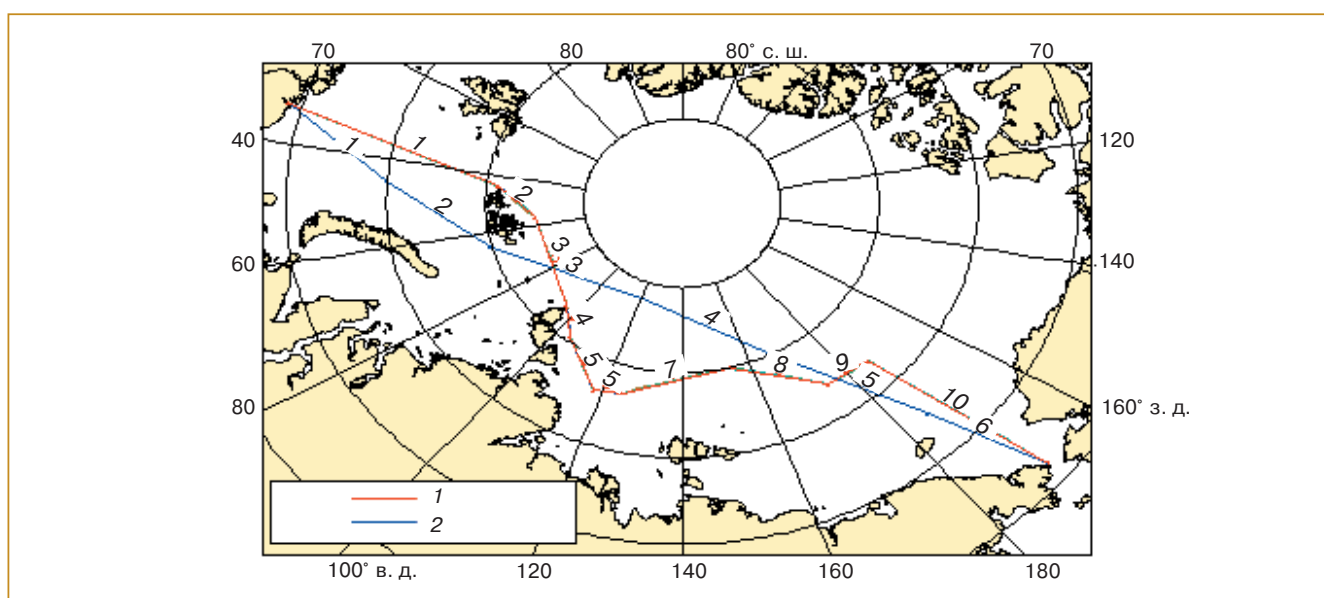


Рис. 2.8.8. Высокоширотные транзитные трассы. 1 — маршрут вдоль материкового склона; 2 — высокоширотный маршрут.

проводка для сквозного плавания, а при пониженной ледовитости — в 17% в 1933–1961 гг. и в 14% в 1984–2004 гг. Таким образом, даже в периоды потеплений на лимитирующих участках трассы необходима ледокольная проводка. Это подтверждается фактическими данными о продолжительности периода сквозного безледокольного плавания по трассе Северного морского пути в 1940–2000 гг. В 2001–2005 гг. в конце летнего сезона — в августе и сентябре — существенно улучшились ледовые условия плавания по высокоширотным трассам к северу от арктических архипелагов Земля Франца-Иосифа, Северная Земля, Новосибирские острова (см. рис. 2.8.8). Максимальное увеличение протяженности пути плавания по чистой воде и умень-

шение протяженности пути в сплоченных льдах за этот период отмечено в сентябре на сезонном минимуме площади льда.

2.8.2.4. Арктическая суша

Потепление климата ведет к деградации ледников и вечной мерзлоты на арктической суше. В 2002 и 2005 гг. сильнейшее за 27-летний период летнее таяние наблюдалось у Гренландского ледника, самого крупного в Северном полушарии (NSIDC, 2005). В российской Арктике ледники покрывают остров Новая Земля, архипелаги Земля Франца-Иосифа и Северная Земля (см. подробнее раздел 2.7). В последние 50 лет наблюдается

отступление фронтов и сокращение площади некоторых выводных ледников в Западной Арктике. При этом количество айсбергов, отделяющихся от выводных ледников, не убывает. В отдельные годы наблюдается смещение границы распространения айсбергов к югу (Наумов и др., 2003; Zubakin et al., 2005) в районы, где разворачиваются работы по разведке и добыче углеводородов и проходит трасса Северного морского пути, что создает дополнительные риски.

Вследствие более активной деградации вечномерзлотных пород, разрушения арктических берегов, навалов льда и некоторых других процессов отмечаются осложнения для прибрежной инфраструктуры. Подобные явления наблюдались и в период первого потепления Арктики, когда вследствие деградации вечно-мерзлотных пород исчезли располагавшиеся ранее в море Лаптевых острова Васильевский и Семеновский.

Увеличение безледного периода усиливает воздействие волнения на берега, прибрежные и морские сооружения (Стратегический прогноз на период до 2010–2015 годов..., 2006). Побережьям моря Лаптевых и Восточно-Сибирского моря свойственны наибольшие скорости размыва. У льдистых толщ, слагающих берега восточных морей побережья российской Арктики, при повышении уровня моря скорость разрушения берегов самая большая — до 13 м/год (о. Муостах), даже несмотря на короткий период открытой от льда акватории в прибрежной зоне. По данным наблюдений на архипелаге Северная Земля, один осенний шторм разрушает берег на многие метры вглубь. В промежутках между штормами термоденудация разрушает бровку уступа размыва, подготавливая уступ к катастрофическому отступанию во время следующего эпизода открытой воды и сильного шторма. Берега разрушаются и под действием подвижек льда, и в результате действия штормов, когда в воде содержится мелкобитый лед, что оказывает дополнительное разрушительное действие.

Под влиянием потепления климатически обусловленные современные границы природных зон Северного полушария смещаются к северу. Общая площадь арктических биомов при этом сокращается. В первую очередь это сокращение касается прибрежных наземных экосистем. Происходят изменения ареалов биологических видов, путей миграций животных, дат фенологических явлений. Несомненно, что наиболее драматические изменения могут происходить у эндемичных видов, имеющих оптимальные условия обитания в пределах их ареалов в арктической зоне, а также у пагофильных и криопелагических видов, находящихся в тесной зависимости от морских льдов (Green et al., 1999; ASIA, 2004).

2.8.3. Биологические системы северных морей

2.8.3.1. Вводные замечания

Функционирование морских экосистем существенно зависит от абиотических, в том числе и от климатических факторов: солнечной радиации, взаимодействия океана с атмосферой, геофизических, гидрологических, оптических свойств воды, ледовых, гидрохимических, геоморфологических условий. Изменения морских экосистем могут быть обусловлены как естественными, так и антропогенными факторами. Изменение климата в XX — начале XXI века повлияло на параметры морской среды, в том числе на важнейшие из них — температуру и соленость воды и, следовательно, на пространственное распределение гидробионтов.

Уязвимость северных морских экосистем к изменению климата обусловлена их особыми свойствами, в частности, специфическим световым режимом, значительными сроками ледового периода, низкой температурой воды, короткими пищевыми цепями. Ниже приведены изменения показателей состояния биологических систем некоторых северных морей, связанные с изменением климата.

2.8.3.2. Балтийское море

Микробиологические показатели. Микробные ценозы отличаются высокой физиологической активностью и быстрой реакцией на изменения среды. Формирование бактериальной микрофлоры в пелагиали Балтийского моря тесно связано с динамикой водных масс, температурным и кислородным режимами. Повышение температуры стимулирует метаболические процессы бактерий. Однако анализ долгопериодных исследований бактериопланктона в открытой части моря показал, что его концентрация за 1976–2000 гг. уменьшилась в пять раз; наиболее значительные изменения произошли в южной и центральной части моря, минимальные — в северной Балтике (Исследование экосистемы Балтийского моря, 2005).

Фитопланктон. Изменение температуры воды воздействует на развитие разных групп фитопланктона неодинаково. Планктонные диатомовые микроводоросли массово развиваются при температуре, немного превышающей температуру таяния льда, и ингибируются при значительном повышении температуры. Синезеленые микроводоросли, напротив, формируют устойчивое “цветение” при температуре, превышающей 16°C. Значительное потепление может изменить видовой состав фитопланктона. Потепление ингибирует развитие холодноводных видов, главным образом диатомей, но благоприятно для тепловодных видов, таких

как токсичные цианобактерии *Nodularia spumigena* (Climate Change in the Baltic Sea Area, 2006). На “цветение” цианобактерий климатические факторы могут влиять сильнее, чем эвтрофикация.

Изменение температуры влияет на водную стратификацию. Некоторые водоросли предпочитают устойчивую стратификацию, другие — перемешанный водный слой. Показано, что регулярные до 1988 г. “цветения” диатомовых водорослей с 1988–1989 гг. сократились в отсутствие конвективного перемешивания. Напротив, доля динофлагеллят, предпочитающих стабильные условия, с 1989 г. увеличилась (Climate Change in the Baltic Sea Area, 2006).

Наиболее значительные изменения фитопланктона отмечены в заливах Балтийского моря. В Куршском заливе основу фитопланктона составляли зеленые, диатомовые и синезеленые водоросли (Семенова, Смыслов, 2005). В 1930–1950 гг. в видовом составе преобладали диатомовые, а с 1970-х годов — зеленые водоросли. Некоторые ранее доминировавшие водоросли с 1970-х годов практически исчезли. С 1990-х годов под влиянием антропогенного загрязнения, эвтрофирования и потепления в составе фитопланктона стали преобладать цианобактерии. В настоящее время в вегетации фитопланктона Куршского залива регистрируются не два, а три пика: весенний, летний и осенний, не отмеченные в 1970-е годы. Период вегетации планктонных водорослей расширился, весенний и летний максимумы сместились к более ранним датам примерно на три недели. На рубеже XX и XXI веков существенно увеличилось видовое разнообразие фитопланктона, главным образом, за счет зеленых водорослей (Семенова, Смыслов, 2005).

Зоопланктон. Климатические факторы влияют на зоопланктон Балтийского моря. Уменьшение солености и повышение температуры привели к уменьшению доли видов, приспособленных к высокой солености и низкой температуре, например холодноводного *Pseudocalanus elongatus*, и к увеличению доли тепловодных форм (Climate Change in the Baltic Sea Area, 2006). Увеличение доли фитофагов в 1960–1980-е годы в 1990-е годы сменилось ростом доли эврифагов в 2,5 раза — эвритермных и эвригалинных *Acartia spp.* (Жигалова, Пужакова, 2002).

В первой половине XX века Балтийское море относили к олиготрофным водоемам, с 1970-х годов наметилась тенденция повышения его продуктивности (Исследование экосистемы Балтийского моря, 2005). В конце 1990-х — начале 2000-х годов биомасса зоопланктона была больше, чем в предыдущие годы, в 1,7 раза зимой и в 11,4 раза летом (Жигалова, Пужакова, 2002).

Изменение гидрологической среды в Балтийском море под влиянием климатических и других

факторов привело к успешному вселению целого ряда видов из других мест обитания. За последние 20 лет в Финский залив проникли три понто-каспийских вида, ставшие в настоящее время массовыми: моллюск *Dreissena polymorpha* (Pallas), амфипода *Pontogammarus robustoides* (Sars) и кладоцера *Cercopagis pengoi* (Ostroumov) (Родионова и др., 2005).

Недавний вселенец — эвригалинный, эвритермный рачок *C. pengoi*, способный переживать низкотемпературный период года, — был впервые обнаружен в северной Балтике в 1992 г. (Телеш и др., 2000; Науменко, Полунина 2000). Для акклиматизации *C. pengoi* в Балтийском море был необходим продолжительный период оптимальной для этого вида температуры, который, по всей видимости, установился в Балтийском море в 1990-е годы. *C. pengoi* встречался в водах юго-восточной Балтики только в условиях теплого лета в 2003 и 2005 гг., в то время как в 2004 г. в холодных условиях не обнаруживался (Shchuka, 2005).

В 2000 г. в восточной части Финского залива был впервые обнаружен понто-каспийский ветвистоусый рачок *Evadne anonyx*. За 2000–2004 гг. численность этого вида увеличилась на порядок (Rodionova and Panov, 2006). В 2003 г. в восточной части Финского залива был впервые обнаружен азовоморский ветвистоусый рачок *Cornigerius maeoticus maeoticus* (Родионова и др., 2005).

В 2006 г. в юго-западной части Балтики был обнаружен гребневик-вселенец *Mnemiopsis leidyi* — полиморфный вид с широкой толерантностью и высокой фенотипической изменчивостью (Hansson, 2006). В 2006 г. приповерхностная температура в юго-западной Балтике была на 3°C выше обычной. Численность *M. leidyi* была сравнима с численностью гребневика в течение первых лет вселения в Черное море. *M. leidyi* сильно воздействует на все уровни экосистемы и рыбный промысел в продуктивных Азовском, Черном и Каспийском морях (Javidpour et al., 2006).

Зообентос. Соленость оказывает сильное воздействие на пространственное распределение, структуру и видовой состав бентосных сообществ в Балтийском море. Устойчивая стратификация водного столба и изменение с глубиной концентрации кислорода формируют выраженную зональность. К настоящему времени по сравнению с первой четвертью XX века в верхних вентилируемых зонах биомасса макрофауны значительно увеличилась, в то время как в глубоководных бассейнах Балтийского моря в условиях гипоксии и аноксии периодически происходило вымирание донной фауны (Climate Change in the Baltic Sea Area, 2006).

В Балтийском море бентосные группы часто представлены единственным видом. Исчезновение такого вида может привести к потере целой функ-

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

циональной группы. Например, ранее очень многочисленный вид полихета *Scoloplos armiger* исчез на больших глубинах центральной и северной открытой части Балтики в 1970–1980 гг. из-за уменьшения солености, истощения кислорода и увеличения зоны сероводорода. В последние десятилетия *Scoloplos armiger* был единственным видом в огромном гипоксическом районе в центральной и северной части открытой Балтики, который мог осуществлять биотурбацию донных осадков (Climate Change in the Baltic Sea Area, 2006).

Изменение среды обитания вследствие изменения климата может привести к успешной интродукции бентосных видов из других регионов, таких как Черноморско-Каспийский регион. В настоящее время чужеродные рачки *Amphipoda* составляют значительную часть бентоса в прибрежных водах Балтики, а в Щецинском и Вислинском заливах фауна донных ракообразных представлена исключительно видами-вселенцами (Grabowski et al., 2007). Высокий темп размножения внедряющихся видов по сравнению с местными видами обусловлен тем, что почти все амфиподы-вселенцы происходят из пресных и солоноватоводных бассейнов и являются эврибионтными, реже эвригаллиными. Сочетание высокой толерантности к теплым термическим условиям и загрязненности среды, а также хищническое поведение способствуют успешному внедрению чужеродных видов (Grabowski et al., 2007).

Ихтиофауна. В сообществе рыб в открытой части Балтийского моря доминируют треска, шпрот и сельдь. Вследствие изменения климата соотношение вес—возраст у сельди уменьшилось в 1980-х годах в разных частях Балтики, индивидуальная масса шпрота снизилась позже — в 1990-х годах (Climate Change in the Baltic Sea Area, 2006).

Балтийская треска нерестится в придонном слое, где колебания температуры выражены слабо. Основным фактором, влияющим на сроки созревания и нереста трески, является уровень насыщения кислородом придонных вод. Икра балтийской трески успешно развивается в водах с концентрацией кислорода около 2 мл/л и соленостью более 11‰. Вызванная изменением климата перемена объема воды с такими характеристиками (нерестового слоя) с 1980-х годов стала причиной высокой смертности икры трески в Гданьской и Готландской впадинах (Карасева, 2006; Climate Change in the Baltic Sea Area, 2006). За период 1948–1979 гг. содержание кислорода в придонном слое Гданьской впадины имело тенденцию к снижению, в 1990-е годы скорость истощения кислорода увеличилась, а в 1999–2001 гг. кислород практически отсутствовал. Соответственно в 1999–2001 гг. нерестовый слой в центре Гданьской впадины отсутствовал. Регистрируемые сроки массового размноже-

ния трески в Гданьской впадине в 1948–2001 гг. сдвинулись к более поздним датам — с апреля — июня на июнь — июль (Карасева, 2006; Climate Change in the Baltic Sea Area, 2006).

Размножение балтийского шпрота зависит главным образом от температуры, содержания кислорода в придонном слое и происходит при температуре более 4°C и содержании кислорода более 1,5 мл/л. Экстремально низкая температура в результате ветрового охлаждения неблагоприятно воздействует на развитие икры шпрота (Карасева, Зазера, 2002; Фельдман и др., 1998; Climate Change in the Baltic Sea Area, 2006). Отсутствие с 1986–1987 гг. суровых зим и связанные с этим благоприятные температурные условия для выживаемости икры способствовали высокому репродуктивному успеху балтийского шпрота в течение 1990-х годов (Карасева, Зазера, 2002; Climate Change in the Baltic Sea Area, 2006).

Морские птицы. Изменение климата оказывает влияние на популяции морских птиц, меняя области их распространения, численность, признаки и особенности видов, время и пути миграции. Прямые воздействия изменения температуры на воспроизводство популяций включают сокращение источников корма, ненормальное развитие эмбрионов и увеличение смертности птенцов.

Огромные (численностью более 10 млн.) популяции зимующих водных птиц особенно чувствительны к изменениям условий зимы. Анализ числа зимующих птиц среди прибрежных видов, таких как лебедь-шипун, хохлатая черныш, обыкновенный гоголь, большой крохаль, в 1987–2002 гг. обнаружил широкомасштабный сдвиг распределения ядра популяций с юга на север. Основная часть зимующих птиц — бентосоядные и растительноядные виды. Изменение области их распространения к северу может изменить продукцию бентоса в северной части Балтийского моря. В начале 1990-х годов весенняя миграция птиц в целом начиналась раньше при том, что межвидовые и внутривидовые различия в сроках миграции были значительными. Было показано, что время размножения птиц в некоторых случаях сдвинулось к более ранним датам (Climate Change in the Baltic Sea Area, 2006).

Морские млекопитающие. Фауна морских млекопитающих Балтийского моря является подразделением умеренной североатлантической (субарктической) и арктической морской фауны. В Балтике обитает один вид китообразных — морская свинья — и три вида тюленей: обыкновенный тюлень, серый тюлень и кольчатая нерпа. Все эти виды зависимы от климата (Climate Change in the Baltic Sea Area, 2006).

Популяция кольчатых нерп в Балтике насчитывает около 5500 животных. Для выращивания

детенышей кольчатые нерпы на льду сооружают норы из снега для защиты щенков от хищников и низкой температуры. Если для построения норы снега недостаточно, щенки рождаются на открытом льду, что снижает их выживаемость.

Популяция серого тюленя — наиболее массового вида тюленей в Балтийском море — насчитывает около 18 000 особей. Излюбленные места обитания серых тюленей — дрейфующие льды, островки и шхеры. Смертность щенков у тюленей, размножающихся на земле, значительно выше, чем у воспроизводящихся на льду. Щенки, рожденные на снежном льду, имеют существенно больший средний вес перед началом линьки, что служит важным фактором выживания в первый год жизни.

У обыкновенного тюленя в Балтийском море — южное распространение. Обыкновенные тюлени размножаются на земле в летний период. Достаточно высокая температура воды важна для времени выкармливания, роста и выживания щенков. Этот вид чувствителен к повышению уровня моря. Даже достаточно малое изменение уровня моря может превратить его места охоты и размножения в непригодные, поскольку обычно это очень низкие шхеры и рифы.

Морские свиньи относительно многочисленны в Каттегате и Датских проливах. Популяция в открытой Балтике составляет менее 600 особей. Она продолжает сокращаться. Молодь морских свиной рождается в летний период.

Популяции морских свиной и обыкновенных тюленей небольшие, и область их распространения постепенно сокращалась в течение XX столетия. Увеличение температуры и сокращение площади ледового покрова окажется благоприятным для этих видов.

2.8.3.3. Белое море

Белое море неоднородно по своим геоморфологическим характеристикам. В нем выделяется ряд районов: четыре относительно изолированных залива, глубоководный Бассейн, пролив — Горло моря и соединяющаяся с Баренцевым морем Воронка моря. Экосистемы каждого из этих районов имеют свои особенности, в том числе специфические реакции на изменение климата.

В районе Белого моря хорошо выражен положительный тренд температуры воздуха, климат становится более влажным. Речной сток в море также имеет заметную тенденцию к увеличению. Вследствие современного изменения климата температура поверхности моря повысилась, произошло некоторое опреснение вод, уменьшилась ледовитость моря и увеличилась продолжительность периода с температурой воды больше точки замерзания. Современное повышение сред-

него уровня Белого моря наблюдается с конца 1970-х — начала 1980-х годов. За этот период среднегодовой уровень Белого моря повысился на 10–12 см.

Оценки экологических условий Белого моря и их изменения, приведенные ниже в этом разделе, получены на основе данных следующих публикаций: (Обзор экологического состояния..., 1991; Обзор экологического состояния..., 1992; Обзор экологического состояния морей..., 1993; Обзор экологического состояния..., 1996; Обзор загрязнения окружающей природной среды..., 1998). Данные характеризуют состояние Белого моря в конце 1980-х годов и в 1990-е годы.

Микробиологические показатели. Оценки численности сапрофитных бактерий проводились прежде всего для Двинского и Онежского заливов, где их численность существенно превышала значения, характерные для других районов Белого моря. Сравнительно высокая численность сапрофитных бактерий, достигающая здесь 10^3 – 10^4 кл/мл (число клеток в миллилитре воды), связана с повышенным речным стоком.

Сезонный рост концентрации сапрофитных бактерий связан с весенним пиком развития бактериопланктона и фитопланктона, когда морская среда обогащается лабильным органическим веществом. В летний и осенний периоды в Двинском и Онежском заливах численность сапрофитных бактерий существенно меньше, чем весной.

В целом можно отметить наличие некоторого положительного тренда, связанного с изменением климата, в численности и изменения в видовом составе бактериопланктона.

Морские птицы. Формирование и развитие в Белом море стационарных полыней и расширение зон чистой воды под влиянием потепления климата позволяет не только зимовать здесь ряду перелетных водоплавающих птиц, но и благополучно существовать оседлым беломорским популяциям обыкновенной гаги и атлантического чистика. Этому благоприятствует снижение суровости зим и уменьшение ледовитости моря.

Морские млекопитающие. Льды Белого моря являются местом сосредоточения значительной по численности популяции гренландского тюленя. Здесь эти животные производят потомство, а весной вместе со льдами уходят на откорм в Баренцево море и соседние воды, распределяясь вдоль кромки отступающих на север льдов.

Наблюдаемое под влиянием изменения климата уменьшение ледовитости моря отрицательно сказывается на условиях воспроизводства беломорской популяции гренландского тюленя и ведет к снижению ее численности.

Марикультуры. Белое море — весьма перспективный район для активного развития марикульту-

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

ры. В настоящее время в Белом море существуют различные формы марикультуры: по воспроизводству стада дальневосточного лосося, искусственному выращиванию мидии *Mytilus edulis*, форелей, промысловых водорослей (ламинарии, анфельции, фукусов). Практикуется также интенсивное размножение беломорской сельди путем применения искусственных нерестилищ. Современное изменение климата создает благоприятные условия для развития марикультур в Белом море.

2.8.3.4. Баренцево море

Экосистемы заливов Баренцева моря в значительной степени обособлены от его открытой части, которая находится под влиянием теплого Северо-Атлантического течения. В климатическом отношении на Баренцево море влияет приток теплых атлантических вод, которые распространяются на восток (Нордкапское течение) и север моря.

Современные тенденции, обусловленные изменением климата, проявляются в повышении температуры воды, уменьшении ледовитости северной части моря и подъеме его уровня (среднегодовой уровень воды за 1970–2005 гг. поднялся на 10–12 см).

Состояние Баренцева моря ниже оценивается по данным, представленным в следующих публикациях: (Обзор экологического состояния..., 1991; Обзор экологического состояния..., 1992; Обзор экологического состояния..., 1993; Обзор экологического состояния..., 1996).

Промысловые объекты. Основное промысловое значение в Баренцевом море имеют треска (*Gadus macrocephalus*), пикша (*Melanogrammus aeglefinus*), мойва (*Mallotus villosus*), сайда (*Pollachius virens*), сельдь (*Clupea harengus*), а также креветки. Главным промысловым объектом является треска. Этот вид составляет около 90% общего вылова. В малом количестве вылавливаются палтус, полярная треска — сайка (*Boreogadus saida*), окунь, глубоководная креветка (*Pandalus borealis*). Морская камбала, американская камбала, зубатка, сайка являются попутными объектами при тресковом промысле. В последние годы запасы ряда видов массовых рыб в Баренцевом море значительно сократились. Влияние современного потепления на популяции рыб можно оценить как положительное.

Виды-вселенцы и возможная модификация экосистемы моря. В Баренцевом море зарегистрированы представители новых видов-вселенцев, которые могут привести к некоторой модификации морской экосистемы (GIWA Regional Assessment 11, 2004). К вселенцам следует отнести горбушу (*Oncorhynchus gorbuscha*), красного королевского краба (*Paralithodes camtschaticus*) и снежного краба (*Chionoecetes opilio*).

Есть свидетельства того, что после акклиматизации горбуша в период морской жизни конкурирует с атлантическим лососем — семгой (*Salmo salar*).

Красный королевский краб — вселенец из дальневосточных морей. После акклиматизации его популяция достигла промысловых размеров. Широкое распространение этого агрессивного вида краба в южных районах моря может привести к крупномасштабным изменениям в экосистеме моря.

Снежный краб проник в Баренцево море из Северо-Западной Атлантики и постепенно распространился в восточном направлении. Изменение климата способствует этому процессу.

Морские птицы. Морские птицы, как и морские млекопитающие, занимают высший трофический уровень консументов в морских экосистемах. В Баренцевом море обитает 24 разновидности морских птиц. Морская орнитофауна в южной части моря состоит из двух видов чаек (*Larus argentatus*, *Larus marinus*). В северной части моря доминируют два других вида чаек (*Larus hyperboreus*, *Fulmarus glacialis*). Самые большие колонии морских птиц расположены на западном побережье Новой Земли и на Мурманском берегу. В этих колониях доминируют кайры (*Uria lomvia*, *U. aalge*), чайки-моевки, тупици и исландская полярная чайка (*Rissa tridactyla*). Современные изменения климата способствуют проникновению североатлантических популяций морских птиц в Баренцево море.

Морские млекопитающие. Среди морских млекопитающих необходимо отметить белых медведей, китов и ластоногих. Большинство представителей ластоногих и китов занесено в Красную книгу редких и защищенных животных Баренцева моря.

В Баренцевом море обитает 12 разновидностей китов. Из них основными обитателями моря являются арктический гренландский кит (*Balaena mysticetus*), нарвал (*Monodon monoceros*), белый кит-белуха (*Delphinapterus leucas*) и малый остроносый кит (*Balaenoptera acutorostrata*). Наиболее распространенными являются белуха и малый остроносый кит; они считаются промысловыми видами. Современные изменения климата приводят к увеличению численности китов в Баренцевом море.

В Баренцевом море обитают семь разновидностей ластоногих. Наиболее многочисленным видом является гренландский тюлень (*Pagophilus groenlandica*), условия обитания которого полностью связаны с кромкой арктических льдов, которая сдвигается к северу из-за потепления климата.

Сокращение площади арктических льдов, вызванное изменением климата, угрожает существованию белого медведя (*Thalassarctos (Ursus)*

maritimus) — редкого охраняемого вида, обитающего у берегов Земли Франца-Иосифа, Новой Земли и Шпицбергена.

2.8.3.5. Карское море

Бентос. Исследование биомассы многощетинковых червей (полихет) в Карском море в 1993–1994 гг. показало ее повсеместное увеличение с 1975 г. Оно произошло в основном в результате роста биомассы вида *Spiochaetopterus typicus* в Байдарацкой губе. Этот вид был ранее отмечен в 1945 г., но не обнаружен в 1975 г. (Фауна беспозвоночных..., 2003).

В. Н. Семенов (1989) высказал предположение о том, что причиной перестроек бентосных сообществ Карского моря являются долговременные изменения климата. Он учел естественное запаздывание реакции биологических сообществ на изменение климата на 5–7 лет и при этом предположении обнаружил некоторую связь происходящих изменений бентоса с аномалиями среднегодовой температуры. Данные об аномалиях температуры в слое 0–200 м на разрезе “Кольский меридиан” были получены Ю. И. Галкиным (1986), эта работа была продолжена до 1995 г. Н. М. Адровым и С. Г. Денисенко (1996). Было показано, что съемке Карского моря 1993–1994 гг. предшествовал 9-летний период положительной аномалии температуры, начавшийся в 1984 г. Таким образом, можно полагать, что в изменении видового состава и пространственного распределения многощетинковых червей в Карском море прослеживается связь с изменением климата.

2.8.3.6. Чукотское море

Микробиологические показатели. Таксономическое разнообразие бактерий в Чукотском море оценивается в 11–12 родов. Анализ рядов данных наблюдений свидетельствует, что в 2002 г. плотность бактериальной микрофлоры Чукотского моря увеличилась в среднем в 1,5–2 раза по сравнению с уровнем 1993 г.; средняя численность гетеротрофных сапрофитных бактерий была в 3,7 раза больше, чем в 1993 г. (Динамика экосистем Берингова и Чукотского морей, 2000). Как и ранее, наиболее многочисленным бактериопланктон был в прибрежной юго-западной полосе моря — до 2316 тыс. кл/мл и до 60,22 мкг С/л. К 2004 г. отмечено увеличение частоты встречаемости проб со значениями численности гетеротрофных сапрофитных бактерий в десятки, тысячи и десятки тысяч клеток на миллилитр, что свидетельствует о росте численности бактерий этой группы. Эти вариации численности и биомассы бактериопланк-

тона обусловлены в большей степени факторами гидрологического и гидрохимического режимов разных районов моря.

Развитие микробиоценозов, масштабы количественных изменений показателей бактериопланктона и его активность находятся в прямой зависимости от абиотических и биотических факторов и, следовательно, могут динамично отражать высокоширотные климатические изменения (Израэль, Цыбань, 1989). При этом в морской среде могут возникать условия для техногенно-климатической эволюции микроорганизмов, сопровождающиеся накоплением штаммов и их переходом в патогенные для гидробионтов и человека формы.

Фитопланктон. В фитопланктоне открытых вод Чукотского моря определены 62 таксономические единицы водорослей (Динамика экосистем Берингова и Чукотского морей, 2000); по фитогеографической принадлежности таксоны Чукотского моря относятся в основном к космополитам (28 из 45 видов с известным ареалом), и только 4 вида имеют тропический ареал.

Фитопланктон тесно связан с ледовым режимом моря (Cross, 1997). В южной части Чукотского моря отмечено влияние состояния льда на “цветение” двух групп фитопланктона, первая из которых характерна для шельфа в районе таяния льда, а вторая — для области свала глубин. Обращает на себя внимание развитие фитопланктона на нижней стороне льда в тот период, когда водная толща сама по себе непродуктивна ((Исследование экосистемы Берингова моря, 1983; Цыбань и др., 1992а, 1992б). Именно в этом биотопе (лед и его нижняя поверхность) процессы потепления арктического климата, приводящие в том числе к утончению льда и опреснению подледного слоя воды, могут вызвать наиболее выраженные изменения специфических фитоценозов (Eppley, 1972).

Можно полагать, что влияние изменения климата на состояние фитопланктона незначительно по сравнению с пространственными вариациями по акватории Чукотского моря.

Продукционно-деструкционные процессы. Первичная продукция органического вещества, синтезированного фитопланктоном, является энергетической основой биологической продуктивности морских экосистем. Она имеет первостепенное значение для понимания протекания биологических и других процессов и во многом отражает состояние биотических и абиотических (климатических и др.) параметров морской среды.

Анализ результатов долгопериодных исследований свидетельствует о том, что интенсивность продукционно-деструкционных процессов в море достаточно высока, и она значительно варьирует не только по акваториям в течение сезона, но и по годам (Динамика экосистем Берингова и Чу-

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

котского морей, 2000). В 2002 г. максимальные значения первичной продукции были отмечены на юге Чукотского моря — на выходе из Берингова пролива (до 2,1 г С/м² в сутки) и на северо-западе вблизи о. Врангеля. Скорость новообразования органического вещества в районах пакового льда оказалась сравнительно высока — в среднем 0,9 г С/м² в сутки. Предположительно в Чукотском море в процессе фотосинтеза за вегетационный период может ассимилироваться до 8,2 т углерода. Процесс образования первичной продукции существенно влияет на интенсивность обмена углекислоты и кислорода между океаном и атмосферой (Израэль, Цыбань, 1989; Израэль и др., 1992) и тем самым оказывает воздействие на климатические процессы (на содержание диоксида углерода в атмосфере и опосредствованно на парниковый эффект).

Зоопланктон. В составе мезозоопланктона Чукотского моря в 2002 г. насчитывали 53 таксона. Практически повсеместно доминировали веслоногие рачки копеподы — до 91 и 94% общей численности и биомассы соответственно. В основном это — эврибионтные виды. Обнаружены также и эвклистичные виды гидромедуз, аппендикулярий. В большинстве исследованных районов плотных скоплений зоопланктонных организмов на поверхностных горизонтах не наблюдалось, вероятно, из-за низкой, иногда отрицательной, температуры. В целом сравнительный анализ характеристик мезозоопланктона за период 1988–2002 гг. показал, что существенных изменений его численности и биомассы в Чукотском море не произошло, но отмечена тенденция уменьшения численности и биомассы зоопланктона в северной части моря (Исследование экосистемы Берингова моря, 1990; Динамика экосистем Берингова и Чукотского морей, 2000; Цыбань и др., 1992а, 1992б).

2.8.3.7. Берингово море

Микробиологические показатели. По данным исследований состояния бактериопланктона Берингова моря в 1981–1993 гг. было показано, что в 1993 г. по сравнению с 1981 г. численность бактериопланктона увеличилась в 3,4 раза и в 19 раз увеличилась суточная продукция бактериальной биомассы. Наибольшая плотность бактериального населения в Беринговом море в 1993 г. была определена в мелководном Бристольском заливе. Максимальная плотность бактериального населения в южной глубоководной части Берингова моря была в 1988 г., наименьшая — в 1984 г. (Цыбань и др., 2000).

Суточная продукция бактериальной биомассы в 1993 г. увеличилась в 15 раз относительно 1981 г. и совсем незначительно по сравнению с 1988 г. Средние значения суточной продукции бактерио-

планктона в 1984 г. были в 5,6 раза больше по сравнению с 1981 г. Суточная продукция бактериальной биомассы в среднем увеличилась в 1,3 раза по сравнению с биомассой в 1984 г.

Таким образом, в период с 1981 по 1993 г. в эпипелагиали Берингова моря численность бактериопланктона увеличилась в среднем в 4,0 раза и в 6,7 раза суточная продукция бактериальной биомассы, что свидетельствует о тенденции эвтрофирования под воздействием антропогенных факторов и, возможно, изменения климата (Цыбань и др., 2000).

Анадырский залив Берингова моря сравнительно мелководен (глубины менее 100 м). В 1993 г. по сравнению с 1988 г. отмечено резкое увеличение суточной продукции бактериальной биомассы.

Водные массы берингоморского шельфа в районе о-ва Св. Лаврентия характеризуются обилием микроорганизмов. Исследования подтверждают существенные изменения показателей микрофлоры. За 12 лет значительно увеличилась общая численность бактерий (в 4,0 раза) и суточная продукция бактериальной биомассы (в 3,8 раза) (Цыбань и др., 2000).

Фитопланктон. Видовой состав фитопланктона Берингова моря в 1993 г. по изученным пробам состоял из 155 видов, разновидностей и форм и по своему составу был таким же, что и в предыдущие годы (Вентцель, 1991; Цыбань и др., 1992а, 1992б; Серова и др., 2000). Флора Берингова моря включала представителей 7 отделов; доминировали диатомовые водоросли (*Bacillariophyta*). В этом отделе таксономическим разнообразием выделялся *Chaetoceros* — 25 видов, а в отделе *Pyrrophyta* наибольшее количество видов относилось к роду *Peridinium*. По фитогеографической принадлежности (Семина, 1960, 1974, 1981) большая часть зарегистрированных диатомовых водорослей Берингова моря относилась к космополитам (42%) и арктобореальным видам (24%), но была выявлена также существенная доля диатомовых видов фитопланктона с тропическим ареалом — до 20%, а в отделе *Pyrrophyta* тропических видов насчитывалось до 13%.

В период таяния льда диатомовые водоросли достигают таких скоплений, что становится видимой коричневая окраска нижней поверхности плавающих льдов. Визуально это “ледовое цветение” представляется более мощным, чем плотное диатомовое “цветение” летнего фитопланктона (Polar Marine Diatoms, 1990). Только что растаявший лед шельфовой зоны заселен плотными популяциями рода *Thalassiosira* и относительно небольшими популяциями *Nitzschia*, *Fragilariopsis* и *Navicula* sp.

Количество выявленных видов с тропическим типом ареала в 1993 г. в условиях повышения температуры воды в западной части Берингова моря увеличилось по сравнению с данными, по-

лученными несколько десятилетий назад (Сеничкина, 1987; Серова и др., 2000). Выявленное статистически достоверное увеличение доли тропических видов в сборах 1993 г. по сравнению с материалами 1950-х годов (Семина, 1960, 1974, 1981; Сеничкина, 1987) представляет значительный интерес, в том числе и с точки зрения оценки воздействия изменения климата на морской фитопланктон.

Зоопланктон. По данным исследований ИГКЭ, проведенных с 1981 по 1993 г., была показана тенденция уменьшения видового разнообразия зоопланктона на северном и восточном шельфе моря и в бассейне Чирикова. В южной и центральной части моря в 1993 г. по сравнению с 1988 г. в таксономическом составе зоопланктона значительных изменений не наблюдалось. В 1993 г. повсеместно возросла роль двух экологически пластичных видов копепод — мелкоразмерных *Oithona similis* и *Pseudocalanus minutus* (Куликов, Шука, 2000).

В глубоководных районах Берингова моря в период 1981–1993 гг. численность зоопланктона изменялась не более чем в 2 раза, в то время как в Анадырском заливе и на северном шельфе колебания численности зоопланктона составляли порядок. В целом в период исследований отмечено снижение общей численности зоопланктона.

2.8.4. Литература

- Адров Н. М., Денисенко С. Г., 1996.** Океанографическая характеристика Печорского моря, в кн.: Биоценозы гляциальных шельфов Западной Арктики, Апатиты, Изд-во КНЦ РАН, с. 166–179.
- Алексеев Г. В., 2003.** Исследования изменений климата Арктики в XX столетии, Труды ААНИИ, т. 446, с. 6–21.
- Алексеев Г. В. (ред.), 2004.** Формирование и динамика современного климата Арктики, СПб, Гидрометеиздат, 400 с.
- Алексеев Г. В., Иванов Н. Е., 2003.** Региональные и сезонные особенности потеплений Арктики в 1930-е и 1990-е годы, Труды ААНИИ, т. 446, с. 41–47.
- Алексеев Г. В., Захаров В. Ф., Иванов Н. Е., 2006.** Изменения современного климата Арктики, Труды ААНИИ, т. 447.
- Александров Е. И., Дементьев А. А., 1995.** База приземных метеорологических данных полярных районов и ее использование, в кн.: Формирование базы данных по морским льдам и гидрометеорологии, СПб, Гидрометеиздат, с. 67–75.
- Асмус В. В., Кровотынцев В. А., Милехин О. Е., Тренина И. С., 2005.** Исследование многолетней динамики морского льда в Арктике по спутниковым радиолокационным данным, в сб.: Вопросы обработки и интерпретации данных дистанционного зондирования Земли, Труды НИЦ “Планета”, т. 46, № 1, с. 155–172.
- Бузуев А. Я., Федяков В. Е., 1983.** Комплекс характеристик ледяного покрова при разработке рекомендаций для судоходства, в кн.: Вопросы повышения прочности и надежности морских портовых сооружений, М., Транспорт, с. 89–97.
- Вентцель М. В., 1991.** Фитопланктон открытой и шельфовой области Берингова моря, Океанология, т. 31, № 2, с. 252–258.
- Визе В. Ю., 1937.** Причины потепления Арктики, Советская Арктика, № 1.
- Галкин Ю. И., 1986.** Многолетние изменения донной фауны в бентали Баренцева моря, Апатиты, Изд-во КФ АН СССР, с. 43–52.
- Гудкович З. М., Карклин В. П., Фролов И. Е., 2005.** Внутривековые изменения климата, площади ледяного покрова Евразийских арктических морей и их возможные причины, Метеорология и гидрология, № 6, с. 5–14.
- Динамика экосистем Берингова и Чукотского морей, 2000.** Вып. 4, под ред. Ю. А. Израэля, А. В. Цыбань, М., Наука, 357 с.
- Жигалова Н. Н., Пужакова Л. И., 2002.** Состояние и межгодовая динамика развития зоопланктона в водах южной Балтики в 1997–2001 гг., в сб.: Промыслово-биологические исследования АтлантНИРО в 2000–2001 годах, т. 2, Балтийское море, Калининград, Изд-во АтлантНИРО, с. 12–24.
- Израэль Ю. А., Цыбань А. В., 1989.** Антропогенная экология океана, Л., Гидрометеиздат, 528 с.
- Израэль Ю. А., Цыбань А. В., Уитледж Т. Е. и др., 1992.** Морские и полярные экосистемы и климат, в кн.: Исследование экосистем Берингова и Чукотского морей, вып. 3, СПб, Гидрометеиздат, с. 26–34.
- Исследование экосистемы Берингова моря, 1983.** Вып. 1, под ред. Ю. А. Израэля, А. В. Цыбань, Л., Гидрометеиздат, 157 с.
- Исследование экосистемы Берингова моря, 1990.** Вып. 2, под ред. Ю. А. Израэля, А. В. Цыбань, Л., Гидрометеиздат, 344 с.
- Исследование экосистемы Балтийского моря, 2005.** Под ред. Ю. А. Израэля, А. В. Цыбань, СПб, Гидрометеиздат, 324 с.
- Карасева Е. М., 2006.** Многолетняя изменчивость сроков массового нереста трески *Gadus morhua callarias* (*Gadidae*) в юго-восточной части Балтийского моря, Вопросы ихтиологии, т. 46, № 3, с. 345–355.
- Карасева Е. М., Зазера А. С., 2002.** Межгодовая изменчивость нерестового биотопа балтийского шпрота в весенние сезоны 1992–2000 годов и ее влияние на распределение икры и урожайности поколений, в сб.: Промыслово-биологические исследования АтлантНИРО в 2000–

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

- 2001 годах, т. 2, Балтийское море, Калининград, Изд-во АтлантНИРО, с. 24–37.
- Карклин В. П., Юлин А. В., Карелин И. Д., Иванов В. В., 2001.** Климатические колебания ледовитости арктических морей сибирского шельфа, Труды ААНИИ, т. 443, с. 5–11.
- Куликов А. С., Шука Т. А., 2000.** Характеристика зоопланктона эпипелагиали, в кн.: Динамика экосистем Берингова и Чукотского морей, М., Наука, с. 141–163.
- Науменко Е. Н., Полунина Ю. Ю., 2000.** *Cercopagis pengoi* (Ostroumov, 1891) (*Crustacea, Cladocera*) — новый вселенец в Вислинский залив Балтийского моря, в сб.: Виды-вселенцы в европейских морях России, Мурманск, ММБИ КНЦ РАН, с. 121–129.
- Наумов А. К., Зубакин Г. К., Гудошников Ю. П., Бузин И. В., Скутин А. А., 2003.** Льды и айсберги в районе Штокмановского газоконденсатного месторождения, Труды РАО-03, СПб, с. 337–342.
- Обзор загрязнения окружающей природной среды в Российской Федерации за 1997 г., 1998.** М., Центр международных проектов.
- Обзор экологического состояния морей СССР и отдельных районов Мирового океана за 1990 г., 1991.** Л., Гидрометеиздат, 144 с.
- Обзор экологического состояния морей Российской Федерации и отдельных районов Мирового океана за 1991 г., 1992.** Л., Гидрометеиздат, 189 с.
- Обзор экологического состояния морей Российской Федерации и отдельных районов Мирового океана за 1992 г., 1993.** Л., Гидрометеиздат, 174 с.
- Обзор экологического состояния морей Российской Федерации и отдельных районов Мирового океана за 1993–1995 гг., 1996.** М., ИГКЭ, 186 с.
- Родионова Н. В., Крылов П. И., Панов В. Е., 2005.** Проникновение хищной понто-каспийской кладоцеры *Cornigerius maeoticus maeoticus* (Pengo, 1879) в Балтийское море, Океанология, т. 45, № 1, с. 73–75.
- Семенов В. Н., 1989.** Многолетние изменения биоценозов донной фауны Карского моря и соседних акваторий, в сб.: Экология и биоресурсы Карского моря, Апатиты, Изд-во КНЦ АН СССР, с. 145–150.
- Семенова С. Н., Смыслов В. А., 2005.** Состояние фитоценоза Куршского залива Балтийского моря на рубеже XX–XXI веков, в сб.: Гидробиологические исследования в бассейне Балтийского моря, Атлантическом и Тихом океанах на рубеже тысячелетий, Калининград, Изд-во АтлантНИРО, с. 17–64.
- Семина Г. И., 1960.** Качественный состав фитопланктона Берингова моря. 1. Золотистые, перидиниевые и разножгутиковые водоросли, Ботанические материалы отдела споровых растений Ботанического института им. В. Л. Комарова, т. 13, с. 35–43.
- Семина Г. И., 1974.** Фитопланктон Тихого океана, М., Наука, 239 с.
- Семина Г. И., 1981.** Качественный состав фитопланктона западной части Берингова моря и прилежащей части Тихого океана. 2. Диатомовые водоросли, в кн.: Экология морского фитопланктона, М., Институт океанологии АН СССР, с. 6–32.
- Сеничкина Л. Г., 1987.** Мелкие жгутиковые водоросли в летнем планктоне Берингова моря, Тезисы докладов III съезда советских океанологов, секция “Биология океана”, Л., Гидрометеиздат, ч. 3, с. 87–88.
- Серова Е. М., Шука Т. А., Вентцель М. В., 2000.** Состав и функциональные свойства планктонных сообществ, в кн.: Динамика экосистем Берингова и Чукотского морей, М., Наука, с. 122–140.
- Стратегический прогноз на период до 2010–2015 годов о влиянии ожидаемых изменений климата на отрасли экономики России и их проявлении в отдельных регионах страны, 2005.** Доклад Правительства Российской Федерации, М., Росгидромет.
- Телеш И. В., Литвинчук Л. Ф., Большагин П. В., Крылов П. И., Панов В. Е., 2000.** Особенности биологии понто-каспийского вида *Cercopagis pengoi* (Ostroumov, 1891) (*Crustacea, Cladocera*) в Балтийском море, в сб.: Виды-вселенцы в европейских морях России, Мурманск, ММБИ КНЦ РАН, с. 130–151.
- Фауна беспозвоночных Карского, Баренцева и Белого морей, 2003.** Отв. ред. Г. Г. Матишов, Апатиты, Изд-во КНЦ РАН, 385 с.
- Фельдман В. Н., Назаров Н. А., Зезера А. С., 1998.** Многолетняя динамика запасов промысловых рыб Балтийского моря и влияние на нее факторов окружающей среды и промысла, в сб.: Промыслово-биологические исследования АтлантНИРО в Балтийском море в 1996–1997 гг., сборник научных трудов АтлантНИРО, с. 6–12.
- Филиппов В. В., Жуков М. А., 2004.** Проблемы устойчивого развития арктической зоны Российской Федерации. Аналитический доклад, <http://www.arctictoday.ru>.
- Фролов И. Е., Гудкович З. М., Карклин В. П., Ковалев Е. Г., Смоляницкий В. М., 2007.** Климатические изменения ледяного покрова морей Евразийского шельфа (в печати).
- Цыбань А. В., Иваница В. А., Худченко Г. В., Панов Г. В., Барина С. П., 1992а.** Таксономический состав гетеротрофных бактерий, в кн.: Исследование экосистем Берингова и Чукотского морей, СПб, Гидрометеиздат, с. 166–177.
- Цыбань А. В., Куликов А. С., Корсак М. Н. и др., 1992б.** Комплексная экологическая оценка со-

- стояния планктонного сообщества Берингова моря в июне 1981 г., в кн.: Исследование экосистем Берингова и Чукотского морей, вып. 3, СПб, Гидрометеиздат.
- Цыбань А. В., Кудрявцев В. М., Умбрумянц И. О., Родыгин Н. А., 2000.** Количественные аспекты развития микробных популяций и их распределение, в кн.: Динамика экосистем Берингова и Чукотского морей, М., Наука, с. 74–92.
- ACIA, Impacts of Warming Arctic: Arctic Climate Impact Assessment, 2004.** Cambridge University Press, 139 p.
- Belchansky G. I., Douglas D. C., et al., 2005.** Variations in the Arctic's multiyear sea ice cover: A neural network analysis of SMMR-SSM/I data, 1979–2004, *Geophys. Res. Lett.*, vol. 32, L09605.
- Climate Change 2007, 2007a.** The Physical Science Basis. Summary for Policymakers. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, <http://www.ipcc.ch/>.
- Climate Change 2007, 2007b.** Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Parry M. L., Canziani O. F., Palutikof J. P., van der Linden P. J., and Hanson C. E., eds., Cambridge, UK, Cambridge University Press, 976 p.
- Climate Change in the Baltic Sea Area, 2006.** Draft HELCOM Thematic Assessment in 2006, HELCOM Stakeholder Conference on the Baltic Sea Action Plan, Helsinki, Finland, 7 March 2006.
- Cross W. E., 1997.** Under-ice biota the Pond Inlet ice edge and in adjacent fast ice areas during spring, *Arctic*, vol. 35, pp. 13–27.
- Eppley R. W., 1972.** Temperature and phytoplankton growth in the sea, *Fisheries Bulletin*, vol. 70, pp. 1063–1085.
- GIWA Regional Assessment 11, 2004.** Global International Waters Assessment Barents Sea, United Nations Environment Programme, University of Kalmar.
- Grabowski M., Jazdzewski K., and Konopacka A., 2007.** Alien Crustacea in Polish waters — *Amphipoda*, *Aquatic Invasions*, vol. 2, No. 1, pp. 25–38.
- Green R. E., Harley M., Spalding M., and Zockler C. (eds.), 1999.** Impacts of Climate Change on Wildlife, RSBP/UNEP WCMC Publication, 79 p.
- Hansson H. G., 2006.** Ctenophores of the Baltic and adjacent seas — the invader *Mnemiopsis* is here!, *Aquatic Invasions*, vol. 1, No. 4, pp. 295–298, <http://www.aquaticinvasions.ru>.
- Javidpour J., Sommer U., and Shiganova T., 2006.** First record of *Mnemiopsis leidyi* A. Agassiz, 1865 in the Baltic Sea, *Aquatic Invasions*, vol. 1, No. 4, pp. 299–302, <http://www.aquaticinvasions.ru>.
- McLaren A. S., Bourke R. H., Walsh J. E., and Weaver R. L., 1994.** Variability in sea ice thickness over the North Pole from 1958 to 1992, in: *Polar Oceans and their Role in Shaping the Global Environment*, Johannessen O. M., Muench R. D., and Overland J. E. (eds.), Amer. Geophys. Union, pp. 363–371.
- NSIDC News, 2005.** Sea Ice Decline Intensifies, <http://nsidc.org>.
- Polar Marine Diatoms, 1990.** Medlin L. K. and Priddle J. (eds.), British Antarctic Survey, National Environmental Research Council.
- Rodionova N. V. and Panov V. E., 2006.** Establishment of the Ponto-Caspian predatory cladoceran *Evadne anonyx* in the eastern Gulf of Finland, *Baltic Sea, Aquatic Invasions*, vol. 1, iss. 1, pp. 7–12, <http://www.aquaticinvasions.ru>.
- Rothrock D. A. and Maykut Y. Y., 1999.** Thinning of the Arctic sea ice cover, *Geophys. Res. Lett.*, vol. 26, No. 23, pp. 3469–3472.
- Shchuka T. A., 2005.** Certain aspects of the zooplankton community state in the different parts of the Baltic Sea at the end 1990s—beginning of the 2000s years, in: *The Baltic Changing Ecosystem*, Abstracts 5th Baltic Sea Science Congress, Sopot, Poland, p. 132.
- Shy T. L. and Walsh J. E., 1996.** North Pole ice thickness and association with ice ocean history 1977–1992, 1979–1986, *Geophys. Res. Lett.*, vol. 23, pp. 2975–2978.
- Zubakin G. K., Naumov A. K., and Skutina Ye. A., 2005.** Icebergs of the western sector of the Russian Arctic, *Proc. 18th Int. Conf. on Port and Ocean Eng. under Arctic Conditions*, POAC-05, vol. 2, pp. 565–574.

2.9. ЮЖНЫЕ МОРЯ

Ведущие авторы: А. Г. Костяной, Ф. С. Терзиев

Авторы: А. И. Гинзбург, Г. В. Заклинский

Ю. Г. Филиппов, С. А. Лебедев, Н. П. Незлин, Н. А. Шеремет

Редактор-рецензент: А. Н. Косарев

2.9.1. Вводные замечания

Южные моря России (Черное, Азовское, Каспийское) с районами их водосбора вследствие сво-

его географического положения и размеров занимают один или несколько климатических поясов и могут в большей или меньшей степени откликаться на изменения регионального климата (Гидрометеорология..., 1991a; Гидрометеорология..., 1992; Абузьяров, 2003; Терзиев, 2005). У каждого моря в его гидрометеорологическом режиме есть свои наиболее важные параметры, изменение которых оказывает существенное влияние на хозяйственную деятельность. К таким параметрам отно-

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

сятся: уровень моря для замкнутого Каспийского моря и соленость воды для полузамкнутого Азовского моря. И тот, и другой параметры зависят от соотношения составляющих водного баланса этих морей и, в первую очередь, от притока речных вод. Последний имеет непосредственную связь с режимом увлажнения на водосборе впадающих в море рек, который зависит от характера атмосферной циркуляции в районе водосбора, т. е. от климатического обусловленного процесса. К числу климатических факторов, определяющих режим увлажнения, относятся атмосферные процессы над Атлантико-Европейским сектором Северного полушария.

2.9.2. Черное море

Сток рек. Площадь водосбора рек черноморского бассейна — около 1875 тыс. км² (из них примерно 216 тыс. км² — площадь с незначительным стоком) (Гидрометеорология..., 1991б). Средний многолетний речной сток за период с 1923 по 1998 г. составил 336 км³/год (Гидрометеорология..., 1991б; Горячкин, Иванов, 2006). При этом сток Дуная, имеющий среднее многолетнее значение примерно 200 км³/год (расход около 6500 м³/с), обеспечивает вместе с Днестром и Днепром 80% суммарного речного стока в море.

Выполненный в работе (Гидрометеорология..., 1991б) анализ данных о месячных и годовых зна-

чениях суммарного речного стока в Черное море за многолетний период указывает на отсутствие значимого влияния антропогенного фактора. Важным является, по-видимому, изменение климата, влияющее на увлажненность водосбора моря. В период 1860–2000 гг. сток Дуная увеличивался при заметной межгодовой изменчивости в среднем с положительным трендом 0,126 км³/год (рис. 2.9.1; см. Горячкин, Иванов, 2006; Mikhailov and Mikhailova, 2008).

Уровень моря. Уровень Черного моря, как и любого другого внутреннего бассейна, имеет ярко выраженную сезонную изменчивость, обусловленную в первую очередь речным стоком (в основном стоком Дуная и Днепра). Сезонная изменчивость уровня моря в среднем не превышает 20 см (Гидрометеорология..., 1991б). Однако из-за географического положения и большой площади водосбора Черного моря (817 тыс. км² для Дуная и 505 тыс. км² для Днепра) эта изменчивость подвержена влиянию климатических изменений. За последние сто лет уровень Черного моря, по данным уровнемерных постов, увеличился на 20 см (Гидрометеорология..., 1991б).

С начала наблюдений на уровнемерных постах (с 1875 г.) до 20-х годов XX столетия уровень Черного моря был относительно стабильным с небольшой тенденцией к понижению. С середины 1920-х годов до примерно 1985 г. наблюдалось повышение уровня со скоростью $1,83 \pm 0,7$ мм/год

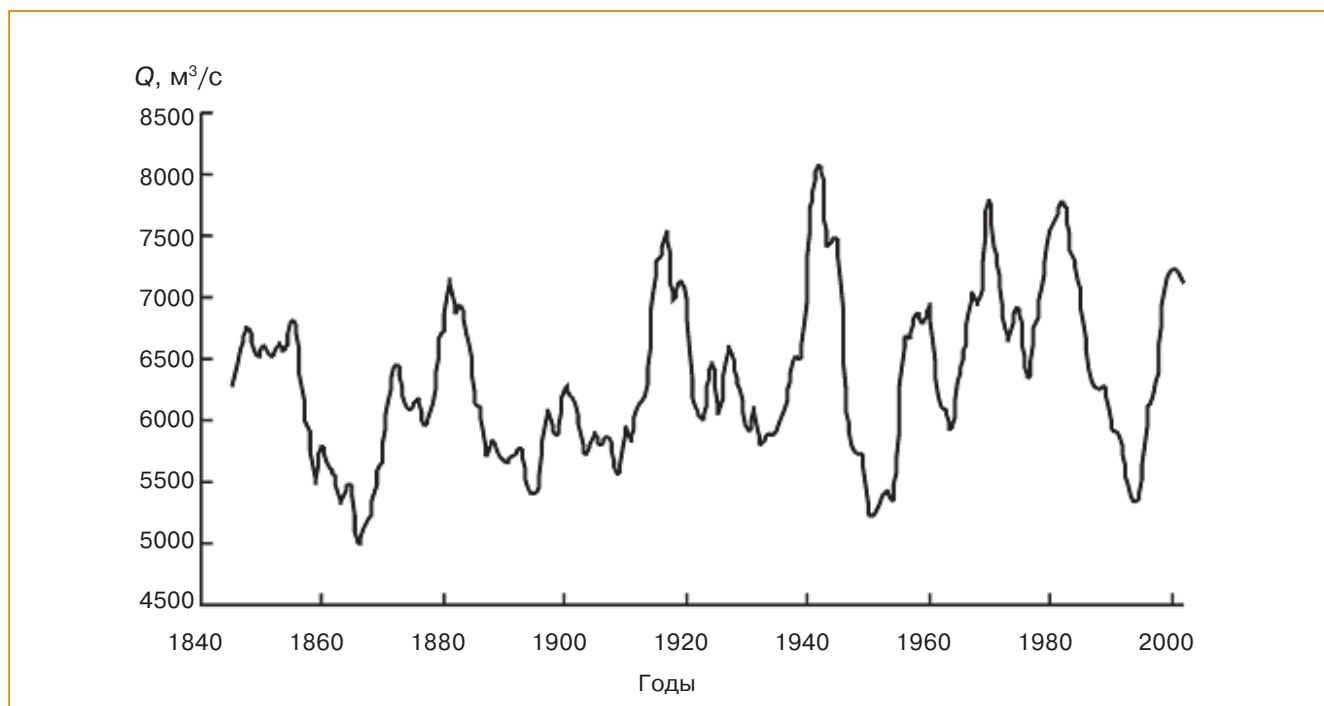


Рис. 2.9.1. Межгодовая изменчивость расхода Дуная Q в вершине дельты в 1840–2002 гг. (осреднение за 6 лет со скользящим средним) (Mikhailov and Mikhailova, 2008).

(Рева, 1997; Горячкин, Иванов, 2006). В частности, в Туапсе с 1917 по 2002 г. уровень повышался со средней скоростью 2,3 мм/год (рис. 2.9.2; Kosarev et al., 2008).

С сентября 1992 г. по настоящее время изменчивость уровня Черного моря хорошо прослеживается по данным спутниковой альтиметрии (рис. 2.9.3). Результаты расчетов показали, что за период с 1993 по 2005 г. уровень в западной части моря рос со скоростью $1,9 \pm 0,2$ см/год, а в восточной части $2,09 \pm 0,2$ см/год. В целом за этот интервал времени скорость изменения уровня всего моря составила $2,06 \pm 0,3$ см/год.

Более подробный анализ показал, что в 1999 г. произошло значительное изменение скорости повышения уровня как Средиземного, так и Черного моря (Vigo et al., 2005). Согласно расчетам, с 1993 по 1999 г. скорость повышения уровня Черного моря в целом составляла $2,94 \pm 0,9$ см/год, а с 1999 по 2001 г. уровень уменьшался со скоростью $1,73 \pm 0,8$ см/год. С 2002 по 2004 г. снова имел место подъем уровня со скоростью $7,77 \pm 0,5$ см/год. Положительный (в среднем) тренд изменения уровня Черного моря находится в хорошем соот-

ветствии с увеличением уровня в Северной Атлантике и связан с общим повышением уровня в Мировом океане.

Сравнение оценок изменения уровня моря по данным равномерных постов и спутниковой альтиметрии показало их хорошее соответствие. Для временного интервала 1993–1995 гг. коэффициент корреляции составил от 0,73 до 0,83 (Kogotaev et al., 2001).

Соленость верхнего слоя моря. В 1960–1995 гг. происходили изменения солености и соответственно вертикальной стратификации в верхнем 300-метровом слое Черного моря. Период относительно больших значений солености поверхностного слоя 0–50 м в 1966–1975 гг. сменился периодом 1976–1995 гг., характеризующимся уменьшением солености в нем в среднем на 0,2‰ (при типичной солености открытого моря около 18‰). В главном термоклине, напротив, соленость в этот период увеличилась (на 0,33‰ на глубине 100 м и 0,14‰ на глубине 300 м), что привело к усилению стратификации вод и ослаблению вертикального обмена между поверхностным слоем моря и его глубинными водами (Shokurova and Belokopytov, 2006).

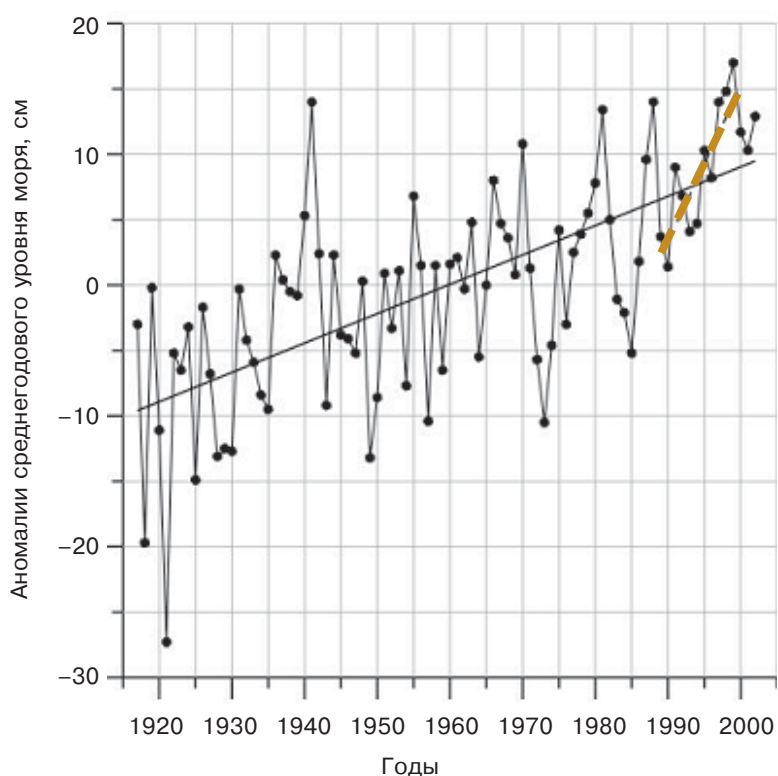


Рис. 2.9.2. Аномалии среднегодового уровня моря в Туапсе с 1917 по 2002 г. по данным Permanent Service for Mean Sea Level (<http://www.pol.ac.uk/psmsl/>). Прямая линия показывает средний тренд уровня моря за этот период; штриховая линия — тренд за период 1990–2000 гг. (Kosarev et al., 2008).

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

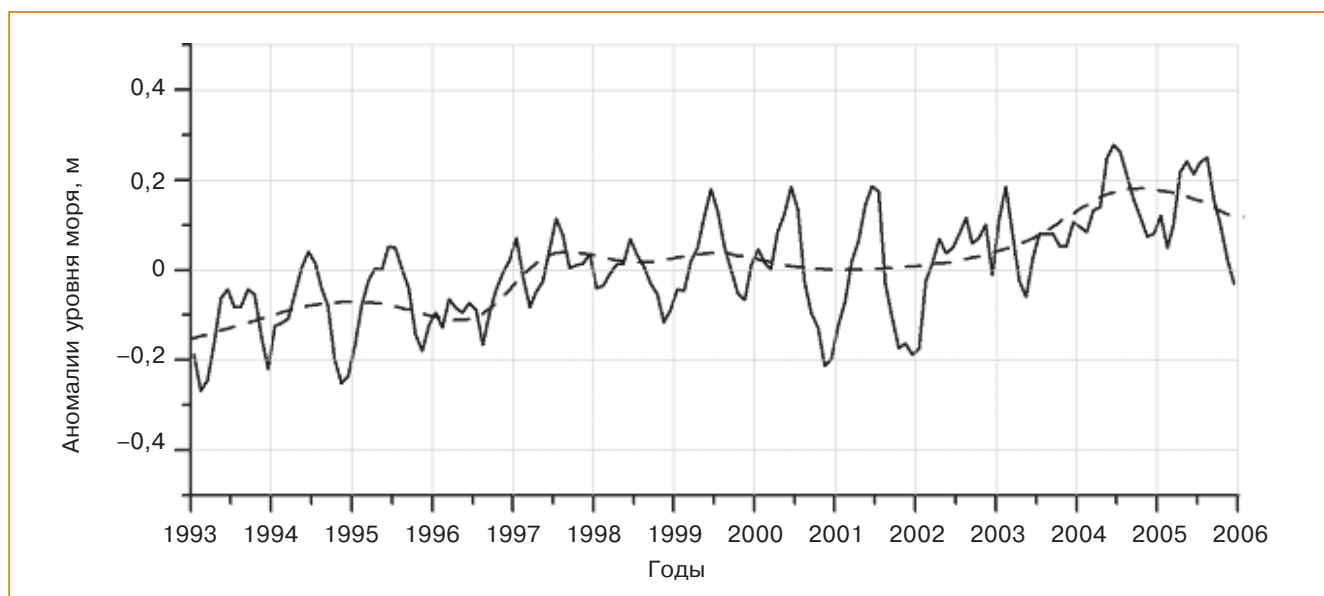


Рис. 2.9.3. Межгодовая изменчивость аномалий уровня Черного моря с января 1993 г. по декабрь 2005 г. по данным альтиметрических измерений спутников “TOPEX/Poseidon” и “Jason-1” (сплошная линия). Изменчивость их средних значений показана пунктиром. Рисунок подготовлен специально для данного доклада.

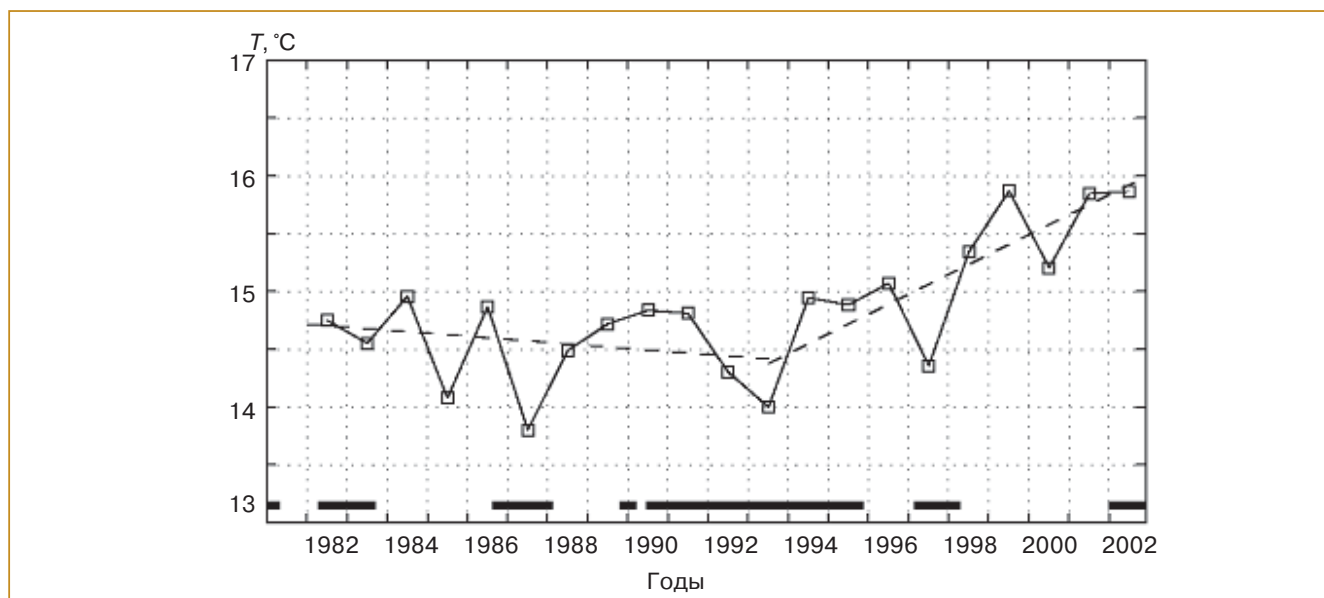


Рис. 2.9.4. Средняя годовая температура поверхности Черного моря в 1982–2002 гг. Пунктиром показаны тренды в 1982–1993 гг. и 1993–2002 гг. Жирными отрезками на горизонтальной оси отмечены периоды Эль-Ниньо (Ginzburg et al., 2008).

Температура верхнего слоя моря. Анализ комбинированных данных по температуре поверхности моря (ТПМ) спутниковых массивов NODS/MCSST и Pathfinder (Ginzburg et al., 2008) выявил положительный тренд осредненной по Черному морю среднегодовой ТПМ $0,06^{\circ}\text{C}/\text{год}$ в период 1982–2002 гг. (рис. 2.9.4). Потепление вод Черного моря происходило во все сезоны, причем наиболь-

ший положительный тренд температуры поверхности моря наблюдался весной и летом ($0,08$ и $0,09^{\circ}\text{C}/\text{год}$ соответственно), наименьший — зимой и осенью ($0,04^{\circ}\text{C}/\text{год}$). В период 1982–2002 гг. характер изменения среднегодовой и зимней температуры и соответствующих трендов значительно изменялся до и после самого холодного 1993 г., с понижением температуры поверхности моря в

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

среднем в 1982–1993 гг. и ее повышением в 1993–2002 гг. (рис. 2.9.4, 2.9.5). В теплое время года наблюдался в среднем устойчивый рост температуры поверхности моря в этот 21-летний период, хотя с увеличением темпа потепления после 1993 г. по сравнению с 1982–1993 гг. (рис. 2.9.6).

Потепление вод Черного моря в 1982–2000 гг. имело место в период глобального потепления, наблюдавшегося с конца 1970-х годов (Levitus et al., 2000; Rayner et al., 2003). Ему предшествовал, по-

видимому, период маломеняющейся температуры поверхности Черного моря, что подтверждается характером изменения средней за зиму температуры в 1957–1980 гг. (рис. 2.9.5), отсутствием однонаправленных изменений температуры поверхности моря на 19 гидрологических станциях вдоль западного, северного и восточного черноморских побережий в 1923–1985 гг. (Гидрометеорология..., 1991б), а также малым положительным трендом зимой (декабрь – март) температуры по-

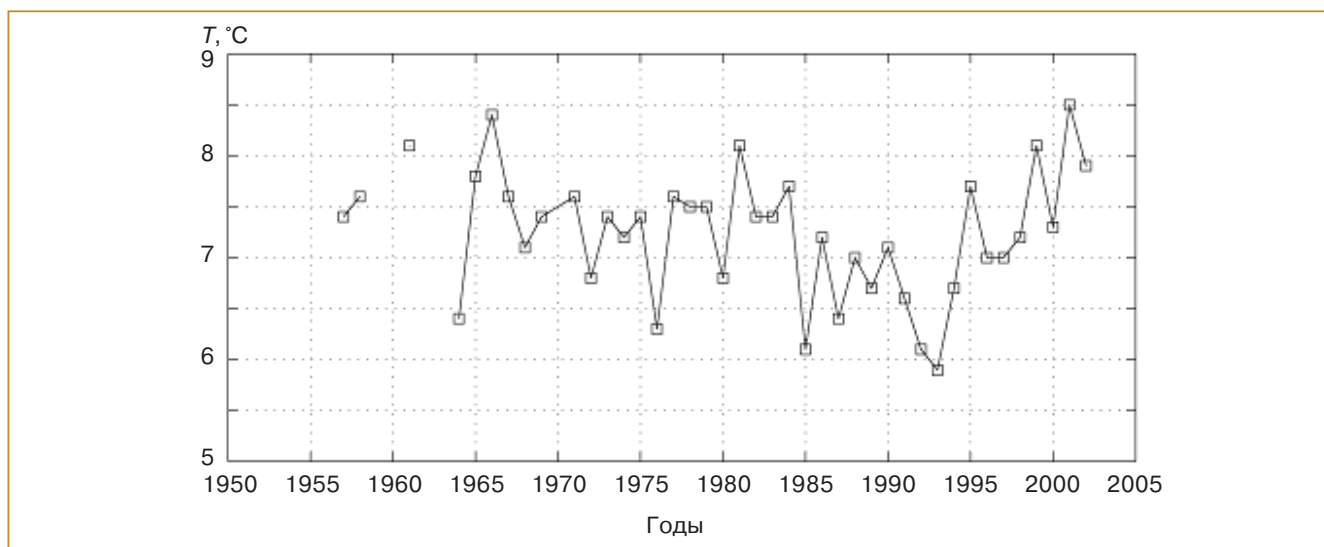


Рис. 2.9.5. Межгодовая изменчивость температуры поверхности Черного моря зимой (средняя за февраль – март) в 1957–2002 гг. по комбинированным гидрологическим (1957–1983 гг.) и спутниковым (1984–2002 гг.) данным (Ginzburg et al., 2008).

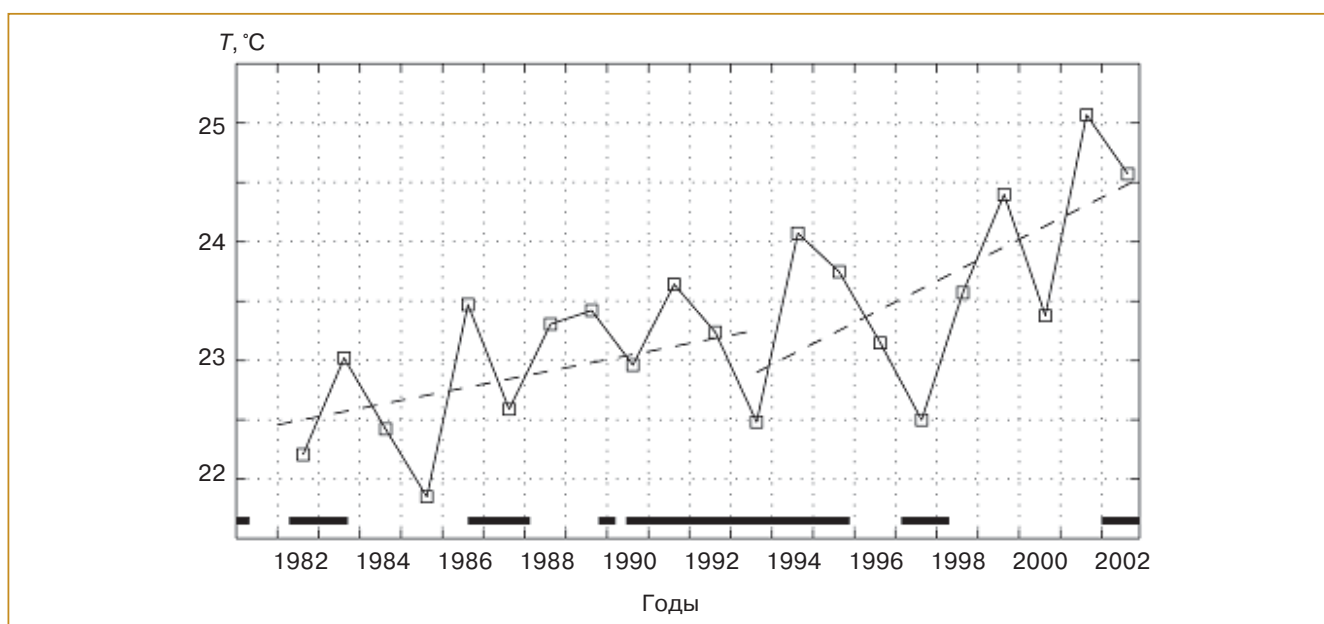


Рис. 2.9.6. Межгодовая изменчивость температуры поверхности Черного моря летом (средняя за июль – сентябрь) в 1982–2002 гг. Пунктирные линии показывают тренды температуры поверхности моря. Жирными отрезками на горизонтальной оси отмечены периоды Эль-Ниньо (Ginzburg et al., 2008).

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

верхности Черного моря за столетие с 1900 по 2000 г. — 0,0025°C/год (Oguz et al., 2006).

Понижение температуры в поверхностном (0–50 м) и холодном промежуточном (на глубине примерно 50–100 м) слоях Черного моря примерно на 1°C с конца 1960-х годов до примерно 1993 г. сопровождалось ее увеличением в главном термоклине (на 0,12°C на глубине 200 м и 0,04°C на глубине 300 м) (Shokurova and Belokorytov, 2006).

Межгодовая изменчивость температуры поверхности моря в значительной степени определяет изменения в экосистеме Черного моря (Ginzburg et al., 2008). Так, холодные зимы 1985 и 1987 гг. (рис. 2.9.5), по-видимому, препятствовали массовому развитию гребневика *Mnemiopsis leidyi*, вселившегося в Черное море в 1982–1983 гг. и представляющего угрозу рыбным запасам моря. Резкое уменьшение биомассы этого гребневика, последовавшее за его массовым развитием в конце 1980-х годов, произошло в холодные зимы 1991/92 и 1992/93 гг. Однако в теплом 1995 г. снова наблюдался рост его биомассы (Shiganova et al., 2001; Oguz, 2005). Массовое развитие другого гребневика *Beroe ovata*, отдельные особи которого обнаруживались в Черном море уже летом 1997 г., произошло летом 1999 г., что, возможно, было связано с аномально теплой зимой 1998/99 г. (рис. 2.9.5) и жарким летом 1999 г. (рис. 2.9.6) (Виноградов и др., 2000).

Плотность биомассы фитопланктона. Для районирования Черного моря использовался метод эмпирических ортогональных функций (Nezlin, 2008), позволяющий разделить море на участки, в которых происходят синхронные изменения хлорофилла. В результате были выделены: мелководный северо-западный шельф, юго-западный прибрежный район (вытянутый вдоль западного и южного берегов с их узким шельфом), восточный район (включающий Батумский круговорот и узкий восточный шельф) и центральный глубоководный район.

Сезонные изменения хлорофилла в трех глубоководных районах имели четкий минимум летом и максимум в холодный осенне-зимний период. Такой сезонный ход характерен для субтропических морей, где термическая стратификация летом ограничивает подток биогенных веществ и рост фитопланктона. Черное море с его крайне выраженной халинной стратификацией может быть отнесено к этому же типу. Как и в субтропических районах океана, зимние шторма интенсифицируют обогащение верхнего слоя биогенными веществами, что вызывает повышение биомассы фитопланктона.

Вся поверхность Черного моря характеризовалась положительными аномалиями хлорофилла в 1997–2001 гг. и отрицательными аномалиями начиная с 2002 г. (рис. 2.9.7). Особенно резко отри-

цательная аномалия хлорофилла была выражена на северо-западном шельфе в 2002–2003 гг. Межгодовые колебания хлорофилла во всех четырех районах были достоверно скоррелированы со стоком Дуная. Более интенсивный сток вызывал увеличение хлорофилла на северо-западном шельфе, а через 2–2,5 года — в других районах Черного моря. Кроме того, сток Дуная (скоррелированный в свою очередь с климатическим индексом Эль-Ниньо — южное колебание (Niño3) и не зависящий от индекса североатлантического колебания (NAO)) оказывал положительное влияние на температуру поверхности моря, что можно объяснить накоплением тепла в стратифицированном (в результате перепада солености вследствие распределения речным стоком) верхнем слое моря (Nezlin, 2008).

Некоторые авторы (Mikaelyan, 1995) связывают периодическое увеличение хлорофилла в Черном море с холодными зимами, во время которых усиливается циклоническая циркуляция и пикноклин в центральных районах моря поднимается выше обычного (подобный апвеллинг в других районах океана благоприятствует росту фитопланктона). Положительная связь между температурой поверхности моря и хлорофиллом указывает на доминирующую роль стока Дуная в межгодовой динамике черноморской пелагической экосистемы. Можно предположить два механизма такого влияния. Во-первых, дунайские воды несут в себе большое количество биогенных веществ, необходимых для роста фитопланктона. Во-вторых, сток пресных вод усиливает стратификацию, в результате чего клетки фитопланктона удерживаются в хорошо освещенном верхнем слое, что благоприятствует фотосинтезу и росту биомассы фитопланктона.

2.9.3. Азовское море

Сток рек, осадки и испарение. Сток рек, впадающих в Азовское море, с начала XX века (с 1900 г.) до середины 1970-х годов в среднем уменьшался (рис. 2.9.8, 2.9.9). С конца 1970-х годов по настоящее время наблюдается увеличение речного стока. Рисунок 2.9.8 показывает направления основных тенденций в многолетних изменениях стока рек Дон и Кубань в Азовское море. На рис. 2.9.9, 2.9.10 и 2.9.11 приведены измеренные значения и расчетные оценки естественного стока р. Дон в Азовское море, испарения с поверхности моря и осадков на его поверхность соответственно. Расчеты проводились для 11-летних средних, при этом в качестве предикторов использовались индексы западной *W*, меридиональной *S* и восточной *E* циркуляций (см. раздел 2.1.9).

Сток рек, испарение и осадки используются при составлении водного баланса моря. Годовой

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

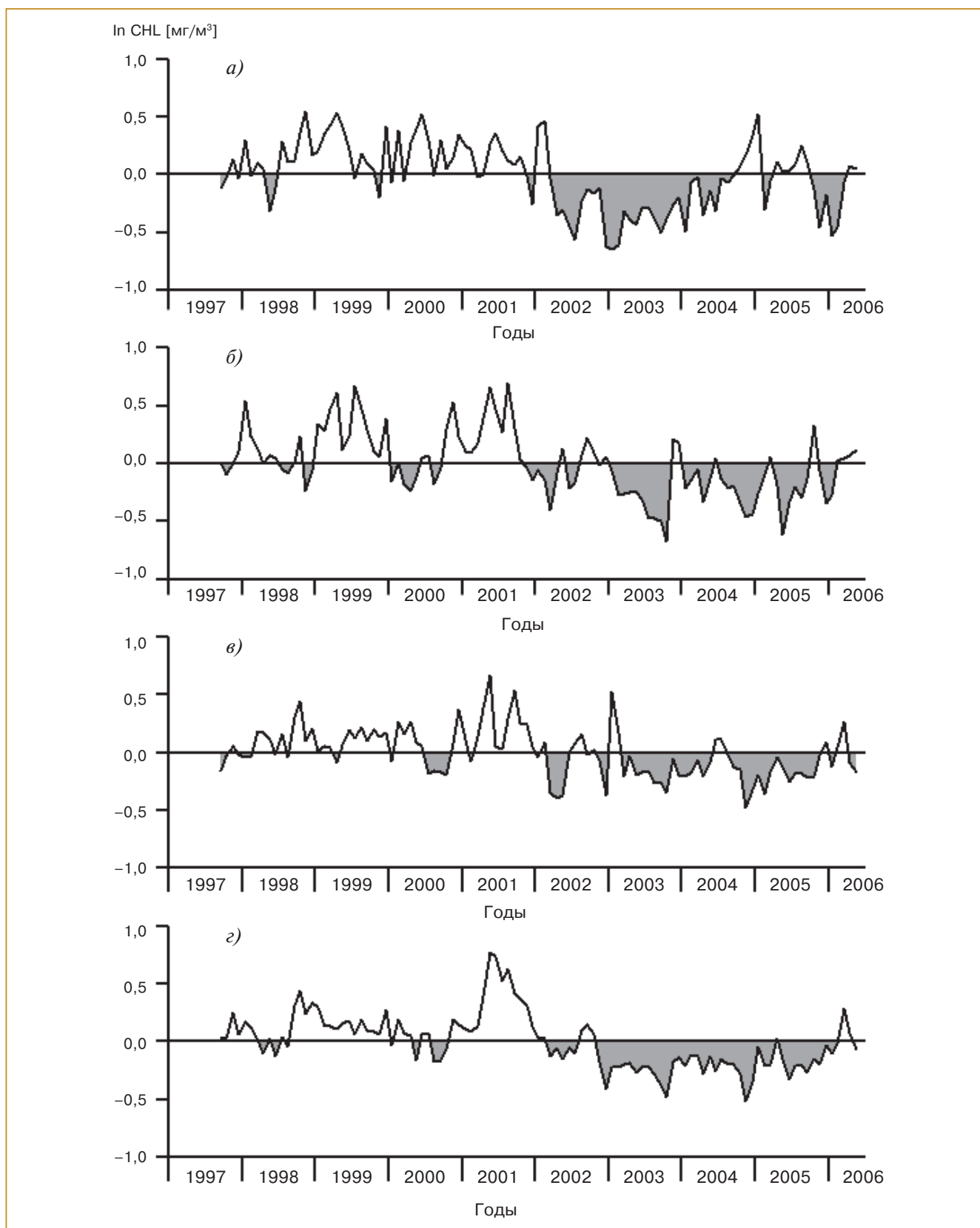


Рис. 2.9.7. Межгодовая изменчивость сезонных аномалий концентрации хлорофилла (мг/м³ в логарифмическом масштабе) в разных районах Черного моря. а) северо-западный шельф; б) юго-западный; в) восточный; г) центральный (Nezlin, 2008).

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

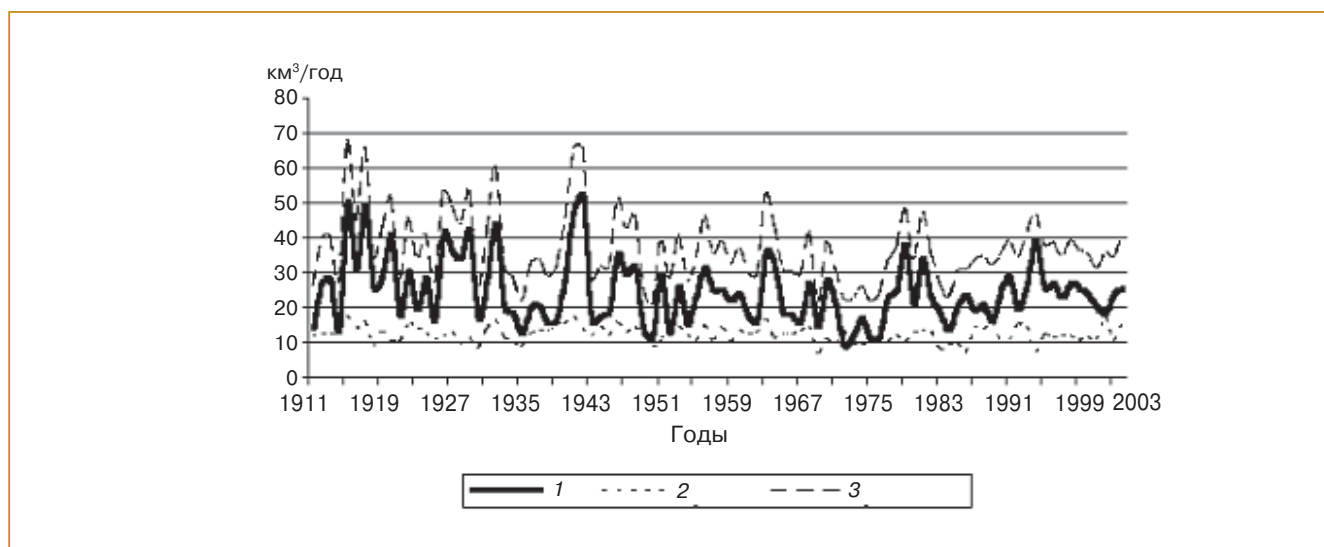


Рис. 2.9.8. Сток рек Дон (1) и Кубань (2) и их суммарный сток (3) в Азовское море в 1911–2003 гг. по фактическим данным.

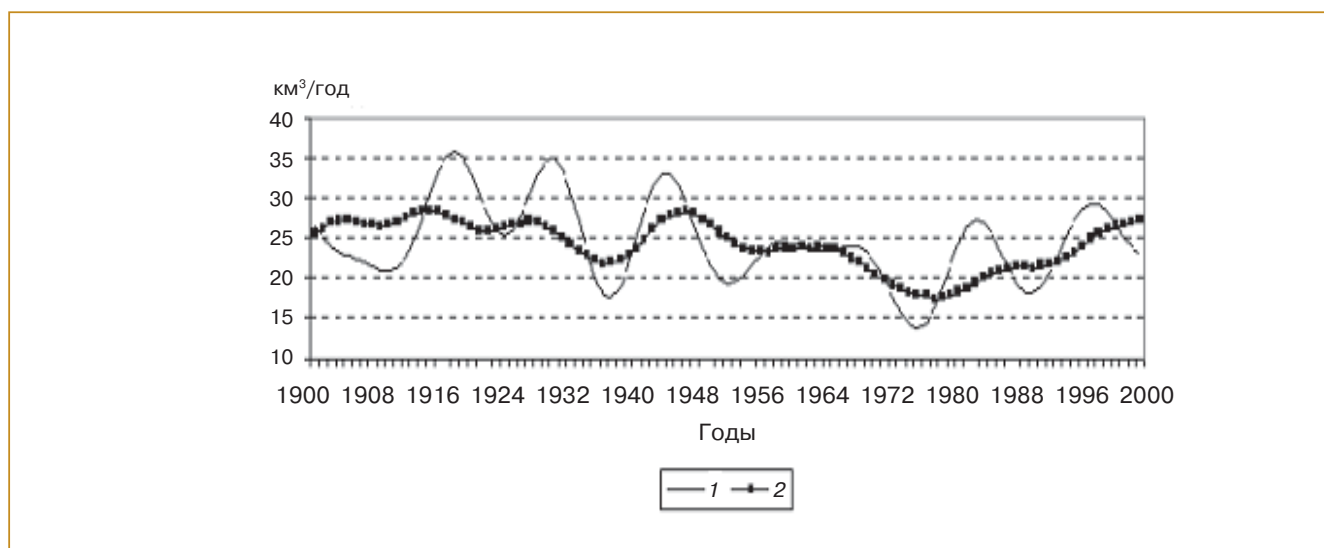


Рис. 2.9.9. Измеренное (1) и расчетное (2) значения объема осредненного за 11-летний период стока р. Дон.

приток черноморских вод с 1923 по 1985 г. составил в среднем $36\text{--}38 \text{ км}^3$, а сток азовских вод в Черное море — $53\text{--}55 \text{ км}^3$. Водообмен с заливом Сиваш невелик: сток азовской воды в залив в год составил около $1,5 \text{ км}^3$, приток сивашских вод в море — $0,4 \text{ км}^3$.

Для выявления зависимости гидрометеорологических величин от циркуляционных процессов над водосбором Азовского моря был проведен многофакторный регрессионный анализ их связи с индексами атмосферной циркуляции Вангенгейма — Гирса. Было исследовано суммарное воздей-

ствие всех трех типов циркуляции, а также каждого типа по отдельности. При этом были использованы результаты исследований ГОИН, Гидрометцентра России, ГГО и других институтов, установивших зависимости отдельных составляющих гидрометеорологического режима южных и северо-западных морей России от индексов циркуляции Вангенгейма — Гирса. При оценке многолетних тенденций гидрометеорологических величин использовались сглаженные данные — применялось 11-летнее скользящее среднее. Наибольшим коэффициент множественной корреляции

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

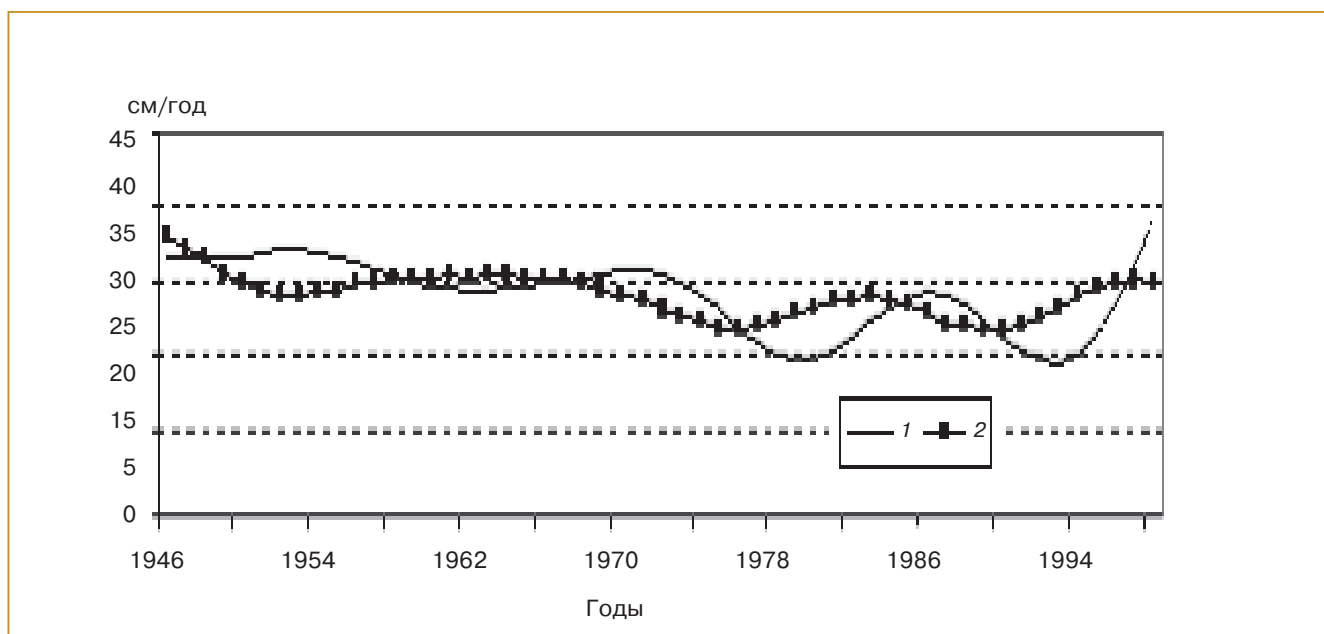


Рис. 2.9.10. Измеренное (1) и расчетное (2) значения осредненного за 11-летний период испарения с поверхности Азовского моря.

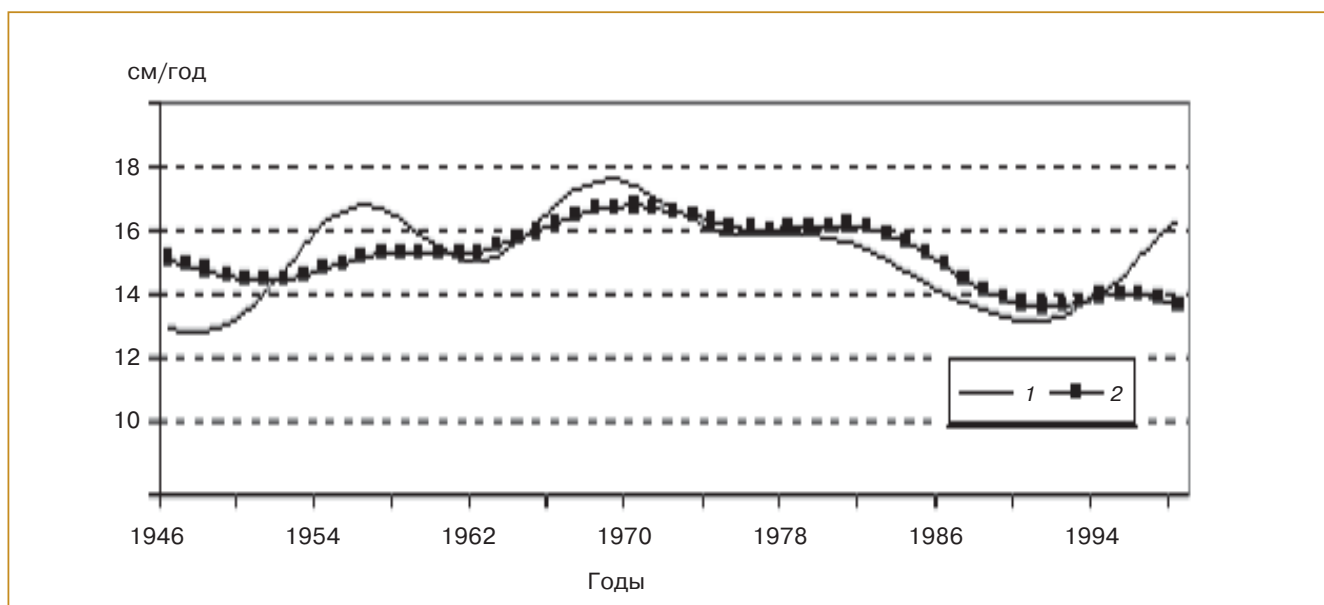


Рис. 2.9.11. Измеренное (1) и расчетное (2) значения осредненной за 11-летний период суммы осадков на поверхность Азовского моря.

ляции R оказался при нулевом сдвиге по времени. Регрессионный анализ выявил зависимости, приведенные в табл. 2.9.1.

Уровень моря. По данным дистанционного зондирования, уровень Азовского моря имеет тенденцию к увеличению со средней скоростью $2,11 \pm 0,2$ см/год (рис. 2.9.12). С 1992 по 1994 г.

уровень моря понижался. Так же, как и в Черном море, до 1999 г. уровень Азовского моря имел устойчивую тенденцию повышения, далее он уменьшался до 2002 г., а затем опять начал увеличиваться.

Соленость. Изменчивость водного баланса моря обуславливает изменчивость его солености — наиболее важного параметра, оказывающего суще-

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

Таблица 2.9.1. Зависимости стока р. Дон, испарения и суммы осадков на акватории Азовского моря от форм циркуляции

Параметр	Размерность	Период, годы	Зависимость	R ²
Сток Дона	км ³ /год	1900–2000	$X = -713,9 + 2,068W + 2,066C + 1,96E$	0,6
Испарение	мм/год	1946–1998	$X = -614,1 + 1,8W + 1,8C + 1,8E$	0,6
Сумма осадков	мм/год	1946–1998	$X = -126,7 + 0,4W + 0,4C + 0,4E$	0,7

ственное влияние на хозяйственную деятельность на Азовском море. На протяжении 1922–1977 гг. наблюдалось повышение солености Азовского моря, связанное с антропогенными (зарегулированность и изъятие стока рек бассейна) и климатическими (изменение общей увлажненности бассейна) факторами примерно с 10,7‰ в 1920-х годах до 13,9‰ в 1977 г., что на ~3,0‰ больше естественной нормы. Однако в 1977–2002 гг. наблюдался в среднем отрицательный тренд средней по морю солености: она уменьшилась до ~11‰ в 1982 г. и несколько увеличилась до ~12‰ к 1985 г., в дальнейшем снова уменьшалась (рис. 2.9.13; Kosarev et al., 2008b; Matishov et al., 2006). В 1993–2005 гг. региональные проявления климатических изменений (увеличение стока рек и количества атмосферных осадков, уменьшение испарения) привели к уменьшению солености до величин условно-естественного режима (до зарегулирования стока рек бассейна моря).

Температура поверхности моря. Со второй половины 1920-х годов до 1982 г. температура поверх-

ности моря в среднем изменялась мало, с положительным трендом порядка 0,01°C/год. В последующий период 1982–2000 гг. положительный тренд температуры поверхности моря увеличился в несколько раз и составил примерно 0,04°C/год. При этом, как и в Черном море, температура поверхности моря в среднем уменьшалась в 1982–1993 гг. и увеличивалась в 1993–2000 гг. (Matishov et al., 2006). В частности, в марте с 1977 по 2004 г. по сравнению с 1920–1976 гг. произошло повышение температуры поверхности моря на 0,7–1,7°C, связанное с преобладанием в последние десятилетия мягких зим с незначительной ледовитостью моря (Дьяков и др., 2006).

Плотность биомассы фитопланктона. От значения солености зависит видовой состав фито- и зоопланктона. При ее повышении в 1959–1972 гг. наблюдалось значительное уменьшение биомассы планктона, что резко ухудшило условия обитания рыб. Так, например, ареал обитания судака и тарани сузился в эти годы до восточной части Таганрогского залива.

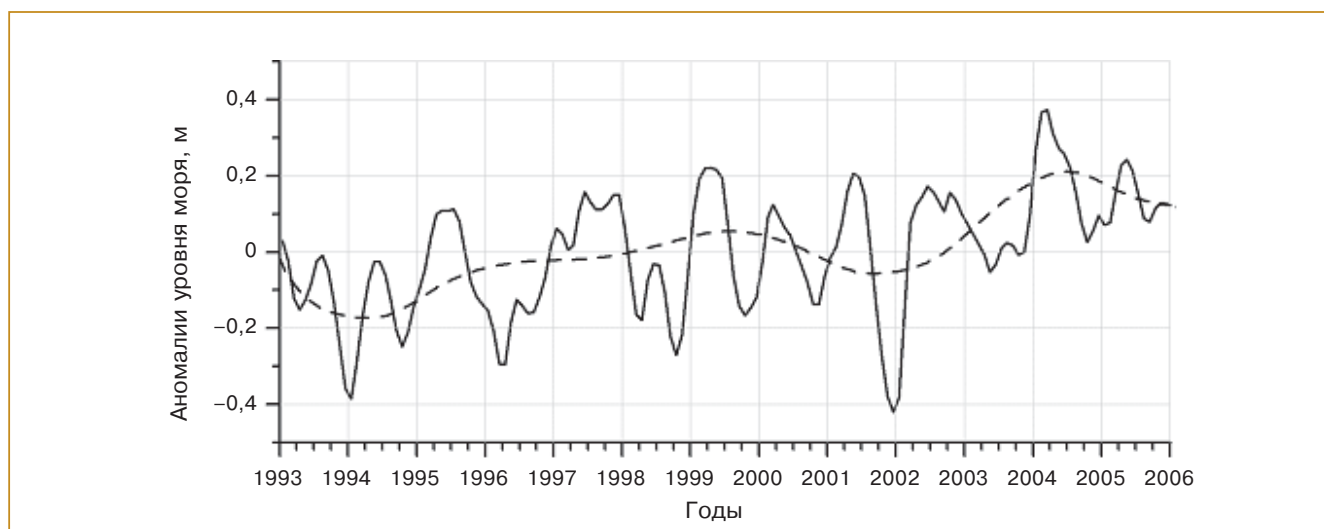


Рис. 2.9.12. Межгодовая изменчивость аномалий уровня Азовского моря с января 1993 г. по декабрь 2005 г. по данным альтиметрических измерений спутников “TOPEX/Poseidon” и “Jason-1” (сплошная линия). Изменчивость их средних значений показана пунктиром. Рисунок подготовлен специально для данного доклада.

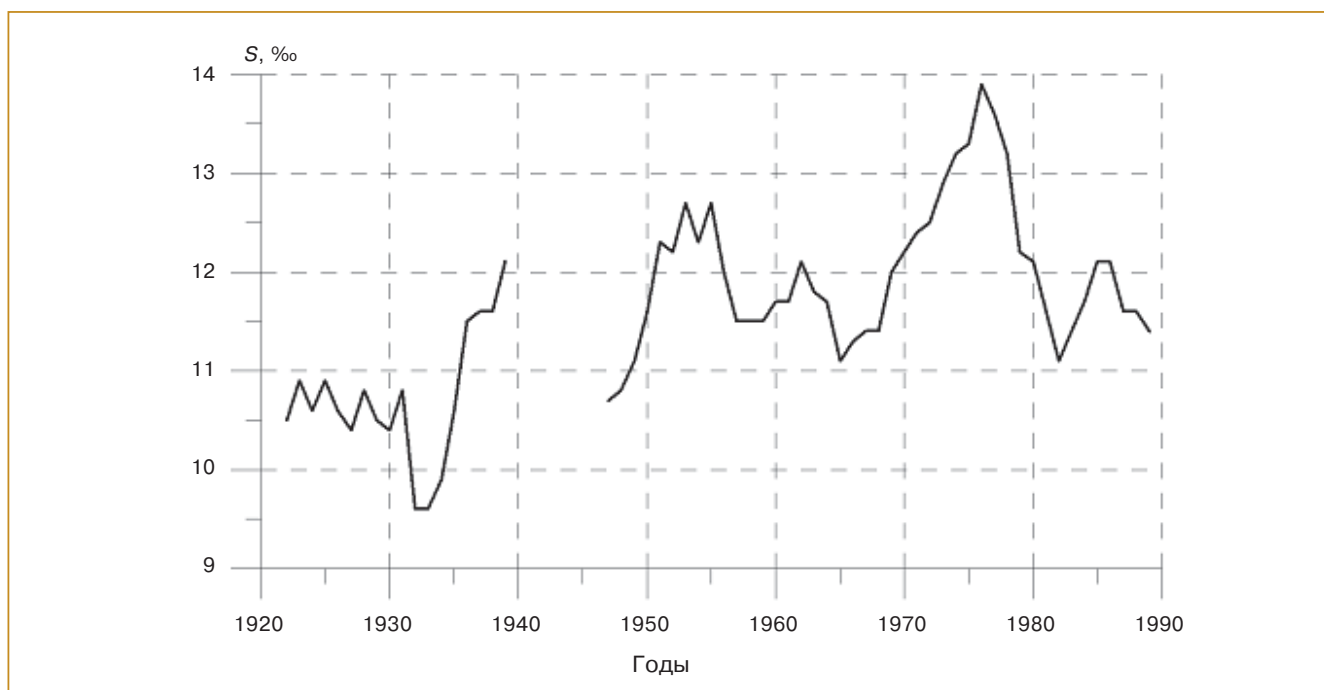


Рис. 2.9.13. Изменение средней по морю солёности S Азовского моря в 1922–1989 гг. (Kosarev et al., 2008b).

2.9.4. Каспийское море

Сток рек. Изменение климата непосредственно влияет на увлажненность водосбора Каспия. Сток Волги составляет до 80% притока вод в это море, а водосборный бассейн (включая бассейн рек Ока и Кама) имеет площадь около 1360 тыс. км² (Гидрометеорология..., 1992). Этот бассейн имеет значительную протяженность — более чем 2000 км от Каспия до Валдайской возвышенности. Он располагается в нескольких климатических зонах. Таким образом, изменения климата на водосборе существенно влияют на уровень Каспия. Суммарный приток пресных вод в Каспийское море в период 1880–2001 гг. существенно изменялся. Он мало менялся в среднем с 1880 по 1930 г. (при заметной межгодовой изменчивости с размахом около 240 км³/год на фоне среднего значения примерно 300 км³/год), затем уменьшался до 1977 г. (с минимумом в 1975 г. — 181 км³/год) и увеличивался с 1978 по 2001 г., с максимумом в 1994 г. (387 км³/год) и некоторым снижением в последующие годы (Фролов, 2003).

Уровень моря. Инструментальные измерения уровня Каспийского моря и систематические наблюдения за его колебаниями ведутся с 1837 г. Уровень моря измеряется в Балтийской системе высот (БС), принятой в СССР в 1977 г. Отсчет абсолютных высот в метрах БС ведется от нуля футштока в Кронштадте. От этой отметки отсчита-

ны высоты опорных геодезических пунктов и уровнемерных постов. В настоящее время БС используется как в России, так и в ряде других стран СНГ.

На рис. 2.9.14 приведен многолетний ход уровня Каспийского моря по данным уровнемерных постов с 1837 по 2006 г., а на рис. 2.9.15 — многолетний ход уровня Каспия и его приращения в XX веке. В многолетнем ходе уровня Каспийского моря в XX веке можно выделить несколько характерных периодов: 1900–1929 гг. и 1942–1969 гг. — относительной стабильности или умеренного понижения, 1930–1941 гг. и 1970–1977 гг. — резкого понижения, а 1978–1995 гг. — резкого повышения.

За последнее столетие самый высокий уровень воды в Каспии зарегистрирован в 1900 г. (–25,7 м БС), а самый низкий за последние 550 лет — в 1977 г. (–29,0 м БС). Для стабилизации уровня были приняты определенные хозяйственные меры, в частности, отделение залива Кара-Богаз-Гол глухой дамбой в марте 1980 г. Однако к этому времени (1980–1981 гг.) вследствие естественных климатических причин уровень Каспия уже повысился на 40–50 см (Терзиев, Никонова, 2003; Абузаров, 2003; Kosarev and Kostianou, 2005). Это происходило в результате изменения климата в Атлантико-Европейском секторе с преобладанием западной формы циркуляции W . При этом значительно увеличилась увлажненность, увеличились суммы осадков и водность рек. С 1978 г. ежегодный подъем уровня составлял от 14 до 30 см. В результа-

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

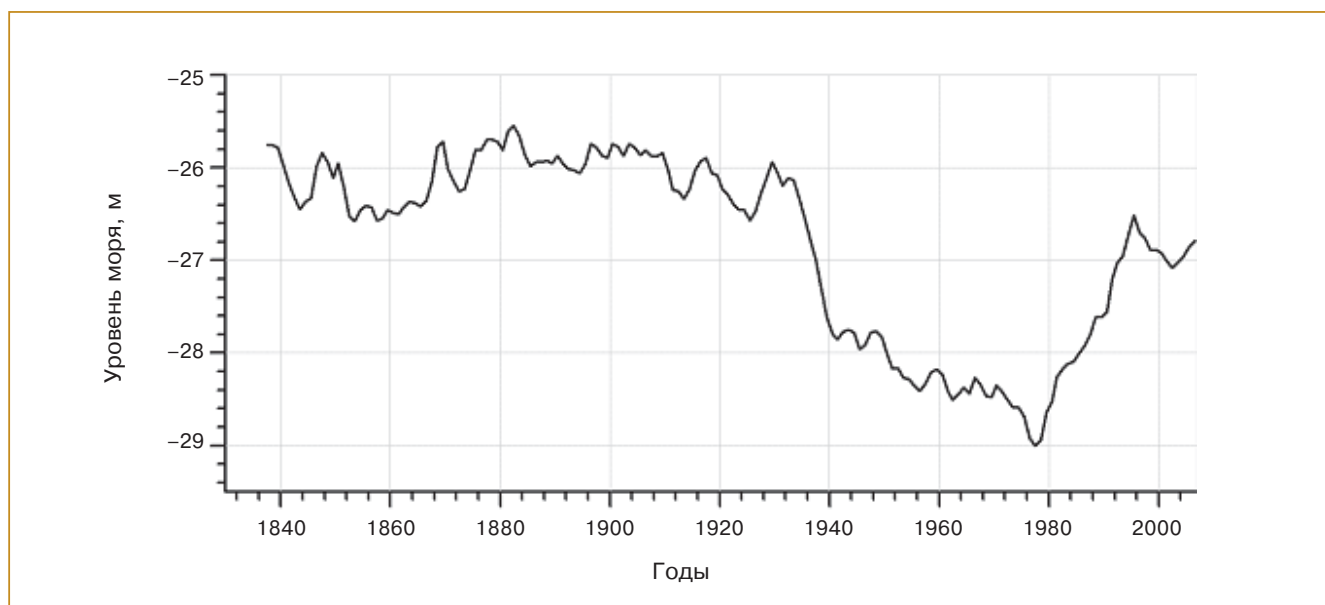


Рис. 2.9.14. Многолетний ход уровня Каспийского моря (м БС) по данным уровнемерных постов с 1837 по 2006 г. включительно (по данным ГОИН; см. также (Лебедев, Костяной, 2005)).

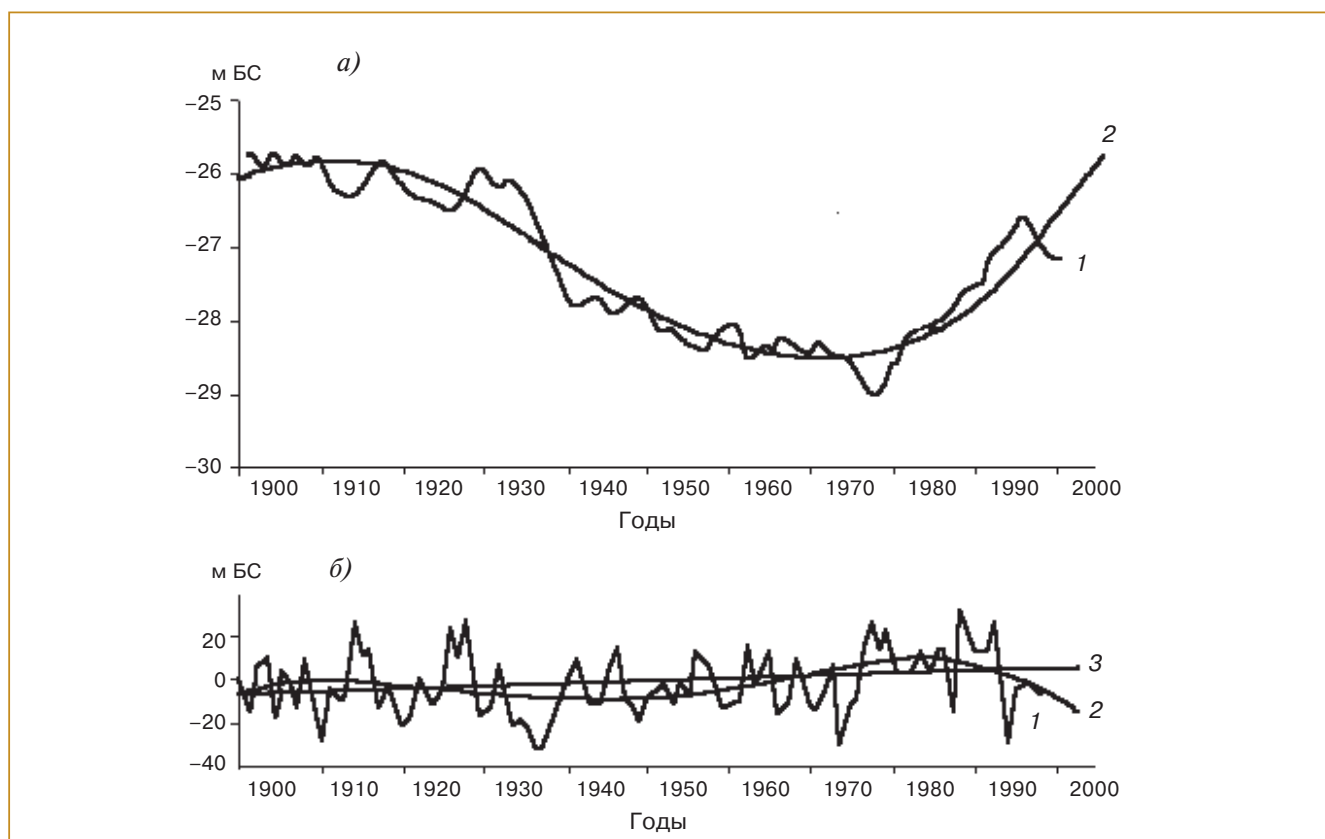


Рис. 2.9.15. Многолетний ход уровня Каспийского моря (y) (а) и его приращения (б) во времени. 1 — результаты наблюдений, 2 — полиномиальное сглаживание (рисунок а: $y = -9 \cdot 10^{-8}x^4 + 4 \cdot 10^{-5}x^3 - 0,0037x^2 + 0,0614x - 26,104$; б: $y = -6 \cdot 10^{-6}x^4 + 0,0012x^3 - 0,0681x^2 + 1,1851x - 7,1982$), 3 — линейный тренд ($y = 0,1161x - 7,2562$).

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

те с 1977 по 1995 г. уровень моря поднялся на 2,4 м, а его абсолютное значение достигло $-26,6$ м БС.

С сентября 1992 г. по настоящее время изменчивость уровня Каспийского моря хорошо прослеживается по данным спутниковой альтиметрии (рис. 2.9.16). Основные преимущества использования данных дистанционного зондирования в исследовании изменчивости уровня Каспия, а также других южных морей изложены в разделе 2.1.9. Результаты расчетов показали (рис. 2.9.16), что с зимы 1992/93 г. до лета 1995 г. наблюдался рост уровня моря, затем имело место очередное понижение до зимы 2001/2002 гг. (до отметки $-27,1$ м) и последующее повышение, которое продолжается и в настоящее время, со средней скоростью $7,5 \pm 1,3$ см/год (Лебедев, Костяной, 2004, 2005).

Сравнение расчетов по данным уровневых постов и спутниковой альтиметрии показало хорошее соответствие полученных результатов. Для временного интервала 1993–2005 гг. коэффициент корреляции составил от 0,74 до 0,98 (Лебедев, Костяной, 2004, 2005).

Экономический ущерб, связанный с этим подъемом уровня Каспийского моря, составил, по оценкам Всемирной метеорологической организации (ВМО), 15 млрд. долл. США (Комплексная..., 1997). По тем же оценкам, если в ближайшие годы не будут приняты меры по защите береговых сооружений, ущерб может достигнуть 200 млрд.

долл. (Комплексная..., 1997; Абузьяров, 2003). Нанесен большой ущерб рыбному, сельскому и водному хозяйствам в регионе.

Подъем уровня моря с 1978 по 1995 г. разрушил поселки и инфраструктуру полосы береговой зоны Казахстана шириной 50–70 км, а в Туркменистане захватил полосу берега шириной 5–35 км. По оценкам (Transboundary..., 2002), воздействие этого подъема уровня моря коснулось 7 млн. га суши, где проживало около 600 000 человек.

Кроме того, ветровое воздействие (нагонные явления в мелководном Северном Каспии) приводит к затоплению прибрежных районов. Так, нагонные явления высотой 2–3 м могут затопить 20–30 км территории в глубь береговой зоны. Сгонные ветровые явления до 0,5 м (обычно ниже нагонных явлений) обнажают большие участки берега.

С другой стороны, по оценке рыбохозяйственных институтов (КАСПНИРХ и др.), в случае понижения уровня Каспия может произойти полное исчезновение ценнейших пород осетровых.

Соленость. Значительные многолетние изменения солености наблюдаются в основном в мелководном Северном Каспии, где они обусловлены, главным образом, изменениями волжского стока. За более чем полвека (1931–1989 гг.) среднегодовые значения солености Северного Каспия изменялись от 11,7 до 6,4‰ (размах 5,3‰). В условиях квазистационарного водно-солевого баланса

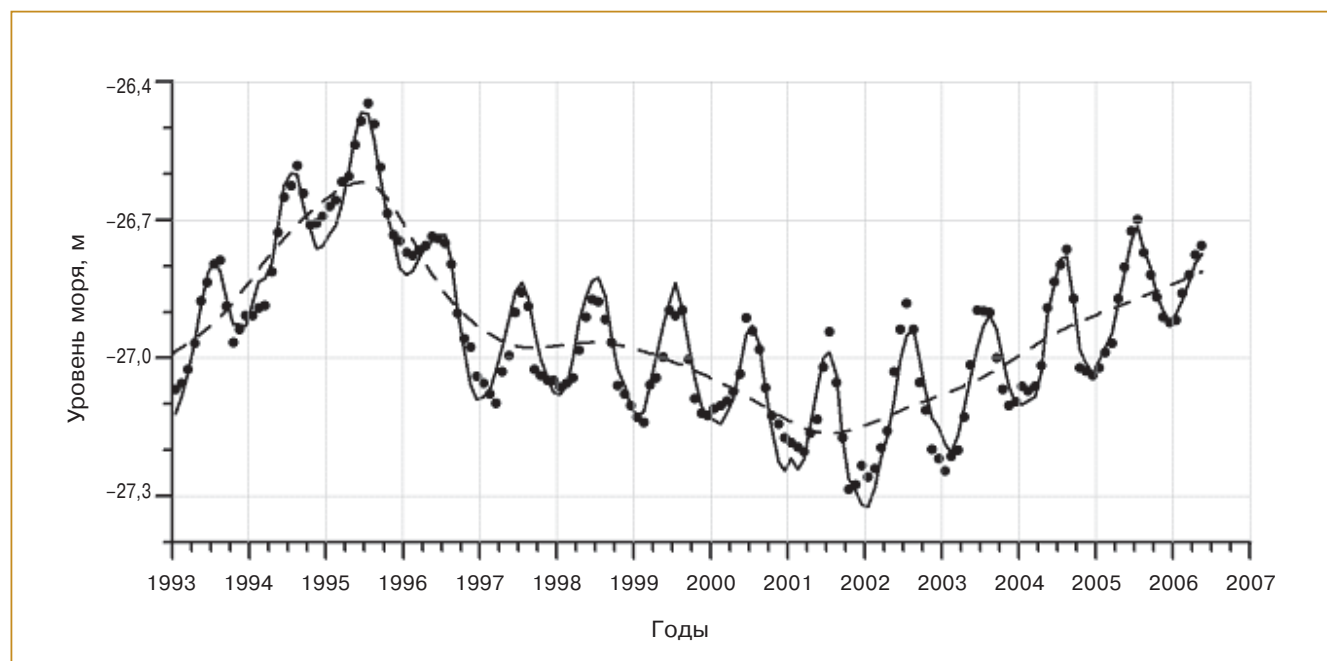


Рис. 2.9.16. Изменения уровня Каспийского моря (м БС) с января 1993 г. по июнь 2006 г. по данным альтиметрических измерений спутников “ТОРЕХ/Poseidon” и “Jason-1” (сплошная линия) и данным уровневых постов (маркеры). Межгодовая изменчивость показана пунктиром (Лебедев, Костяной, 2005). Обработка альтиметрических данных для периода с января 2004 г. по июнь 2006 г. выполнена специально для данного доклада.

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

(1956–1970 гг.) этот размах был значительно меньше (2,2‰). На южной границе Северного Каспия (разрез о. Чечень — п-ов Мангышлак) при уменьшении водности Волги в 1950–1970 гг. произошло повышение солёности в поверхностном слое 0–10 м на 0,5–0,8‰. Однако с увеличением стока в 1980-х годах солёность здесь уменьшилась на 0,5–0,6‰ (Гидрометеорология..., 1992).

Температура поверхности моря. Анализ спутниковых NODS/MCSST-данных выявил положительный тренд средней по Среднему и Южному Каспию температуры поверхности моря в 1982–2000 гг. (рис. 2.9.17): 0,05 и 0,10°C в год соответственно (Гинзбург и др., 2004; Ginzburg et al., 2005). Долговременный тренд для Северного Каспия не мог быть получен из-за отсутствия данных для зимнего сезона вследствие покрытия этого

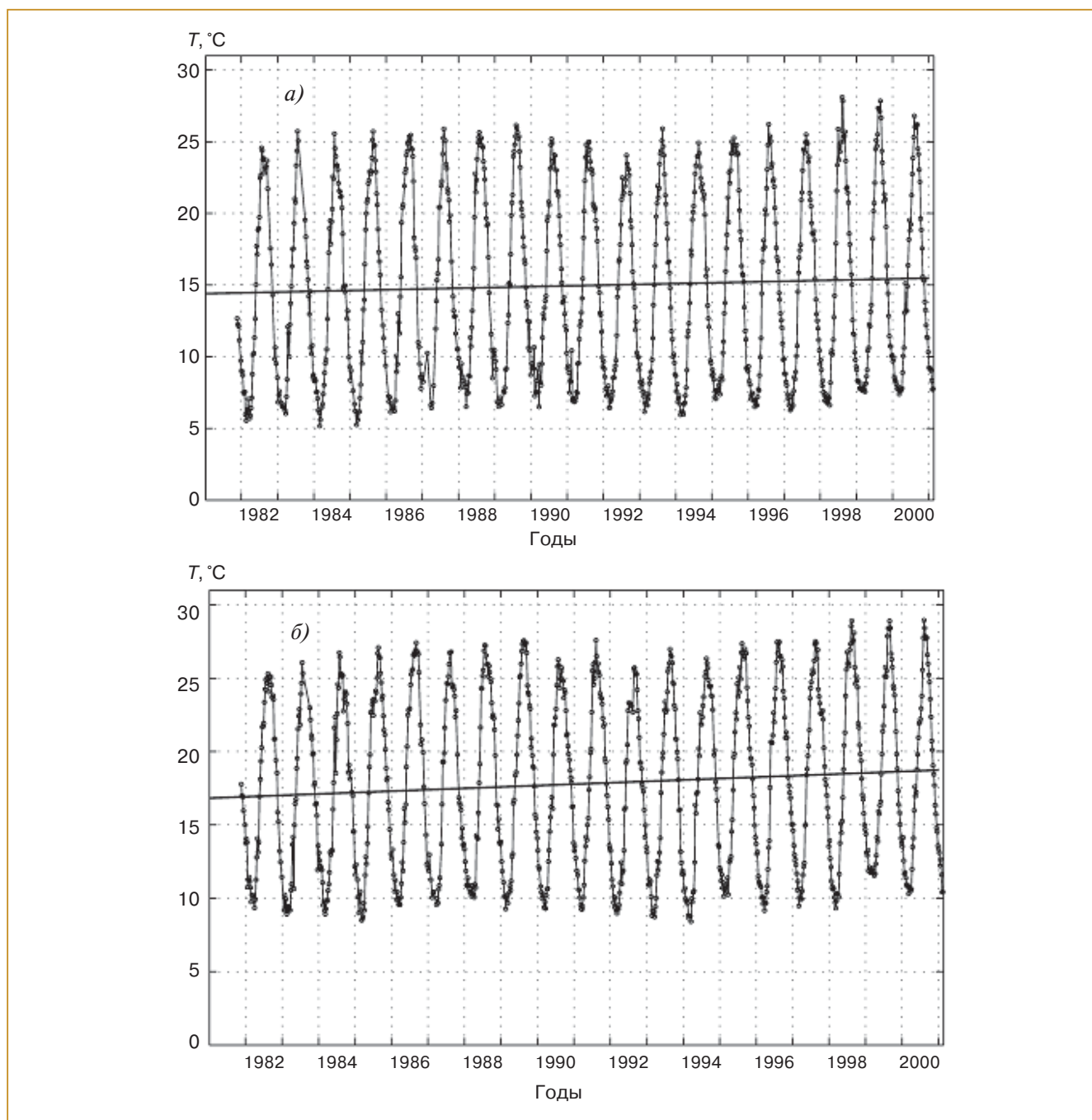


Рис. 2.9.17. Межгодовая изменчивость недельных значений температуры поверхности Среднего (а) и Южного (б) Каспия с ноября 1981 г. по декабрь 2000 г. Прямая линия — тренд температуры поверхности моря в рассматриваемый период (Гинзбург и др., 2004).

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

района моря льдом. Однако, судя по увеличению летом температуры поверхности моря после 1992 г. и теплым зимам (Koungaev et al., 2003), здесь в 1982–2000 гг. происходило потепление. В пределах этого периода, однако, тенденция к потеплению не была монотонной (рис. 2.9.18). Самые резкие изменения среднегодовой температуры поверхности моря имели место в 1989–1995 гг.: ее понижение в 1989–1992 гг. и повышение в 1992–1995 гг. (минимум 1983 г. — артефакт, связанный с недостаточной обеспеченностью данными). Потепление Среднего и Южного Каспия в 1982–2000 гг. происходило во все сезоны, причем наибольший положительный тренд (0,06 и 0,09°C/год в Среднем и Южном Каспии соответственно) наблюдался в летний сезон (июль – сентябрь), наименьший 0,03°C/год — в осенний (октябрь – декабрь).

Средняя годовая температура поверхности моря в 1982–2000 гг. повысилась по сравнению с ее значением до 1952 г. (Архипова, 1955; Архипова и др., 1958) примерно на 1°C в Среднем и Южном Каспии; заметно увеличилась максимальная (лето) и минимальная (зима) температура поверхности моря, а годовой размах температуры поверхности моря (разность между максимальной летом и минимальной зимой температурой) слегка уменьшил-

ся. Положительный тренд температуры поверхности моря в 1982–2000 гг. в несколько раз превысил таковой в предшествующий период — примерно 0,01°C/год (Потайчук, 1975; Гидрометеорология..., 1992).

Характер изменений температуры поверхности моря в 1982–2000 гг. в близких по географическому положению внутренних Каспийском и Черном морях был сходным (Гинзбург и др., 2004; Ginzburg et al., 2004, 2005, 2008) (см. рис. 2.9.4, 2.9.18). Близкие по значению положительные тренды температуры поверхности моря, уменьшение их среднегодовых значений в 1985–1993 гг. и их последующее увеличение, одинаковый характер четко выраженных сезонных аномалий температуры поверхности моря свидетельствуют об определяющей роли климатических факторов в межгодовой и десятилетней изменчивости температуры поверхности моря обеих морей. Потепление в 1980-е годы было зарегистрировано также в Северо-Восточной Атлантике — рост на 1°C в 1982–1987 гг. (Djenidi et al., 2000), а также в ряде регионов Средиземного моря в 1984–1990 гг. (Santoleri et al., 1994; Kostianoy, 1996).

Плотность биомассы фитопланктона. Поверхность Каспийского моря была разделена на три

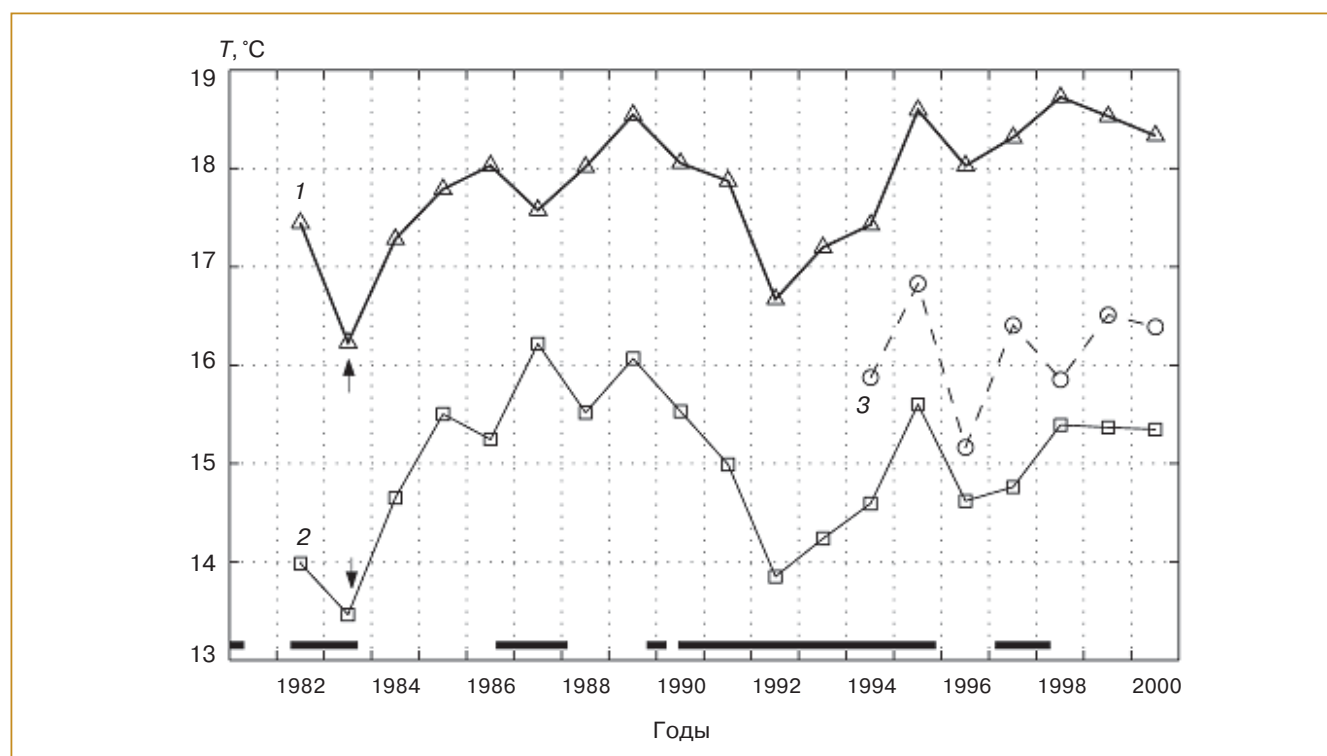


Рис. 2.9.18. Среднегодовые значения средней для районов Каспия ТПМ в 1982–2000 гг. (Гинзбург и др., 2004). 1 — Южный Каспий; 2 — Средний Каспий; 3 — Кара-Богаз-Гол. Жирными отрезками на горизонтальной оси отмечены периоды Эль-Ниньо. Стрелками отмечены заниженные значения температуры поверхности моря (из-за недостаточной обеспеченности данными).

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

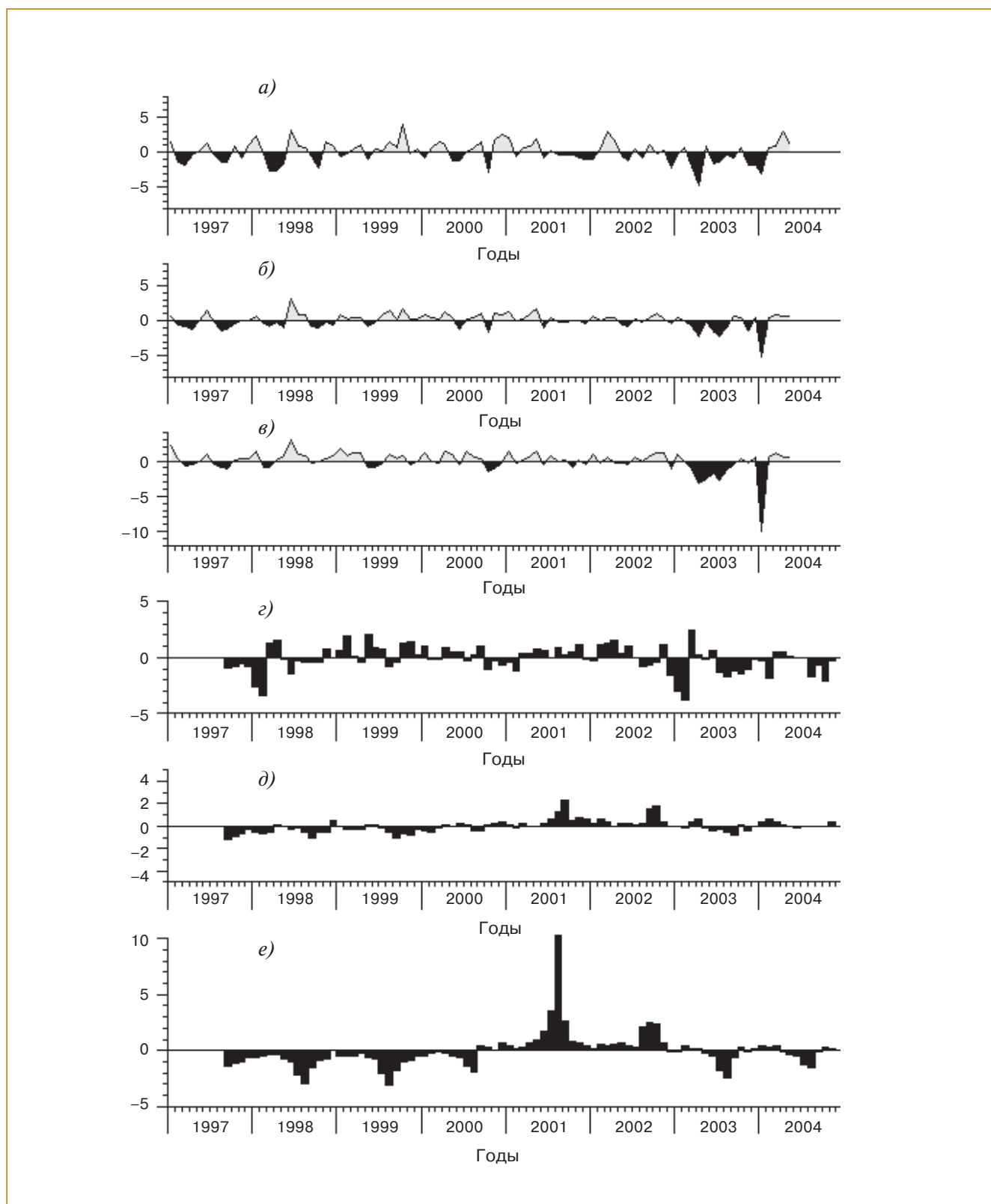


Рис. 2.9.19. Межгодовая изменчивость сезонных аномалий температуры поверхности моря (°C) в Северном (а), Среднем (б) и Южном (в) Каспии, а также сезонных аномалий концентрации хлорофилла (мг/м³) в Северном (г), Среднем (д) и Южном (е) Каспии (Nezlin, 2005).

района, имеющие сходные природные условия и характер сезонных и многолетних изменений концентрации хлорофилла в поверхностном слое: Северный, Средний и Южный Каспий, с границами между ними приблизительно по 44 и 40° с. ш. (Nezlin, 2005).

Особенно большие концентрации хлорофилла наблюдались в мелководном Северном Каспии, с максимумом около 8 мг/м³ в наиболее теплое время года (август), на три месяца позже максимума стока Волги. В Среднем и Южном Каспии концентрация хлорофилла была значительно меньше. Сезонный максимум концентрации хлорофилла в этих районах также отмечался в конце лета и совпадал по времени с максимальным напряжением ветра, что указывает на обогащение фотосинтезирующего верхнего слоя моря питательными биогенными веществами вследствие ветрового перемешивания.

Межгодовые изменения температуры поверхности Каспия в 1997–2004 гг. не дают основания для выделения положительного температурного тренда в этот период (рис. 2.9.19а, б, в). Более того, в 2003–2004 гг. наблюдались значительные отрицательные аномалии температуры поверхности моря. Межгодовые изменения концентрации хлорофилла в Северном Каспии не были скоррелированы с аналогичными процессами в Среднем и Южном Каспии. В двух последних районах, напротив, изменения концентрации хлорофилла были скоррелированы с большой степенью достоверности ($R = 0,832$), причем изменения в Южном Каспии отставали от изменений в Среднем Каспии на один месяц. Это связано с распространением биогенных веществ, поступающих с волжским стоком, с севера на юг в соответствии с преобладающей циклонической циркуляцией вод в Каспийском море. На влияние стока Волги также указывает корреляция концентрации хлорофилла в Северном и Южном Каспии с волжским стоком с задержкой в 2–3 месяца. На концентрацию хлорофилла оказывают влияние напряжение ветра и температура поверхности моря, обуславливающие термическую стратификацию обогащенного биогенными веществами верхнего фотосинтезирующего слоя и тем самым удержание в нем клеток фитопланктона. Однако заметное увеличение концентрации хлорофилла в Южном Каспии летом 2001 г. (рис. 2.9.19е) не было связано с физическими факторами, такими как температура поверхности моря и ветер. Возможно, что резкое увеличение биомассы фитопланктона в данном случае имело биологическую природу. Именно в это время в Среднем и Южном Каспии было отмечено массовое развитие вселенца гребневика *Mnemiopsis leidyi* (Kideys, Moghim, 2003), интенсивно поедающего зоопланктон, что могло привести к резкой разбалансировке пелагической эко-

системы. Эта гипотеза, однако, требует дальнейших наблюдений и анализа.

2.9.5. Литература

- Абузяров З. К., 2003.** Технология прогноза тенденций изменения уровня Каспийского моря на перспективу 6 и 18 лет, в кн.: Гидрометеорологические аспекты проблемы Каспийского моря и его бассейна, СПб, Гидрометеоиздат, с. 351–363.
- Архипова Е. Г., 1955.** Термический режим Северного Каспия и его возможные изменения в связи с падением уровня моря, Труды ГОИН, вып. 20, с. 337–395.
- Архипова Е. Г., Любанский В. А., Резникова Л. П., 1958.** Основные особенности температурного режима Каспийского моря и его районов, Труды ГОИН, вып. 43, с. 53–100.
- Виноградов М. Е., Шушкина Э. А., Анохина Л. Л., Востоков С. В., Кучерук Н. В., Лукашова Т. А., 2000.** Массовое развитие гребневика *Beroe ovata Eschscholtz* у северо-восточного побережья Черного моря, Океанология, т. 40, № 1, с. 52–55.
- Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР, 1991а.** Проект “Моря СССР”, т. V, Азовское море, СПб, Гидрометеоиздат, 236 с.
- Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР, 1991б.** Проект “Моря СССР”, т. IV, Черное море, вып. 1, Гидрометеорологические условия, СПб, Гидрометеоиздат, 429 с.
- Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР, 1992.** Проект “Моря СССР”, т. VI, Каспийское море, вып. 1, Гидрометеорологические условия, СПб, Гидрометеоиздат, 359 с.
- Гинзбург А. И., Костяной А. Г., Шеремет Н. А., 2004.** Сезонная и межгодовая изменчивость температуры поверхности Каспийского моря, Океанология, т. 44, № 5, с. 645–659.
- Горячкин Ю. Н., Иванов В. А., 2006.** Уровень Черного моря: прошлое, настоящее и будущее, Севастополь, МГИ НАНУ, 210 с.
- Дьяков Н. Н., Горбач С. Б., Фомин В. В., Ильин Ю. П., 2006.** Современная термохалинная структура вод Азовского моря, в сб.: Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа, Севастополь, МГИ НАНУ, ИГН НАНУ, ОФ ИНБИОМ НАНУ, вып. 14, с. 215–224.
- Комплексная программа по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды в регионе Каспийского моря (Каспас), 1997.** Женева, ВМО, 21 с.
- Лебедев С. А., Костяной А. Г., 2004.** Спутниковая альтиметрия Каспийского моря, Вестник Каспия, № 3, с. 82–101.
- Лебедев С. А., Костяной А. Г., 2005.** Спутниковая альтиметрия Каспийского моря, М., Море, 366 с.

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

- Потайчук М. С., 1975.** Многолетние изменения гидрометеорологического режима Каспийского моря, Труды ГОИН, вып. 125, с. 95–123.
- Рева Ю. А., 1997.** Межгодовые колебания уровня Черного моря, Океанология, т. 37, № 2, с. 211–219.
- Терзиев Ф. С., 2005.** Проект “Моря”. Система гидрометеорологического обеспечения экономики и обороны, Труды ГОИН, вып. 209, с. 31–55.
- Терзиев Ф. С., Никонова Р. Е., 2003.** Некоторые итоги изучения современного состояния гидрометеорологического режима Каспийского моря и перспективы дальнейших исследований, в кн.: Гидрометеорологические аспекты проблемы Каспийского моря и его бассейна, СПб, Гидрометеиздат, с. 239–253.
- Фролов А. В., 2003.** Моделирование многолетних колебаний уровня Каспийского моря, М., ГЕОС, 171 с.
- Djenidi S., Kostianoy A. G., Sheremet N. A., and Elmoussaoni A., 2000.** Seasonal and interannual SST variability of the north-east Atlantic Ocean, in: Oceanic Fronts and Related Phenomena (Konstantin Fedorov International Memorial Symposium), IOC Workshop, Report No. 159, UNESCO, Moscow, GEOS, pp. 99–105.
- Ginzburg A. I., Kostianoy A. G., and Sheremet N. A., 2004.** Seasonal and interannual variability of the Black Sea surface temperature as revealed from satellite data (1981–2000), J. Marine Systems, vol. 52, No. 1–4, pp. 33–50.
- Ginzburg A. I., Kostianoy A. G., and Sheremet N. A., 2005.** Sea surface temperature variability, in: The Caspian Sea Environment, Kostianoy A. and Kosarev A. (eds.), The Handbook of Environmental Chemistry, Springer-Verlag, vol. 5p, doi:10.1007/698_5_004, pp. 59–81.
- Ginzburg A. I., Kostianoy A. G., and Sheremet N. A., 2008.** Sea surface temperature variability, in: The Black Sea Environment, Kostianoy A. and Kosarev A. (eds.), The Handbook of Environmental Chemistry, Springer-Verlag, vol. 5Q, doi:10.1007/698_5_067, pp. 255–275.
- Kideys A. E. and Moghim M., 2003.** Distribution of the alien ctenophore *Mnemiopsis leidyi* in the Caspian Sea in August 2001, Marine Biology, vol. 142, pp. 163–171.
- Korotaev G. K., Saenko O. A., and Koblinsky C. J., 2001.** Satellite altimetry observations of the Black Sea level, J. Geophys. Res., vol. 106, No. C1, doi: 10.1029/2000JC900120, pp. 917–934.
- Kosarev A. N. and Kostianoy A. G., 2005.** Kara-Bogaz-Gol Bay, in: The Caspian Sea Environment, Kostianoy A. and Kosarev A. (eds.), The Handbook of Environmental Chemistry, Springer-Verlag, vol. 5p, doi:10.1007/698_5_011, pp. 211–221.
- Kosarev A. N., Arkhipkin V. S., and Surkova G. V., 2008a.** Hydrometeorological conditions, in: The Black Sea Environment, Kostianoy A. and Kosarev A. (eds.), The Handbook of Environmental Chemistry, Springer-Verlag, vol. 5Q, doi:10.1007/698_5_086, pp. 135–158.
- Kosarev A. N., Kostianoy A. G., and Shiganova T. A., 2008b.** The Azov Sea, in: The Black Sea Environment, Kostianoy A. and Kosarev A. (eds.), The Handbook of Environmental Chemistry, Springer-Verlag, vol. 5Q, doi:10.1007/698_5_091, pp. 63–89.
- Kostianoy A. G., 1996.** Investigation of the Sicilian upwelling on the base of satellite data, Technical Report, Stazione Oceanografica CNR, La Spezia, Italy, 99 p.
- Kouraev A. V., Papa F., Buharizin P. I., Cazeneuve A., Cretaux J.-F., Dozortseva J., and Remy F., 2003.** Ice cover variability in the Caspian and Aral seas from active and passive microwave satellite data, Polar Research, vol. 21, No. 1, pp. 43–50.
- Levitus S., Antonov J. I., Boyer T. P., and Stephens C., 2000.** Warming of the World Ocean, Science, vol. 287, No. 5461, pp. 2225–2229.
- Matishov G., Matishov D., Gargopa G., Dashkevich L., Berdnikov S., Baranova O., and Smolyar I., 2006.** Climatic Atlas of the Sea of Azov 2006, Matishov G. and Levitus S. (eds.), NOAA Atlas NESDIS 59, U.S. Government Printing Office, Washington DC, 148 p., <http://www.nodc.noaa.gov/OC5/AZOV2006/start.html>.
- Mikaelyan A. S., 1995.** Winter bloom of the diatom *Nitzschia delicatula* in the open waters of the Black Sea, Marine Ecology, Progress Series, vol. 129, pp. 241–251.
- Mikhailov V. N. and Mikhailova M. V., 2008.** River mouths, in: The Black Sea Environment, Kostianoy A. and Kosarev A. (eds.), The Handbook of Environmental Chemistry, Springer-Verlag, vol. 5Q, doi:10.1007/698_5_061, pp. 91–133.
- Nezlin N. P., 2005.** Patterns of seasonal and interannual variability of remotely sensed chlorophyll, in: The Caspian Sea Environment, Kostianoy A. G. and Kosarev A. N. (eds.), Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, pp. 143–158.
- Nezlin N. P., 2008.** Seasonal and interannual variability of remotely sensed chlorophyll, in: The Black Sea Environment, Kostianoy A. G. and Kosarev A. N. (eds.), Springer-Verlag, vol. 5Q, doi: 10.1007/698_5_063, pp. 333–349.
- Oguz T., 2005.** Black Sea ecosystem response to climatic teleconnections, Oceanography, vol. 18, No. 2, pp. 122–133.
- Oguz T., Dippner J. W., and Kaymaz Z., 2006.** Climatic regulation of the Black Sea hydro-meteorological and ecological properties at inter-annual-to-decadal time scales, J. Marine Systems, vol. 60, pp. 235–254.

- Rayner N. A., Parker D. E., Horton E. B., Folland C. K., Alexander L. V., Rowell D. P., Kent E. C., and Kaplan A., 2003. Global analysis of sea surface temperature, sea ice, and night marine air temperature since the late nineteenth century, *J. Geophys. Res.*, vol. 108, No. D14, 4407, doi:10.1029/2002JD002670, pp. ACL 2-1-2-22.
- Santoleri R., Bohm E., and Schiano M. E., 1994. The sea surface temperature of the western Mediterranean Sea: Historical satellite thermal data, *Coastal and Estuarine Studies*, vol. 46, pp. 155–176.
- Shiganova T. A., Mirzoyan Z. A., Studenikina E. A., Volovik S. P., Siokou-Frangou I., Zervoudaki S., Christou E. D., Skirta A. Y., and Dumont H. J., 2001. Population development of the invader ctenofore *Mnemiopsis leidyi* in the Black Sea and in other seas of the Mediterranean basin, *Marine Biology*, vol. 139, pp. 431–445, doi:10.1007/s002270100554.
- Shokurova I. G. and Belokopytov V. N., 2006. Interdecadal variability of temperature and salinity in the Black Sea, in: Commission on the Protection of the Black Sea Against Pollution, 1st Biannual Scientific Conf. “Black Sea Ecosystem 2005 and Beyond”, Abstracts, Istanbul, Turkey, p. 18.
- Transboundary Diagnostic Analysis for the Caspian Sea, 2002. Vol. II, Caspian Environment Programme, Baku, Azerbaijan, 132 p., http://enrin.grida.no/caspian/additional_info/Caspian_TDA_Volume_Two.pdf.
- Vigo I., Garcia D., and Chao B. F., 2005. Change of sea level trend in the Mediterranean and Black seas, *J. Marine Res.*, vol. 63, No. 6, pp. 1085–1100, doi: 10.1357/002224005775247607.

2.10. ПОСЛЕДСТВИЯ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ

Ведущие авторы: Л. И. Болтнева, В. В. Оганесян, Б. Г. Шерстюков

Авторы: Е. К. Зоидзе, А. А. Коршунов, П. М. Лурье, В. Д. Панов, В. А. Семенов

Редактор-рецензент: Д. Б. Киктев

2.10.1. Общая характеристика

К широкомасштабным последствиям экстремальных метеорологических явлений относятся засухи, наводнения и лесные пожары, наносящие существенный ущерб (в том числе экономический) России в масштабах целых регионов. Они будут подробно рассмотрены в данном разделе для XX века и начала XXI века. Однако в целом проблема ущерба от экстремальных метеорологических явлений этим не ограничивается. В данном разделе на примере Большого Кавказа будут также рассмотрены вопросы опасности селей и лавин в горной местности. Имея локальный пространственный масштаб, они сопряжены с существенным риском для жизни людей, их жилищ и технических сооружений.

Ущерб, наносимый мировой экономике экстремальными гидрометеорологическими явлениями, по оценкам экспертов ООН, составляет 70% суммарного ущерба от воздействия природных катастроф и стихийных бедствий (Бедрицкий и др., 2004). В мире за последние годы XX века свыше 1100 млн. человек оказались жертвами стихийных бедствий, нанесящих ущерб более чем в 730 млрд. долл.; 95% числа людей, погибших от природных катаклизмов, пришлось на развивающиеся страны, а материальный ущерб в процентах от валового внутреннего продукта (ВВП) в них более чем в 20

раз превысил аналогичные показатели для развитых стран (World Meteorological Organization, 1994).

В табл. 2.10.1 приведены данные по США об ущербе от экстремальных метеорологических явлений из работ (Meyers and Cotton, 1992; Golden and Bluestein, 1994; Maglaras et al., 1995; Chen et al., 1996; Adams and Comrie, 1997; Changnon and Changnon, 1997; Changnon et al., 1997; Pielke, 1997; Parish et al., 1997; Kutiell and Maheras, 1998; Pielke et al., 2000).

Восемь факторов, указанных в табл. 2.10.1, считаются основными, приводящими к экономическому и социальному ущербу на территории США. Наибольший социально-экономический ущерб по данным этой таблицы связан с экстремальным похолоданием.

Большой экономический ущерб России причиняют наводнения, шквалы, смерчи, ветер, ливни, грозы, град. Материальный ущерб в 15 млрд. руб. причинен катастрофическими наводнениями летом 2002 г. в Южном федеральном округе. Общий ущерб в 5,9 млрд. руб. был причинен катастрофическим наводнением заторного происхождения в 2001 г. в Сибири на Верхней и Средней Лене, Енисее, Ангаре, Нижней и Подкаменной Тунгуске (Малик, 2005).

На Европейской территории России в период 1991–2000 гг. наблюдалась тенденция к увеличению общего числа явлений, обусловленных ветром разрушительной силы. Экономический ущерб более 22 млрд. руб. причинили шквалы, смерчи, ливни, град, грозы 24–28 июня 1996 г. в 7 субъектах РФ (республики Марий Эл, Чувашская, Мордовия; Пензенская, Нижегородская, Ярославская, Тверская области). Шквалы в сочетании с грозами, ливнями, градом 19–22 июня 1998 г. в 10 субъектах РФ нанесли крупный материальный ущерб. Ущерб

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

Таблица 2.10.1. Сводные данные об ущербе в США от экстремальных гидрометеорологических явлений во второй половине XX века

Явление	Человеческие жертвы (в среднем в год за указанный период, годы)	Среднегодовые потери за указанный период (годы), млрд. долл. США	Максимальные потери (верхняя цифра, млрд. долл. США) и человеческие жертвы (нижняя цифра) за последние годы, в скобках указан год	Источник
Наводнение	96 (1986–1995)	2,4 (1984–1993)	20 (1993) 156 (1976)	Pielke, 1997; Chen et al., 1996; Meyers and Cotton, 1992
Ураган	20 (1986–1995)	6,2 (1989–1995)	30 (1992) 256 (1969)	Pielke et al., 2000
Зимний шторм	47 (1988–1995)	~ 1	6 (1993) 200 (1993)	Parish et al., 1997; Maglaras et al., 1995
Торнадо	44 (1985–1995)	2,9 (1991–1994)	3,8 (1993) 94 (1985)	Golden and Bluestein, 1994
Экстремальная жара	384 (1979–1992)	—	> 15 (1980) 522 (1995)	Parish et al., 1997 Adams and Comrie, 1997
Экстремальный холод	770 (1968–1985)	—	> 30 (1976–1977)	Adams and Comrie, 1997
Молния	175 (1940–1981)	> 1	—	Kutiell and Maheras, 1998
Град	—	2,3	0,65 (1990)	Changnon and Changnon, 1997; Changnon et al., 1997

по г. Москва составил около 1 млрд. руб., по Подмосквью — 61,7 млн. руб. (Бедрицкий и др., 2001).

На территории России отмечаются более 30 видов опасных гидрометеорологических (метеорологических, агрометеорологических, гидрологических, морских гидрометеорологических) явлений. На рис. 2.10.1 представлены статистические данные за 1991–2002 гг. по девяти типам таких явлений для территории России.

Как видно на рис. 2.10.1, около 37% всех опасных гидрометеорологических явлений приходится на группу из четырех метеорологических явлений — сильный ветер, ураган, шторм, смерч. Наиболее часто эти явления наблюдаются на территории Приволжского и Уральского федеральных округов; анализ изменения характеристик ветра по данным за 1966–2000 гг. по сравнению с периодом 1936–1966 г. показал существенное (до 1,7–3,1 раза) увеличение среднего числа дней с сильным ветром (более 15 м/с) для большинства метеостанций Омской области (Бедрицкий и др., 2004).

Анализ распределения опасных гидрометеорологических явлений по территории России показывает, что 52% наблюдались на Европейской и

48% — на Азиатской территории России. Наибольшее их число зафиксировано в Северо-Кавказском, Поволжском, Уральском экономических районах и в южных частях (южнее 60° с. ш.) Западно-Сибирского и Дальневосточного районов. В Северо-Кавказском экономическом районе повышенная частота опасных гидрометеорологических явлений в значительной мере обусловлена орографическим фактором и региональными синоптическими процессами (Хандожко, 1988). Такие явления, как сильный и ураганный ветер, метели и весенние половодья, наблюдались во всех без исключения экономических районах.

По мировым данным отмечается определенная тенденция к увеличению частоты экстремальных гидрометеорологических явлений и увеличению связанного с ними ущерба. На рис. 2.10.2 приведены ежегодные потери от экстремальных гидрометеорологических явлений застрахованной собственности в США. Видно, что потери от экстремальных гидрометеорологических явлений с 1974 по 1994 г. возросли более чем на порядок. Авторы работы (Отчет Всемирного банка..., 2003) связывают этот рост с глобальными изменениями климата.

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

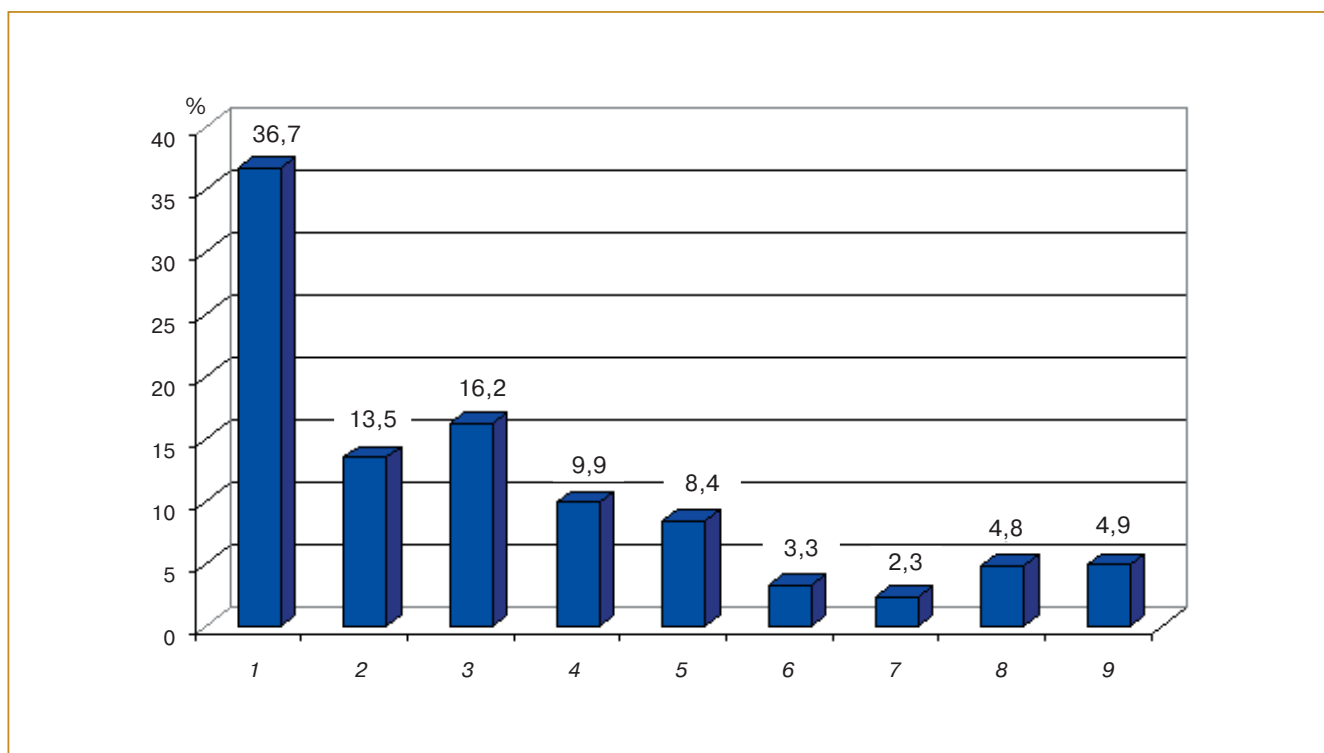


Рис. 2.10.1. Распределение общего числа опасных гидрометеорологических явлений в России в 1991–2002 гг. по отдельным видам опасных явлений (Бедрицкий и др., 2004): 1 — ураган, сильный ветер, шквал, смерч; 2 — сильная метель, сильный снег, гололед; 3 — сильный дождь, продолжительный дождь, ливень, крупный град, гроза; 4 — мороз, заморозки, сильная жара; 5 — весеннее половодье, дождевой паводок, наводнение; 6 — лавина, сель; 7 — засуха; 8 — чрезвычайная пожарная опасность; 9 — сильный туман.

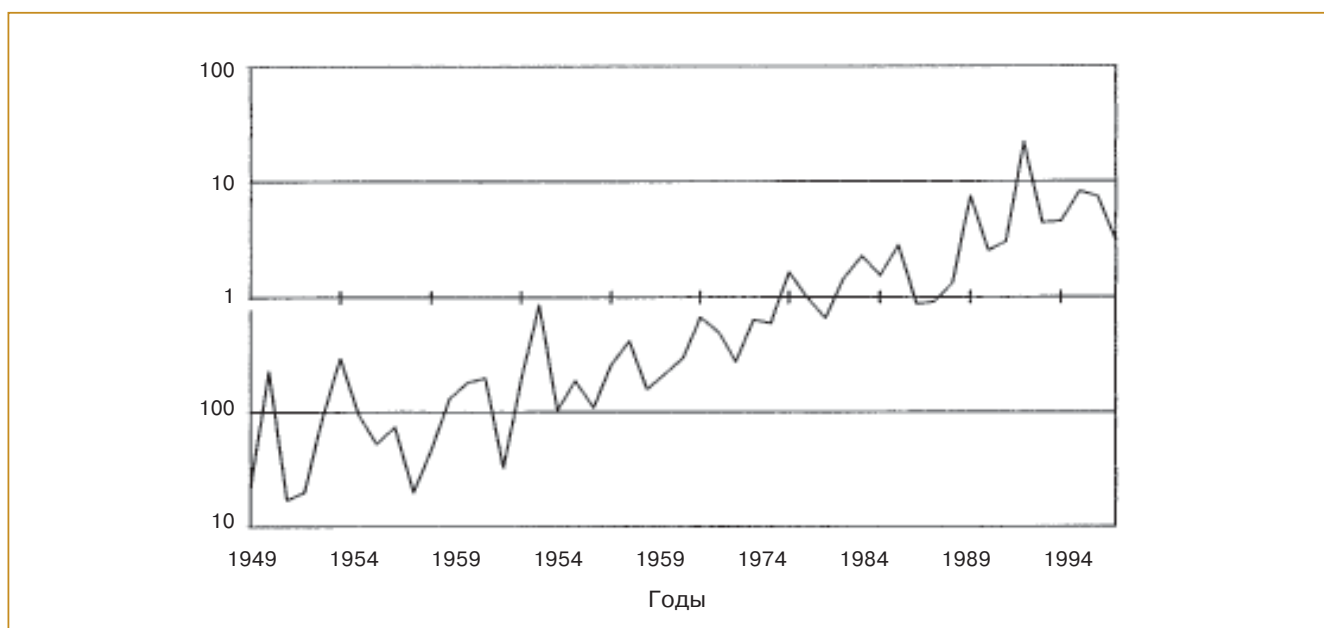


Рис. 2.10.2. Ежегодные потери от экстремальных гидрометеорологических явлений застрахованной собственности в США; в нижней части графика — млн., а в верхней — млрд. долл. США в ценах 1997 г. (Отчет Всемирного банка..., 2003).

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

Таблица 2.10.2. Временные тренды экстремальных значений суточных сумм осадков (Национальный доклад на Всемирной конференции по уменьшению опасности бедствий, 2005)

Территория	Период, годы	Пороговое значение суммы осадков, мм/сутки	Сезон	Среднее число дней с экстремальными осадками	Линейный тренд, % за 10 лет
Две трети восточной части США	1910–1996	50,8	Июнь — август	0,6	1,7
Европейская часть СССР	1936–1994	20,0	Июнь — август	1,8	3,9
Азиатская часть СССР	1936–1994	20,0	Июнь — август	2,3	1,9
Южная Канада	1944–1995	20,0	Июнь — август	2,9	1,9
Южное побережье Австралии	1900–1996	50,8	Декабрь — февраль	0,4	4,6
Норвегия	1901–1996	25,4	Июнь — август	2,0	1,9
Южная Япония	1951–1989	100,0	Июнь — август	1,0	-6,1
Северная Япония	1951–1989	100,0	Июнь — август	0,3	3,4
Северо-Восточный Китай	1951–1997	50,0	Июнь — август	1,0	-3,1
Юго-Восточный Китай	1951–1997	100,0	Июнь — август	0,5	1,3
Эфиопия	1951–1987	25,4	Июнь — август	5,5	-11,6
Экваториальная Восточная Африка	1950–1997	50,8	Март — май	1,1	-11,2
Южная Африка	1901–1997	50,8	Декабрь — февраль	0,6	4,1
Северо-Восточная Бразилия	1935–1983	50,8	Март — май	1,0	3,6
Таиланд	1951–1985	50,8	Сентябрь — ноябрь	2,2	-8,4

Согласно данным Отчета Всемирного банка (2003), значимые положительные тренды в рядах температуры отмечены для части территории США и Китая в отношении минимальной суточной температуры. Повышение максимальной суточной температуры отмечалось в Австралии и Новой Зеландии, в Китае отмечалось ее понижение. В Европе значимых трендов этих показателей температуры не обнаружено, как не обнаружено трендов числа дней с морозами. Тренды температуры обнаруживаются главным образом не в абсолютных значениях экстремумов, а в повторяемости выбранных градаций. Общая тенденция такова, что продолжительность периодов с экстремально низкой температурой сокращается, а продолжительность периодов с экстремально высокой температурой увеличивается.

В отношении временных трендов экстремальных значений суточных сумм осадков (т. е. превышающих определенное пороговое значение) были

получены несколько другие результаты, представленные в табл. 2.10.2. Видно, что значимые тренды в экстремальных значениях суточных сумм осадков наблюдаются во всех регионах земного шара, несмотря на различия в выбранных порогах. На большей части исследуемых территорий преобладают положительные тренды сумм осадков, но отрицательные тренды выражены значительно сильнее. Это позволяет предположить усиление одного из основных стихийных явлений, связанного с осадками, — наводнений, наносящих наибольший экономический ущерб, в частности в России.

Организации наблюдательной сети Росгидромета ведут регулярные наблюдения за экстремальными опасными гидрометеорологическими явлениями с целью их обнаружения и прогнозирования. Анализ этих данных позволяет выявлять некоторые тенденции в частоте опасных гидрометеорологических явлений на территории страны.

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

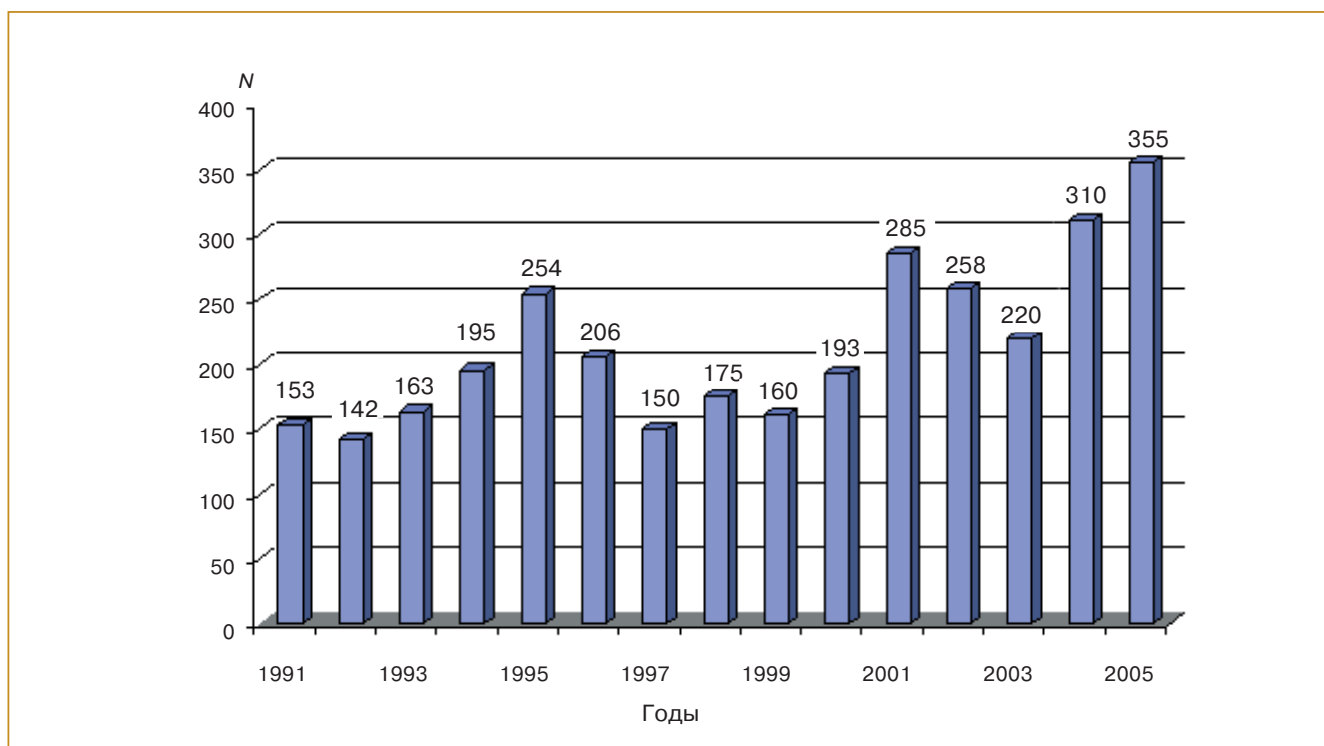


Рис. 2.10.3. Число случаев N опасных гидрометеорологических явлений в России в 1991–2005 гг. (Бедрицкий и др., 2004; Тренин, 2006).

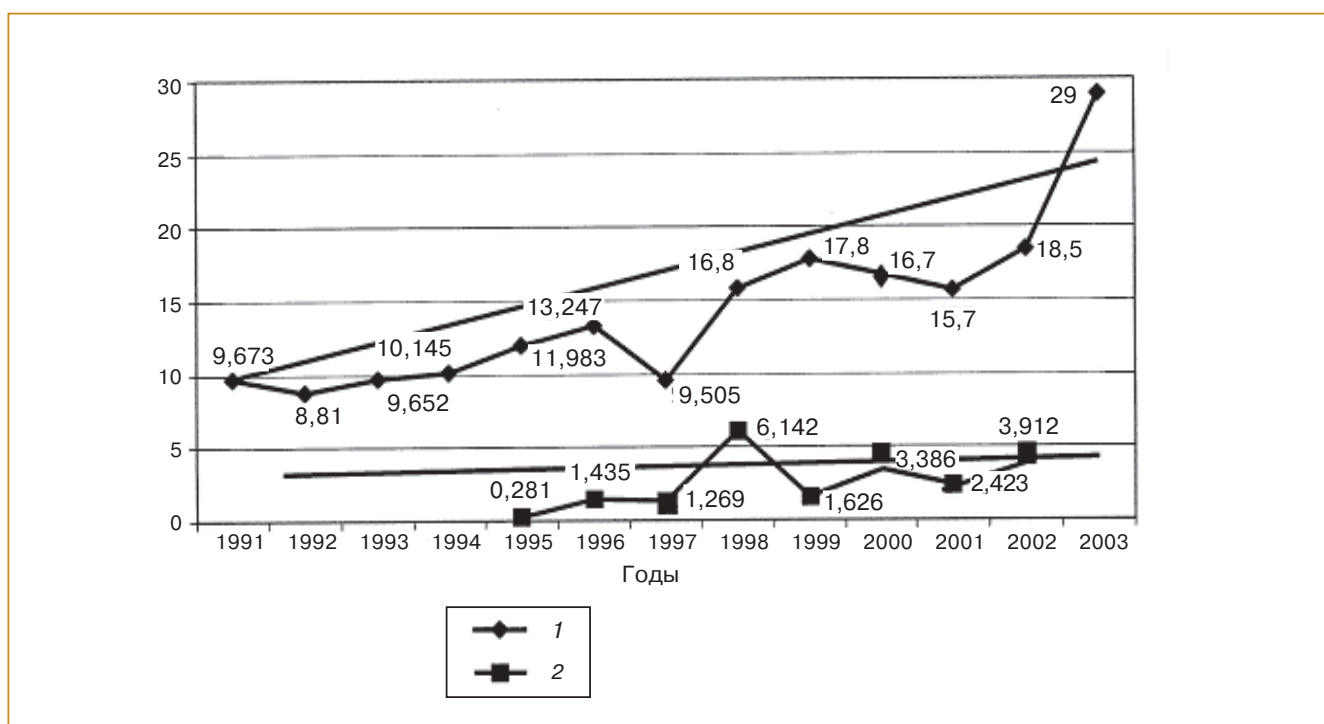


Рис. 2.10.4. Экономические потери (млрд. руб.) в сельском хозяйстве (1; по данным “РосНТЦагро ЧС”) и лесном хозяйстве (2; по данным “Авиалесохрана”) России от воздействия опасных гидрометеорологических явлений.

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

На рис. 2.10.3 приведено распределение суммарного по территории России числа случаев таких явлений по годам за 1991–2005 гг. На рисунке видно, что на территории России практически каждый второй день в году где-либо отмечается опасное гидрометеорологическое явление. Заметна тенденция увеличения их числа в последние годы (Бедрицкий и др., 2004; Тренин, 2006).

Экономические потери от воздействия опасных гидрометеорологических явлений на сельское хозяйство и лесное хозяйство России в разные годы приведены на рис. 2.10.4. На нем показаны также тенденции роста этих потерь (линейные тренды).

В России по размерам экономических потерь среди последствий экстремальных метеорологических явлений первое место занимают засухи, которые по частоте встречаемости занимают только седьмое место, второе — комплекс экстремальных гидрометеорологических явлений (ураган, сильный ветер, шквал, смерч), занимающий первое место по частоте встречаемости, наводнения — третье; 30% всех погибших вследствие экстремальных гидрометеорологических явлений связаны с наводнениями. Связанный с опасными гидрометеорологическими явлениями ежегодный ущерб экономике СССР с 1963 по 1991 г. возрос с 5,3 до 22,2 млрд. руб. (Бедрицкий и др., 2004).

Анализ интенсивности и повторяемости локальных экстремумов температуры и осадков, например для Москвы, показал, что локальный климат становится более умеренным главным образом в результате уменьшения суровости зим. Это отчетливо видно по значениям амплитуды годового хода среднесуточной температуры — она уменьшилась от 6,7°C (1879 г.) до 5,4°C (2004 г.), т. е. на 1,3°C.

Еще более заметно (почти в три раза) уменьшилась повторяемость экстремумов минимальной суточной температуры. Значения годовых экстремумов суточной суммы осадков увеличились примерно на 10 мм летом и на 7 мм зимой (Оганесян, 2004). Последствия этих изменений сказались, прежде всего, в городском хозяйстве: значительно увеличились нагрузки на транспортную инфраструктуру города, особенно на снегоуборочную технику.

2.10.2. Засухи

Засухи характерны для многих зернопроизводящих регионов страны. Они существенно и негативно влияют на урожай сельскохозяйственных культур. Так, почвенная и атмосферная засухи в России в 2002 г. охватили значительную территорию. Начавшись в июне в центральных областях, к июлю почвенная засуха охватила практически всю Европейскую территорию России и Урал. В августе эпицентр засухи сместился к западу и северо-западу. Почвенная засуха наблюдалась в Калининградской, Московской, Нижегородской областях, а в областях Центрально-Черноземной зоны она усугублялась атмосферной (Бедрицкий, 2004). В 2002 г. по сравнению с 2001 г. урожайность зерновых культур в среднем по стране заметно снизилась.

Преобладающая часть имеющихся фактических данных характеризует атмосферную засуху. Почвенная и общая (атмосферно-почвенная) засухи и количественные аспекты их влияния на продуктивность растений изучены в меньшей степени.

Анализ атмосферных засух за 1891–1985 гг. для территории СССР выполнен в работах (Уланова,

Таблица 2.10.3. Частота сильных и средних атмосферных засух в некоторых регионах России в 1891–1985 гг. (Уланова, 1988а, 1988б)

Территория	Число засух			Частота засух, %		
	сильных	средних	всего	сильных	средних	всего
Северный Кавказ	14	14	28	15	15	30
Нижнее Поволжье	22	16	38	23	17	40
Среднее Поволжье	16	18	34	17	19	36
Области Центрально-Черноземной зоны	11	11	22	12	12	24
Южный Урал	22	18	40	23	19	42
Средний Урал	8	11	19	8	12	20
Волго-Вятский и Центральный районы (южная половина)	7	10	17	7	10	17
Западная Сибирь (степные районы)	9	16	25	9	17	26

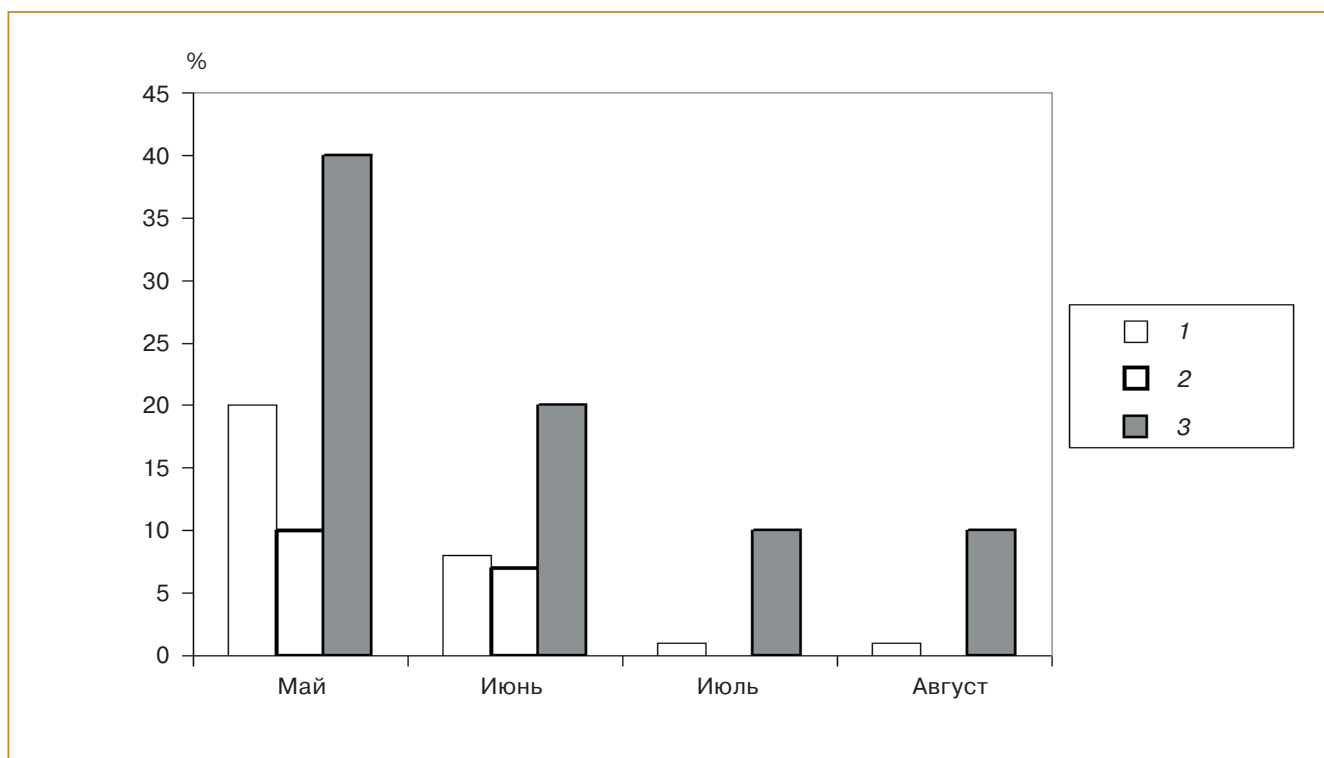


Рис. 2.10.5. Частота метеорологических засух в Московском регионе (число суток в месяце с $ГТК < 1$) в % от общего числа дней в месяце (Шерстюков, 2003). 1) 1901–2000 гг.; 2) 1961–1990 гг.; 3) 1991–2000 гг.

1988а, 1988б); часть оценок из них воспроизведена в табл. 2.10.3. Оценки были сделаны для основных зернопроизводящих регионов страны.

По данным этих работ всего в период 1891–1985 г. на территории страны сильных и средних атмосферных засух было 223. Наибольшая частота засух наблюдалась на Южном Урале (45%), в Нижнем и Среднем Поволжье (40 и 30% соответственно). Однако четко выраженной периодичности засух или же общей тенденций в изменении их частоты не выявлено.

Изменение в 1891–2000 гг. частоты атмосферных засух разной интенсивности в Саратовской и Волгоградской областях, для которых характерны явления засухи, исследовано в работе (Зоидзе, 2004); для оценок также использовались 20-летние средние значения. Анализ данных показал, что в целом не наблюдается резко выраженного увеличения частоты атмосферных засух. Есть тенденция к заметному уменьшению частоты средних засух; небольшое увеличение частоты очень сильных засух отмечено в обеих областях.

В работе (Шерстюков, 2003) проанализирована частота метеорологических атмосферных засух в Московском регионе для трех периодов: 1901–2000, 1961–1990 и 1991–2000 гг. (рис. 2.10.5); сделан вывод о том, что в 1991–2000 гг. в мае и июне частота этих засух примерно вдвое превысила

средний уровень для XX века; появились засухи в июле и августе.

Результаты оценок влагообеспеченности ЕТР в разных природных зонах в период 1891–2002 гг. приведены в работе (Зоидзе, Хомякова, 2006). Для оценки влагообеспеченности территорий были применены гидротермический коэффициент $ГТК$ и шкала для классификации влагообеспеченности (см. раздел 2.1.10). Влагообеспеченность территории характеризовалась частотным распределением (%) значений $ГТК$ в многолетнем ряду результатов наблюдений по классам. При этом использовали среднеобластное значение $ГТК$ и 20-летние средние за май — июнь. Оценки были выполнены для 8 субъектов Российской Федерации, расположенных в разных физико-географических и гидрологических зонах. Анализ данных, проведенный в работе (Зоидзе, Хомякова, 2006), показал, что в 1891–2002 гг. наблюдались значительные колебания влагообеспеченности, чередование периодов ее увеличения и уменьшения. В последнем из рассматриваемых двадцатилетий (1983–2002 гг.) доля лет с влагообеспеченностью выше среднеемноголетних значений уменьшилась в Калужской, Новосибирской областях и в Краснодарском крае на 10–14%, а в Саратовской области значение этого показателя увеличилось примерно на 35%. Однако

общих для территории страны однонаправленных изменений выявлено не было.

Распределение в пространстве и интенсивность засух всех типов на территории страны в XX веке оценивались по данным метеорологических и иных специальных наблюдений. По данным 42 метеостанций, расположенных в Черноземной зоне и на прилегающей территории, о запасах продуктивной влаги в почве под ранними культурами в пахотном и метровом слоях почвы составлен каталог сильных засух, в котором указаны начало и продолжительность засух для каждого конкретного засушливого года (Страшная, Богомолова, 2005). Данные о почвенных засухах в Центрально-Черноземной зоне России в период 1971–2000 гг., приведенные в работе, показали, что, несмотря на плодородие почв этой зоны, их неустойчивое и недостаточное увлажнение обуславливает значительные колебания урожайности зерновых культур. Обширные общие засухи (атмосферная и почвенная одновременно) наблюдались в 1972, 1975, 1979, 1981, 1995, 1998 и 1999 гг., и тогда происходило значительное снижение урожайности (Уланова, Страшная, 2000). Средняя продолжительность (в декадах) наблюдавшихся сильных почвенных засух была рассчитана по данным метеостанций Центрально-Черноземной зоны о фактических влагозапасах в пахотном слое почвы. В целом в мае — июне продолжительность сильных засух под яровыми зерновыми культурами возрастала в юго-восточном направлении от 0,39 декады на западе Курской области до 3,25–3,73 декады на востоке Ставропольского края, в Астраханской области и в Республике Калмыкия. Продолжительность засух в Оренбургской области — 1,97 декады, а в Самарской — 0,69 декады.

Сильные почвенные засухи, как это следует из данных каталога (Страшная, Богомолова, 2005), характерны для 20 субъектов Российской Федерации, расположенных в Центрально-Черноземной зоне. Наименьшая повторяемость засушливых лет наблюдается в южных областях Центрального, Приволжского и Уральского федеральных округов — от двух до десяти засушливых лет в период 1971–2000 гг. Наибольшая повторяемость лет с сильной почвенной засухой характерна для Южного федерального округа, где она увеличилась до 15–20 засушливых лет в исследуемый период; исключение — Краснодарский край, где сильная почвенная засуха наблюдалась только четыре раза.

Частота почвенных засух в слое почвы 0–20 см на дату сева и выхода в трубку основных сельскохозяйственных культур исследована по субъектам Российской Федерации по данным многолетних наблюдений на сети Госкомгидромета за 1951–1985 гг. в работе (Хомякова, Зойдзе, 2002). Было выявлено, что частота почвенных засух изменяет-

ся по стране в широких пределах. Большая частота (> 40–60%) сильной и очень сильной почвенных засух на сельскохозяйственных землях под озимыми зерновыми культурами обнаружена для территорий Южного и Приволжского федеральных округов. Жесточайшие засухи в 1975 и 1981 гг. охватили все основные зернопроизводящие районы Европейской территории СССР, Сибири и Казахстана и не имели аналогов с 1881 г. Недобор валовых сборов зерна в целом по СССР в эти годы составил 42 и 47 млн. т соответственно (около 20 и 23% среднего сбора). В периоды апрель — июнь 1975 г. и май — июнь 1981 г. аномалия температуры составляла 3°C, а сумма осадков была лишь 20–60% нормы. Длительность бездождных периодов достигала 20–30 дней при дневной температуре 30–37°C (Уланова, 1988а). Приведенные выше данные, опубликованные в отечественной специальной литературе, позволяют сделать следующее заключение: хотя явление засухи можно считать типичным для многих регионов России, в том числе для зернопроизводящих регионов, и засухи наносят значительный ущерб растениеводству, определенной однонаправленной тенденции в частоте и интенсивности засух на территории России в XX веке пока не выявлено. Тенденция к увеличению частоты засух проявляется лишь в некоторых регионах.

2.10.3. Лесные пожары

Леса занимают значительную часть территории России и играют заметную роль в поддержании и сохранении биоразнообразия как накопители углерода и поставщики кислорода, а также как источник биоресурсов.

При установившейся на длительное время сухой и жаркой погоде причиной возникновения лесного пожара могут быть как естественные факторы (разряд молнии, например), так и антропогенные — например, нарушения человеком требований пожарной безопасности (около 80% возгораний). Потери от лесных пожаров велики: уничтожение лесных массивов, гибель животных и растений, загрязнение атмосферы вредными примесями, дополнительная эмиссия CO₂ в атмосферу (вклад в антропогенное усиление парникового эффекта), дополнительная эрозия почв, ущерб здоровью и часто жизни людей.

По данным работы (Задонина и др., 2004), ежегодно в мире регистрируется около 200 000 пожаров, в которых выгорает 40 млн. га леса, что составляет 0,1% площади всех лесных территорий планеты.

Г. Н. Коровин и А. С. Исаев (1998) оценили площадь ежегодных лесных пожаров в России в 5–6 млн. га. В более поздней работе Г. Н. Коровин и

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

Таблица 2.10.4. Площадь вырубki леса и площадь территории, на которой лес погиб от пожаров, в России в 1995–2003 гг. (Сельское хозяйство, охота и лесоводство в России, 2004; Думнов и др., 2005)

Год	Площадь вырубki леса, тыс. га	Погибло от пожаров лесных насаждений, тыс. га
1995	761,6	57,1
1996	612,5	295,5
1997	623,5	240,8
1998	573,5	253,9
1999	706,8	291,3
2000	756,5	709,7
2001	758,0	140,7
2002	743,0	305,2
2003	766,9	540,4

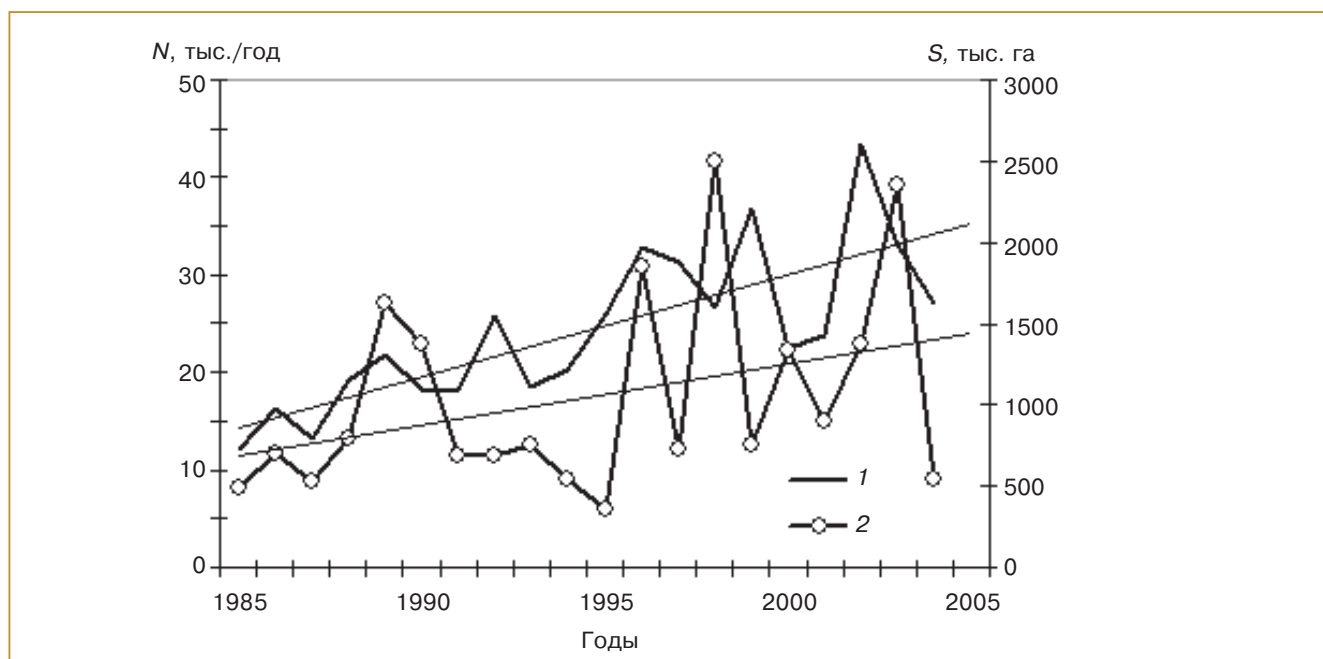


Рис. 2.10.6. Число лесных пожаров N (1) и лесная площадь S (2), пройденная пожарами, в 1985–2005 гг.; прямые линии — линейные тренды; по данным работы (Думнов и др., 2005).

Н. В. Зукерт отмечают, что на активно охраняемой территории лесного фонда ежегодно возникают от 12 до 36 тысяч лесных пожаров, охватывающих площадь от 0,5 до 5,2 млн. га (Коровин, Зукерт, http://www.rusrec.ru/kyoto/articles/art_climate_forest.htm). Г. Н. Коровин и А. С. Исаев (1998) считают, что в заселенных равнинных районах России до 98% возгораний возникает по вине человека, а в удаленных северных районах в 50% случаев виноваты грозы; ежегодно около 5% лесных пожаров перерастают в угрожающе крупные, которые охватывают до 92% всех площадей, пройденных огнем. В настоящее время основными причинами лесных пожаров являются следующие: по вине граждан —

71,2%, от сельскохозяйственных палов — 12,1%, от грозных разрядов — 8,4% и по невыясненным причинам — 6,7% (Думнов и др., 2005). В целом площади, на которых лесные насаждения погибают от пожаров, вполне сравнимы с площадями, на которых лес вырубается для хозяйственного использования (табл. 2.10.4).

Лесные пожары причиняют огромный ущерб экономике России. Прямые потери от лесных пожаров, под которыми понимается стоимость полностью сгоревших и поврежденных заготовленных лесоматериалов, древесины на корню и молодняков лесных пород, в 1998–2002 гг. составляли от 0,5 до 3,5 млрд. руб. в год, в 2003 г. — 17 млрд. руб.,

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

в 2004 г. около 20 млрд. руб. Предприятия и организации, в ведении которых имеются леса, на тушение пожаров затратили в 2003 г. 2,4 млрд. руб., а в 2004 г. — 0,8 млрд. руб. (Думнов и др., 2005).

В целом по России в 1985–2004 гг. как количество лесных пожаров, так и лесная площадь, пройденная пожарами (она всегда превышает площадь территории, на которой лес погиб от пожаров), возрастали (рис. 2.10.6).

Таким образом, учащение лесных пожаров и увеличение их интенсивности в России в конце XX — начале XXI веков потенциально могут быть связаны с современными изменениями климата. В связи с этим было предпринято теоретическое исследование (Шерстюков, Шерстюков, 2007) изменений индекса горимости для территории России, исходя из фактических данных срочных наблюдений сети 1400 метеостанций Росгидромета для второй половины XX — начала XXI веков.

Оценки были проведены для периода 1971–2004 гг. с помощью индекса горимости леса G (см. раздел 2.1.10). Для каждого года этого периода для каждых суток вычислялись значения индекса горимости леса G для каждой станции. Затем для каждой станции для каждого года производился подсчет числа суток за сезон и за год с “высокой и больше” горимостью ($G > 1000$, III класс горимости) и с “особо опасной и больше” горимостью

($G > 4000$, IV класс горимости). В результате этих расчетов по каждой станции был получен ряд годовичных значений числа суток за год с классами индекса горимости III и IV. Далее по каждой из 1400 станций за период 1971–2004 гг. методом линейной регрессии была получена линейная аппроксимация этих рядов годовичных значений.

Изменение горимости лесов за 1971–2004 гг. оценивалось по таким рядам, как изменение в процентах аппроксимированного значения для 2004 г. по сравнению с аппроксимированным значением для 1971 г. Такие оценки были получены для весеннего периода (апрель — май), лета (июнь — август) и осеннего периода (сентябрь — октябрь), а также для календарного года в целом. Их результаты представлены в картографической форме рис. 2.10.7–2.10.10. Полученные оценки можно суммировать следующим образом.

В весенний период (рис. 2.10.7) на ЕТР отмечалось увеличение числа суток с высокой пожароопасностью — преимущественно до 50%. Наибольшее увеличение — от 25 до 50% — на ЕТР наблюдается на широтах 55–65° с. ш. Такие же изменения пожароопасности произошли в низких широтах Сибири (в верховьях Оби, Енисея, в Прибайкалье и Забайкалье) и Дальнего Востока (Приамурье и Камчатка). Но в некоторых из них увеличение составило 50–75%. Уменьшилась пожароопасность

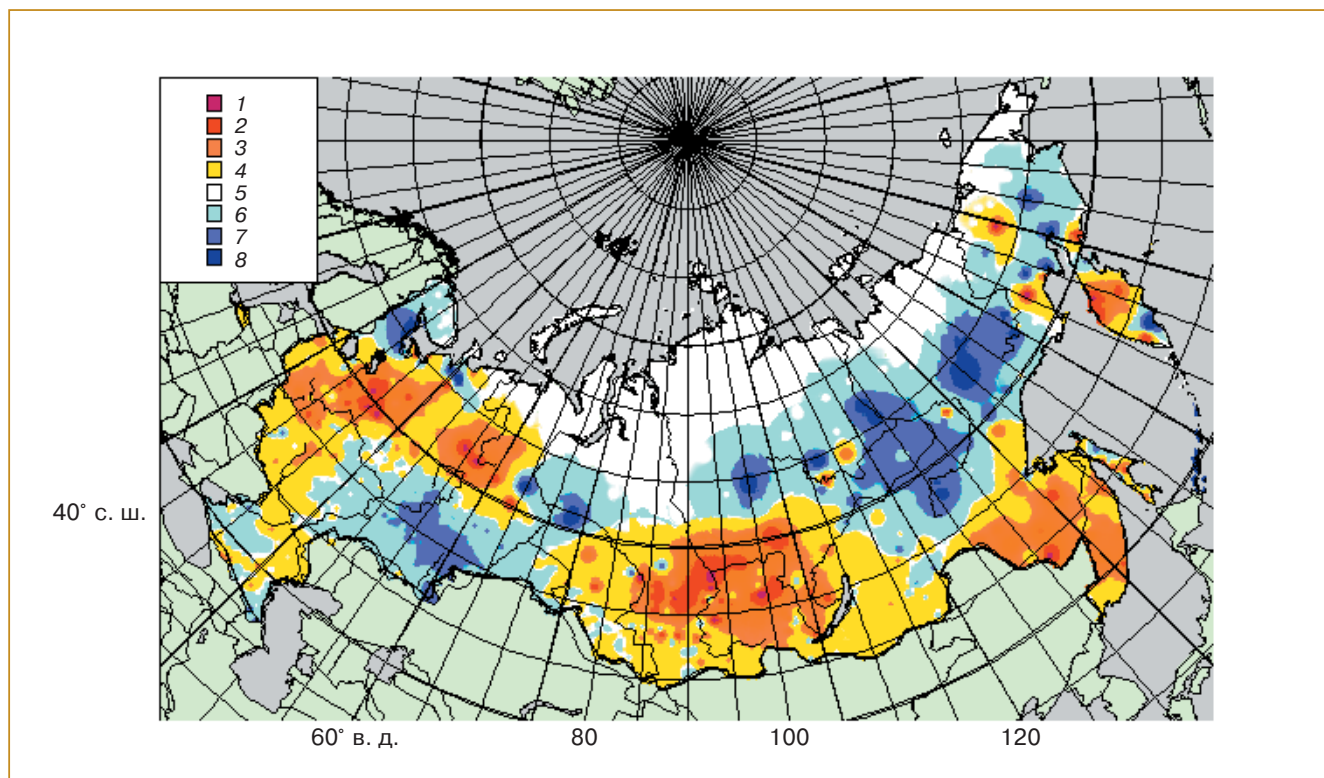


Рис. 2.10.7. Изменение числа суток (%) в весенний период (апрель — май) с высокой горимостью за 1971–2004 гг. 1) 75–100; 2) 50–74; 3) 25–49; 4) 1–24; 5) 0; 6) –1...–24; 7) –25...–49; 8) –50...–75.

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

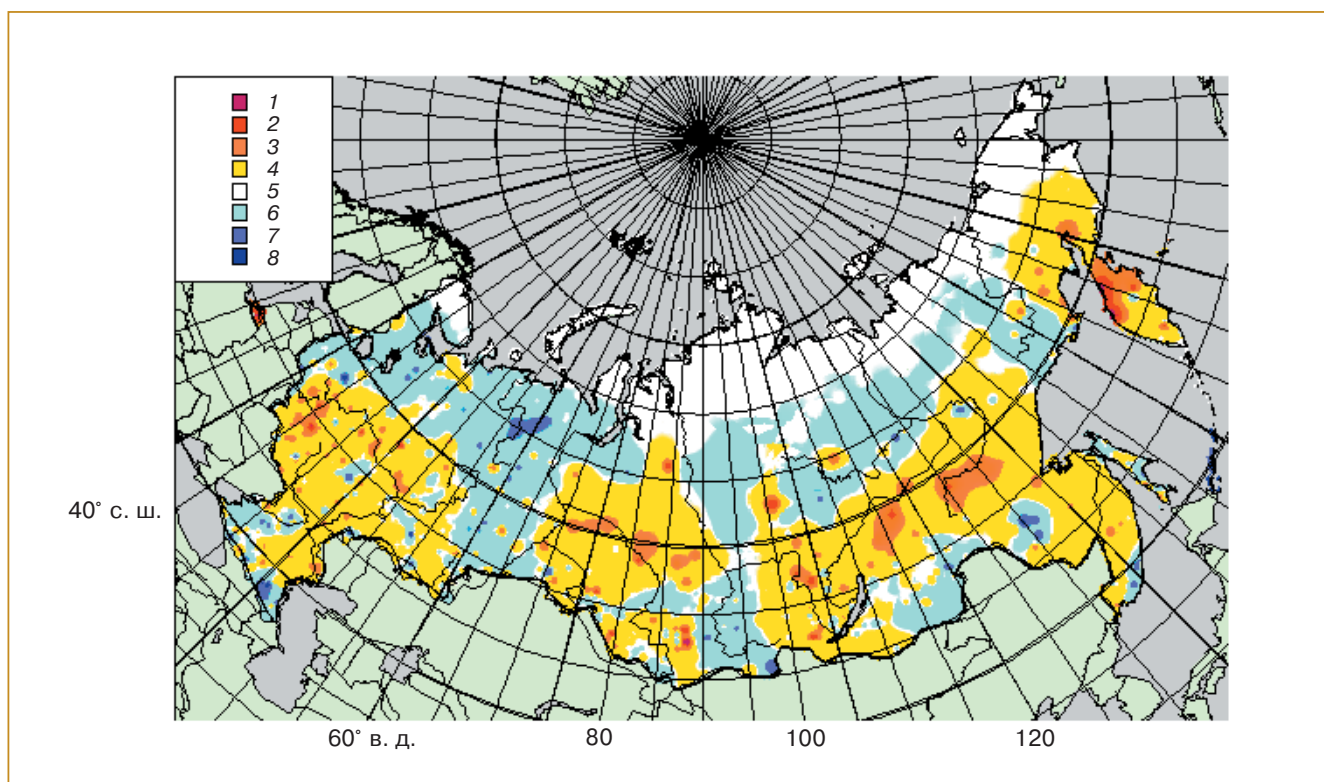


Рис. 2.10.8. То же, что на рис. 2.10.7, для лета (июнь — август).

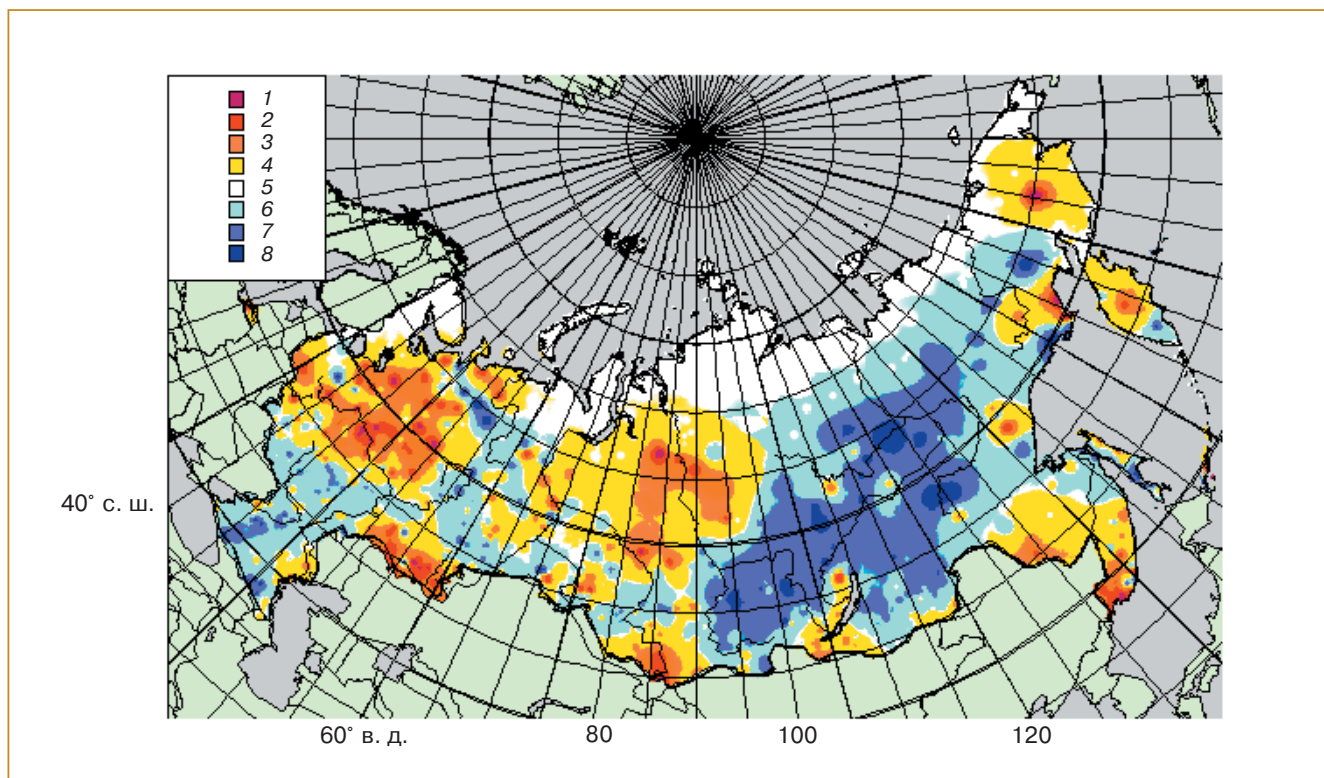


Рис. 2.10.9. То же, что на рис. 2.10.7, для осени (сентябрь — октябрь).

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

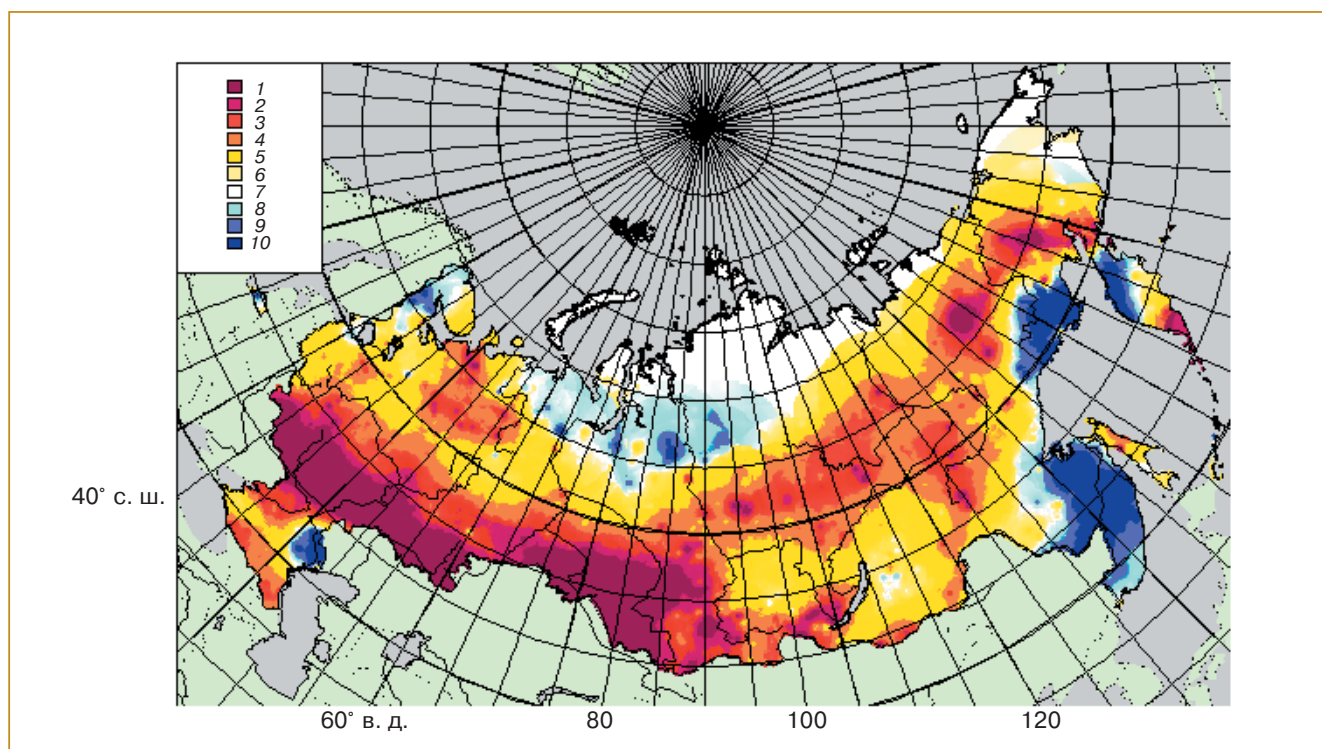


Рис. 2.10.10. Изменение числа суток (%) в календарном году с высокой горимостью за 1971–2004 гг. 1) 50–60; 2) 40–50; 3) 30–40; 4) 20–30; 5) 10–12; 6) 1–10; 7) 0; 8) –1...–10; 9) –10...–20; 10) –20...–30.

на Южном Урале, на Кольском п-ове и на прилегающей территории, а также на широтах 60–65° с. ш. в Сибири и на Дальнем Востоке.

Летом (рис. 2.10.8) на ЕТР число пожароопасных суток увеличилось на 1–24% в низких и средних широтах, а в высоких — уменьшилось на 1–24%. Относительное увеличение числа суток с высокой горимостью на 1–24% наблюдается в Сибири между Обью и Енисеем южнее 65° с. ш. и в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке южнее 60–65° с. ш.; в высоких широтах в Сибири — уменьшение на 25%.

В осенний период (рис. 2.10.9) увеличение на 25–50% числа суток с высокой пожароопасностью произошло в средних и высоких широтах ЕТР, на юге и востоке Западной Сибири, в Приамурье, на Камчатке. Уменьшение на 25–50% числа суток с высокой пожароопасностью произошло в верховьях Енисея и Ангары, в бассейне Лены.

За календарный год (рис. 2.10.10) повышение пожароопасности примерно на 10–25% произошло на всех широтах на ЕТР, за исключением ее северной части; там пожароопасность понизилась на 10–19%. Повышение на 10–39% произошло почти везде в южной половине всей Азиатской части России. Уменьшение числа суток с пожароопасностью на 10–19% наблюдалось в широтной зоне 52–67 с. ш. на востоке Восточной Сибири и далее на восток до Колымы.

2.10.4. Наводнения

Наводнение — часто встречающееся и повторяющееся на Земле опасное природное явление, обладающее большой разрушительной силой. При наводнениях в результате подъема уровня воды происходит “затопление водой местности в пределах речной долины и населенных пунктов, расположенных выше ежегодно затопляемой поймы” (Чеботарев, 1978). При цунами и тайфунах происходит затопление морских побережий и устьевых областей рек. Наибольшую опасность представляют высокие (выдающиеся) наводнения, когда нарушается хозяйственная деятельность, и катастрофические наводнения, в результате которых из хозяйственного использования исключаются все пойменные угодья, наносится ущерб населенным пунктам, элементам инфраструктуры (Авакян, Полюшкин, 1989).

Статистические данные Всемирной метеорологической организации о последствиях опасных природных явлений свидетельствуют о том, что за XX век в мире погибли во время наводнений около 10 млн. человек, а территории, подверженные наводнениям, на которых проживают около одного миллиарда человек, сравнимы с суммарной площадью всех стран Европы (Авакян, Истомина, 2000). Несмотря на широкое применение инженерных мер защиты от наводнений, в гло-

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

бальном масштабе в XX столетии экономический ущерб от наводнений возрастал (рис. 2.10.11).

Увеличивается ущерб от наводнений и в начале XXI столетия. По данным ВМО, во время наводнений лета 2002 г. общая площадь затопленных территорий различных государств превысила 8 млн. км², лишились крова 17 млн. жителей более чем в 80 странах, около 3 тыс. человек погибли; общий ущерб, нанесенный стихией, составил 30 млрд. долларов (Малик, 2005). Наводнения оказывают прямое или косвенное воздействие на все отрасли хозяйства.

Непосредственный ущерб от наводнения зависит от высоты и скорости подъема уровня воды, продолжительности его стояния, времени года, степени освоенности и экономического развития территории, плотности населения, от своевременного прогноза и принятия предупредительных мер, от наличия и эффективности защитных противопаводковых гидросооружений.

Наводнения на реках, расположенных на территории России, бывают везде, но их частота, высота и время прохождения различны в разных регионах, так как зависят от условий формирования. В России общая площадь земель, подвергающихся затоплениям при наводнениях, составляет более 88 тыс. км² (около 5% территории страны). Потенциальная угроза затопления существует более чем для 40 крупных городов и нескольких тысяч других населенных пунктов (Малик, 2005); по материалам МЧС РФ ежегодно со 100%-ной вероятностью в Российской Федерации затопляются около 50 тыс. км² земель. Наводнения оказывают

прямое или косвенное воздействие на все отрасли хозяйства.

На большинстве рек России с площадью водосбора более 10 тыс. км² вероятность формирования опасных наводнений высока, а катастрофические наводнения характерны для больших рек с площадью бассейна более 50 тыс. км². Наводнения на реках России могут быть вызваны прохождением высокой волны весеннего половодья, дождевого или снегодождевого паводка редкой повторяемости, а также заторами и зажорами льда, совокупным действием этих факторов (Добрумов, Тумановская, 2002). Наиболее распространенным типом наводнений в России являются наводнения, связанные с интенсивным таянием снежного покрова. Они приобретают катастрофический характер, если сочетаются с весенними дождями и обильным предзимним увлажнением почвогрунтов. Возможны и зимние наводнения при паводках от таяния снега в период оттепелей. Повторяемость интенсивных наводнений такого типа — примерно раз в 10–25 лет. Зажорные и заторные наводнения (в первом случае — резкое сужение проходного русла из-за накопления льда, во втором — перегораживание водотока льдом) характерны для предгорных и равнинных участков рек. Зажорные подъемы уровней воды в реках, вызванные скоплениями шуги и внутриводного льда, несмотря на зимнее маловодье, могут превышать в некоторые годы уровни весенне-летнего половодья, способствовать образованию в районах с суровым климатом сезонных речных наледей. Таяние наледей на промерзающих малых реках и тая-

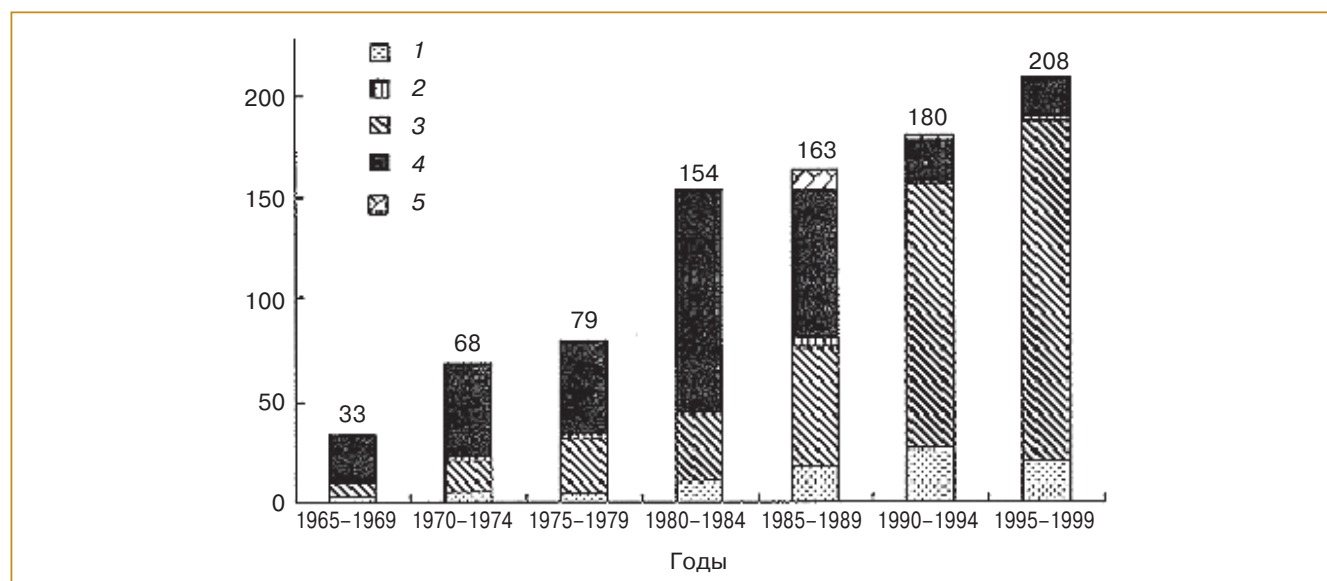


Рис. 2.10.11. Глобальный экономический ущерб (млрд. долл. США) от разных природных катастроф за период 1965–1999 гг. (среднегодовое значение за пятилетние периоды) (Осипов, 2001). 1) от тайфунов и штормов; 2) от землетрясений; 3) от наводнений; 4) от засух; 5) от других природных явлений.

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

ние верхнего слоя многолетней мерзлоты при выпадении обильных осадков способствует образованию в этих районах высоких летних половодий.

На реках, текущих на север на ЕТР, и особенно на реках Сибири, опасные наводнения формируются в весенний период из-за заторов льда при вскрытии рек с верховьев (соответственно продвижению фронта снеготаяния). Длина заторов, например на р. Лена, может достигать 50–100 км, подъемы уровней — более 10 м (Малик, 2005). В бассейне р. Лены — от верховьев до дельты и на ее притоках — наблюдаются наибольшие интенсивность и повторяемость катастрофических заторных наводнений.

Опасны также наводнения от заторов и на европейских реках. Так, на р. Северная Двина у г. Архангельск их повторяемость составляет в среднем один раз в 4 года с максимальным подъемом воды до 4 м. Реже бывают они на реках южной части ЕТР, например, на р. Кубань.

Распространены и наводнения, вызванные затяжными дождями и интенсивными ливнями, особенно на Дальнем Востоке, на юге Восточной Сибири, где сказывается влияние тихоокеанских муссонов.

На горных реках (особенно на Кавказе) при затяжных или интенсивных ливневых осадках формируются дождевые паводки, иногда с катастрофическими последствиями, особенно если они сопровождаются прохождением селевых потоков. В приледниковой части высокогорий в летний период формируются паводки запрудно-прорывного типа от переполнения озер талыми водами ледников и снежников, которые тоже иногда приобретают катастрофический и селеопасный характер (Виноградов, 1980; Лурье, 2002).

Нагонные наводнения возникают на морских побережьях при ветрах, дующих с моря, особенно в сочетании с приливами. К районам, терпящим значительный материальный ущерб от нагонных наводнений, относятся устья рек Преголь (район г. Калининград), Дон (район г. Азов), Кубань и др. Но наивысшие нагонные подъемы уровней и их повторяемость наблюдаются в устье р. Нева в пределах г. Санкт-Петербург. Наводнения здесь формируются во все сезоны и месяцы года, но наиболее опасными являются осенние, составляющие 70% общего числа. Наводнения в Санкт-Петербурге считаются катастрофическими, вызывающими затопления в городе, когда уровни воды превышают 210 см над ординаром (над нулем Кронштадтского футштока).

Восточные районы страны — Курилы, Камчатка, Сахалин, побережье Тихого океана — подвергаются наводнениям вследствие гигантских морских волн — цунами, движущихся с большой скоростью (100–1000 км/ч) и достигающих у побе-

режья высоты 5–20 м, а иногда 40 м; особенно опасна серия волн цунами, следующих с интервалом в 1 ч и более (Малик, 2005). В этих же районах тайфуны служат причиной нагонных наводнений.

На протяжении XX века тенденции изменения максимальных расходов воды, обуславливающих наводнения, не были одинаковыми на территории России. Результаты анализа многолетних изменений максимальных расходов воды свидетельствуют о том, что климатические условия с середины XX века до начала 1980-х годов способствовали их уменьшению на реках ЕТР, Западной Сибири и Дальнего Востока (Семенов, Коршунов, 2006). Только в максимальном стоке Енисея и Лены наблюдались положительные тенденции. Однако в последние 20 лет XX века и в начале XXI столетия на большей части территории России значения максимального стока стали увеличиваться (Семенов, Коршунов, 2006). Особенно интенсивное повышение максимальных расходов воды характерно для тех районов, в которых увеличивается число дней с большим количеством осадков, в зимний и весенний периоды, например, в Приморье, на Северном Кавказе, в бассейне Тобола, рек Забайкалья. Исключением являются только равнинные реки центральной и западной части ЕТР и севера Дальнего Востока, верхней и средней части бассейна Амура. На верхней и правобережной средней части бассейна Волги потепление приземного климата обусловило более ранние сроки начала и увеличение продолжительности половодья и, как следствие — уменьшение максимальных расходов и уровня воды, частоты опасных наводнений. В еще большей степени это характерно для рек бассейнов Дона и Днепра.

Многие авторы, анализировавшие причины и последствия наводнений на территории России в XX веке и в начале XXI века, отмечают, что в последние годы увеличилась частота опасных наводнений (Хамитов, Борщ, 2005; Борщ, Бузин, 2006; Корытный и др., 2005; Лурье и др., 2005). Как показано в работе (Семенов, Коршунов, 2006), в первые годы XXI века повторяемость высоких и катастрофических наводнений увеличилась по сравнению с последним десятилетием прошлого столетия в среднем на 15%. Заметим, что эта тенденция характерна именно для начала XXI века, поскольку статистика крупных природных катастроф в России в 1990–1999 гг. (Осипов, 2001) такой тенденции не обнаруживает.

Анализ причин и характера опасных наводнений за последние годы свидетельствует об увеличении в некоторых районах их высоты при весенних половодьях снегодождевого происхождения, т. е. обусловленных интенсивным таянием снега, сопровождающимся выпадением жидких осадков. Высокие половодья и дождевые паводки на реках

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

Таблица 2.10.5. Количество опасных наводнений за 1991–2005 гг. и их продолжительность в сутках по экономическим районам России (Семенов, Коршунов, 2006)

Экономический район Российской Федерации	Всего наводнений	Число суток с наводнениями	Средняя продолжительность одного наводнения, сутки
Дальневосточный	125	593	4,7
Восточно-Сибирский	67	274	4,1
Западно-Сибирский	68	459	6,8
Уральский	63	402	6,4
Волго-Вятский	14	64	4,6
Поволжский	22	199	9,0
Северо-Кавказский	112	449	4,0
Центральный	18	125	6,9
Центрально-Черноземный	3	33	11,0
Северо-Западный	24	60	2,5
Северный	17	74	4,4
Россия в целом	517	2584	5,0

России по-прежнему являются наиболее частой причиной наводнений (85% всех наводнений за последние 15 лет). Наводнения в результате затопления льда составляют 10%, а ветровых нагонов — 5% общего числа наводнений.

Увеличилась частота дождевых паводков в горах Кавказа и Алтая, где ливневые осадки компенсируют уменьшение талых вод деградирующих ледников и служат причиной локальных наводнений и формирования селевых потоков. По данным (Лурье, 2002) в период 1995–2001 гг. в центральной части Большого Кавказа отмечено массовое прохождение селевых потоков с периодичностью один раз в два-три года. Повысилась в начале XXI века и вероятность катастрофических нагонных наводнений (Померанец, 2005) и наводнений затопленного характера.

Ущерб от наводнений зависит не только от их высоты, но и от продолжительности затопления селитебной или хозяйственно освоенной территории.

Средняя по субъектам Российской Федерации продолжительность одного наводнения была 5 суток, но в Поволжье и в областях Центрально-Черноземной зоны средняя продолжительность стояния уровней высоких вод составляла около 10 суток, а продолжительность отдельных наводнений в некоторых районах превышала 20 суток (Семенов, Коршунов, 2006). Большая суммарная продолжительность наводнений характерна для предгорных районов Кавказа, Алтая, Забайкалья, для рек территории муссонного климата Приморья и Сахалина.

Сведения о количестве наводнений, принесших ущерб экономическим районам России за

1991–2005 гг., об их суммарной и средней суточной продолжительности приведены в табл. 2.10.5.

Из общего числа 517 наводнений с учтенным ущербом за 15 лет (1991–2005 гг.) 46% приходится на территорию двух экономических районов: Дальневосточный — 125 (из них 44 в Приморском крае, 20 в Республике Саха (Якутия)) и Северо-Кавказский — 112 (из них в Краснодарском крае 43, в Дагестане 26, в Чечне 12). Повышенное число наводнений с ущербом было в Западно-Сибирском экономическом районе — 68 (из них в Алтайском крае 31, в Кемеровской области 14), в Восточно-Сибирском — 67 (из них в Красноярском крае 28, в Читинской области 16), в Уральском — 63 (из них в Свердловской области 27, в Курганской 16). В Северо-Западном экономическом районе повышенным числом наводнений выделяется Ленинградская область (14 из 24), в Северном — Архангельская область (10 из 17). Наименьшее количество наводнений было в Центрально-Черноземном экономическом районе — 3 (рис. 2.10.12, 2.10.13).

Ряды данных, на основе которых были построены рис. 2.10.12 и 2.10.13, довольно коротки, что препятствует четкому выявлению тенденций числа наводнений. Вместе с тем на Северном Кавказе (см. рис. 2.10.13) даже в таком коротком ряду данных усматривается тенденция к их увеличению.

По данным 300-летних наблюдений за нагонными наводнениями в устье р. Нева видна долговременная тенденции к увеличению количества и высоты опасных наводнений, которая наиболее четко просматривается, например для Санкт-Петербурга (см. рис. 2.10.14).

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

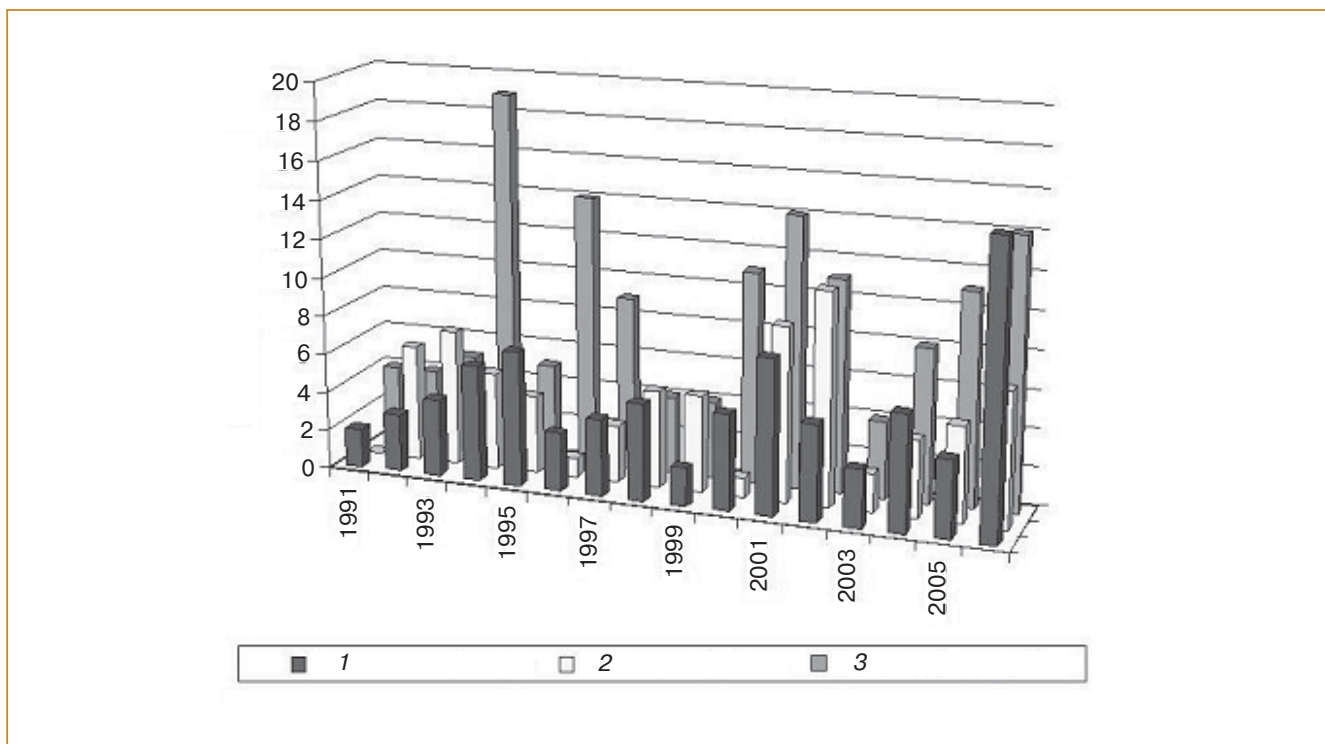


Рис. 2.10.12. Изменение числа опасных наводнений за год на реках Восточной Сибири (1), Западной Сибири (2) и Дальнего Востока (3) в 1991–2006 гг.

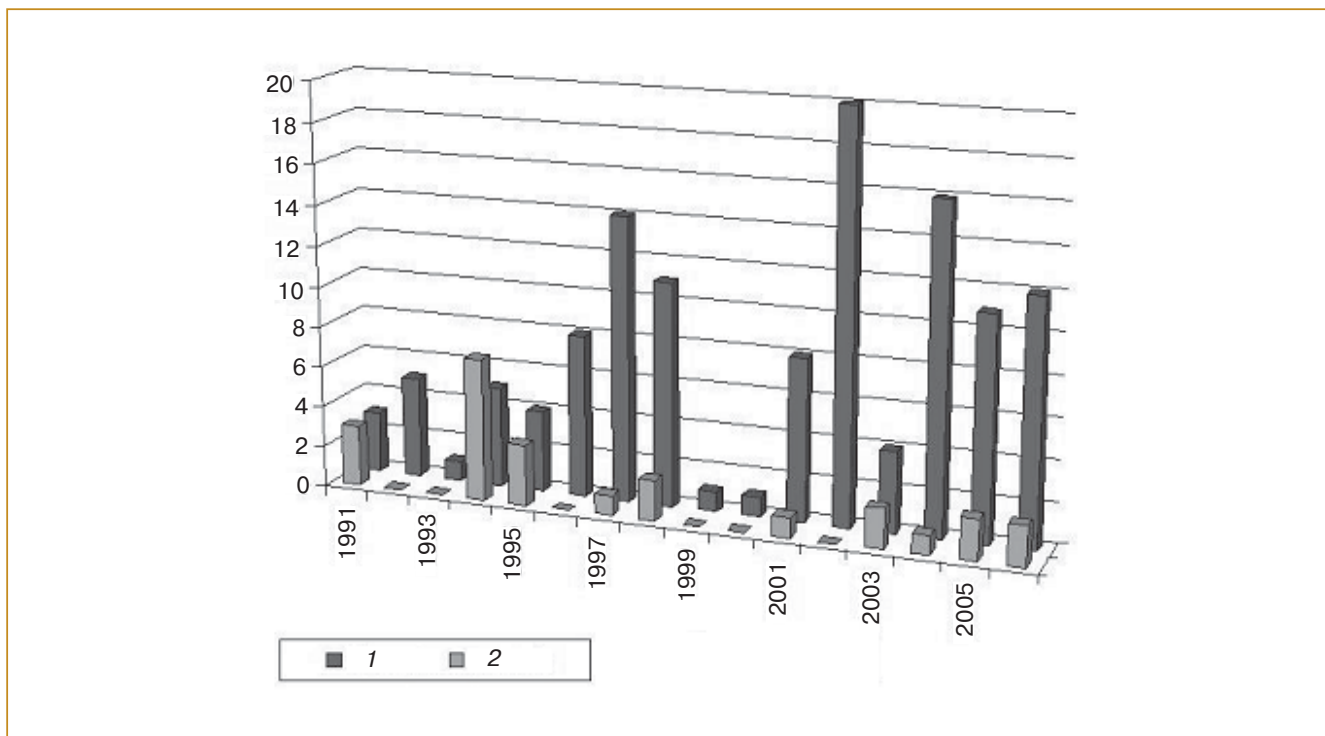


Рис. 2.10.13. Изменение числа опасных наводнений за год на реках Северного Кавказа (1) и Поволжья (2) в 1991–2006 гг.

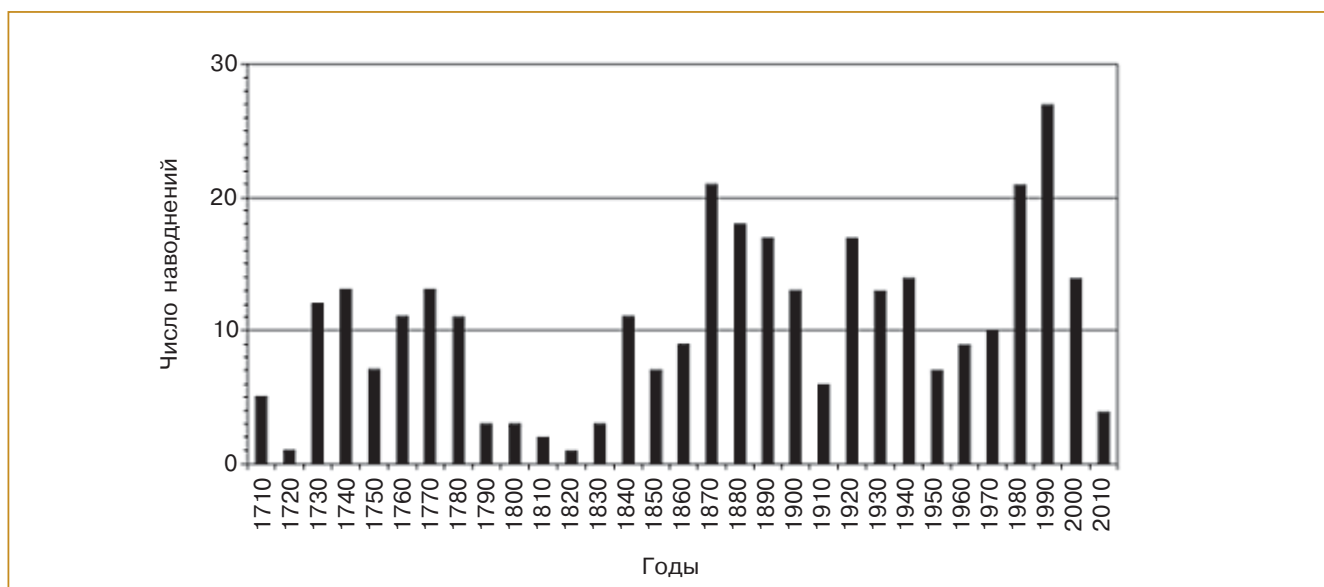


Рис. 2.10.14. Распределение числа наводнений в Санкт-Петербурге за 1703–2002 гг. по десятилетиям (Пясковский и др., 2003).

Классификация наводнений по величине социально-экономического ущерба (с учетом классификации МЧС РФ) на 4 класса — от катастрофических до небольших — предложена в работе (Истомина и др., 2005). В работе (Семенов, Коршунов, 2006) оценено распределение 122 наводнений, наблюдавшихся в России в 1998–2002 гг., по величине социально-экономического ущерба. Основное число — 84 наводнения — отнесено к классу небольших (69% общего числа); к средним отнесено 27 наводнений (22%), к большим — 8 (6,5%) и к катастрофическим — 3 (2,5%). К последним отнесены заторные наводнения на Лене в 1998 и 1999 гг., наводнение вследствие дождевого паводка на Кавказе в 2002 г.

Некоторые природные и антропогенные факторы способны увеличивать ущерб от наводнений. Из современных природно-климатических факторов, усугубляющих неблагоприятные последствия наводнений, следует отметить повышение уровня грунтовых вод на большей части территории России (Ковалевский, Клиге, 2003). Повышение опасности наводнений в условиях современного изменения климата связано и с антропогенными факторами. Среди них:

- хозяйственное освоение пойм, являющихся природными регуляторами стока (строительство мостов, дорог, дамб обвалования и т. д.);

- застройка участков ниже плотин, затопление которых предусмотрено проектами гидроузлов в годы с половодьями и паводками малой обеспеченности;

- несоблюдение требований поддержания хорошего состояния оросительных и осушитель-

ных систем после проведения ирригационных мероприятий;

- наличие большого количества глухих плотин на малых реках, размываемых при высоких половодьях и паводках.

Следует отметить, что обострение проблемы наводнений в России непосредственно связано также с прогрессирующим старением основных фондов водного хозяйства вследствие постоянного уменьшения объемов капиталовложений в водную отрасль, с авариями на гидротехнических сооружениях. Основными причинами аварий на гидротехнических сооружениях являются их неудовлетворительное техническое состояние и низкий технический уровень эксплуатации, дефекты при строительстве, неправильная оценка гидрологической обстановки при пропуске половодий и паводков, ошибки при проектировании. В результате, как показывают статистические данные, аварийность на гидротехнических сооружениях в России в 2,5 раза превышает среднемировой показатель.

Среднегодовой ежегодный ущерб от наводнений в России оценивается в 41,6 млрд. руб. (в ценах 2001 г.), в том числе в бассейнах рек Волга — 9,4 млрд., Амур — 6,7 млрд., Обь — 4,4 млрд., Терек — 3,6 млрд., Дон — 2,6 млрд., Кубань — 2,1 млрд., Лена — 1,2 млрд., в бассейне оз. Байкал — 0,9 млрд., в бассейнах прочих рек — 10,7 млрд.; в последние годы отмечается увеличение ущерба от наводнений в России (Национальный доклад на Всемирной конференции по уменьшению опасности бедствий, 2005).

Наводнения оказывают существенное и неоднозначное влияние на природную среду. Их экологические последствия определяются интенсивностью и продолжительностью наводнений, глубиной затопления речной поймы и прилегающих пониженных участков. Они проявляются в изменении химического состава и ухудшении качества воды, в нарушении состояния почвенного и растительного покрова, среды обитания животного мира (Истомина и др., 2005).

Изменение химического состава и ухудшение качества воды происходит в результате водной эрозии почвенного покрова на водосборе (продукты смыва) и эрозии русла реки (продукты размыва). В период наводнений возрастает вынос органических веществ и биогенных элементов с водосборной площади, снижается содержание главных ионов. Качество воды ухудшается в результате роста в ней концентраций тяжелых металлов, пестицидов и других загрязняющих веществ в зависимости от антропогенной нагрузки на водосборную площадь: наличия селитебных площадей, агроландшафтов, трубопроводов нефти и продуктов ее переработки и др. (Воробьев и др., 2003). При катастрофических и сильных наводнениях выносятся значительное количество продуктов размыва и происходят активные русловые деформации.

На территориях речных пойм наводнения могут иметь как положительные, так и отрицательные последствия. При продолжительности стояния воды до 20–25 дней и мощности аллювиальных отложений до 0,7 см плодородие пойменных почв возрастает за счет повышенного содержания в отложениях мелких фракций, запасов в них питательных веществ, благоприятных химических свойств и минералогического состава (Воронова, 1980). А катастрофические наводнения сопровождаются водной эрозией пойм и потерей части плодородного гумусового слоя эродированных почв, снижением запасов подвижных форм азота, фосфора и калия (Корляков и др., 2002).

Изменения состояния растительного покрова при наводнениях зависят от сроков и глубины затопления, уровня грунтовых вод, температуры поймы, мощности и состава аллювиальных отложений. Реакция растений определяется их видовыми особенностями. Так, затопление поймы в течение 10–20 дней не нарушает развития луговой растительности, а хорошее увлажнение почвы способствует быстрому ее росту в послепаводковый период. Однако более продолжительное затопление приводит к угнетению их роста и развития (Воронова, 1980; Хитрово, 1957).

2.10.5. Селевая и лавинная опасность на Большом Кавказе

2.10.5.1. Сели

На северном склоне Большого Кавказа повсеместно отмечаются селевые потоки. Там насчитывается более 1700 селевых бассейнов общей площадью около 7000 км². Средняя их площадь составляет 4,0 км² при минимальной 0,20 км² и максимальной 173,8 км². Кроме того, в регионе имеется много речных русел, в которых непосредственно формируются селевые паводки. Общая их протяженность более 3000 км (Волобуева и др., 2003).

По происхождению различаются следующие категории селей: дождевые, гляциальные, гляциально-дождевые, от снеготаяния, от снеготаяния с дождем и от прорыва естественных запруд. Повсеместно преобладают дождевые сели, составляющие в регионе 84%. Сели других категорий составляют всего 16%. Из них на гляциально-дождевые приходится 10%, которые наиболее широко распространены в центральном районе (Ильичев и др., 2003).

В последние два десятилетия в рассматриваемом регионе отмечено усиление селевой деятельности. За 1983–2003 гг. здесь зарегистрировано прохождение около 680 селевых потоков. В отдельные годы их отмечалось 40–60, а в 2002 г. — 183. Объем отдельных селей превышал 1,0 млн. м³. В эти годы прошли селевые потоки редкой повторяемости. Так, в долине р. Цейдон (бассейн р. Терек) отмечено два селевых потока объемом в 1,0–2,0 млн. м³, прохождение которых не отмечалось более 100 лет (снесен сосновый лес возрастом 100–120 лет). На небольшой реке Герхожансу за 1995–2001 гг. селевые потоки проходили трижды, при этом впервые за 70 лет в июле 2000 г. в течение 8 дней прошло 5 селевых потоков с общим объемом около 5,0 млн. м³. Все эти сели были гляциальными и образовались в одном очаге.

Причиной усиления селевой активности на Большом Кавказе в последние 20 лет является существенное изменение климата (Панов и др., 2001). В последние десятилетия в рассматриваемом регионе происходит, как и во многих других регионах России, изменение температуры воздуха и суммы атмосферных осадков. За последние 50 лет среднегодовая температура повысилась на 0,1–0,4°C, а сумма атмосферных осадков увеличилась на 8–20% (Абшаев и др., 2003; Лурье и др., 2005). При этом толщина снежного покрова увеличивалась в последние десятилетия с трендом 0,417 см/год в горах и 0,003 см/год в предгорьях Большого Кавказа (Китаев и др., 2003).

2.10.5.2. Лавины

В Северо-Кавказском регионе лавинной опасности подвергаются 45 участков автомобильных дорог общей протяженностью более 1000 км. Лавины угрожают 36 населенным пунктам и 25 спортивно-оздоровительным комплексам, расположенным в 6 субъектах Российской Федерации.

В регионе сосредоточено более восьми тысяч лавинных очагов. В течение лавиноопасного периода календарного года сходят более 400 снежных лавин, причем более половины — из одних и тех же очагов ежегодно по несколько раз; при этом из других очагов лавины сходят один раз в 2–3 года, а из некоторых один раз в 30–50 лет, а то и в 50–100 лет (Залиханов, 1981; Лурье, Панов, 2006).

Максимальные объемы зарегистрированных сошедших лавин составляли в бассейне р. Уллукам — 1100 тыс. м³, р. Теберда — 1500 тыс. м³, р. Малый Зеленчук — 900 тыс. м³, р. Большой Зеленчук — 1400 тыс. м³ и р. Большая Лаба — 1000 тыс. м³. В целом преобладают лавины небольших размеров с объемом менее 10 тыс. м³. Они составляют около 70% общего числа всех сходящих лавин; на лавины с объемом в 10–100 тыс. м³ приходится 28%, а на лавины объемом более 100 тыс. м³ — около 2%. Продолжительность лавиноопасного периода, число очагов, объем и повторяемость схода лавин по территории распространены неравномерно.

В XX веке — начале XXI века на рассматриваемой территории происходят изменения климата, которые потенциально могут способствовать усилению лавинной опасности. Так, за последние 40–50 лет повсеместно тренд среднегодовой температуры воздуха положителен (хотя по абсолютной величине он и невелик). При этом более значительное повышение температуры отмечалось в теплый период. Тренд суммы атмосферных осадков положителен, причем как в целом за год, так и за теплый и холодный периоды. Наиболее значительное увеличение количества атмосферных осадков произошло в высокогорной зоне (Абшаев, и др., 2003; Панов, 2000; Лурье и др., 2005).

Неопределенность оценки трендов изменений последствий экстремальных метеорологических явлений обусловлена недостаточной длиной однородных временных рядов их характеристик, пропусками данных в рядах, а также разным методологическим подходом к определению характерных показателей и критериев оценок последствий.

2.10.6. Литература

- Абшаев М. Т., Малкарова А. М., Борисова Н. В., 2003. О тенденции изменения климата на Северном Кавказе, Тезисы докладов Всемирной конференции по изменению климата, Москва, Россия, 29 сентября — 3 октября 2003 г., М., ИГКЭ, с. 365–366.
- Авакян А. Б., Истомина М. Н., 2000. Наводнения в мире в последние годы XX в., Водные ресурсы, т. 27, № 5, с. 469–475.
- Авакян А. Б., Полошкин А. А., 1989. Влияние наводнений на жизнь общества и защита от них, Известия АН СССР, сер. геогр., № 2, с. 41–54.
- Бедрицкий А. И., Коршунов А. А., Коршунова Н. Н., Ламанов В. И., Шаймарданов М. З., 2001. Опасные гидрометеорологические явления, вызываемые ветром, и их влияние на экономику России, Метеорология и гидрология, № 9, с. 5–16.
- Бедрицкий А. И., Коршунов А. А., Хандожко Л. А., Шаймарданов М. З., 2004. Климатическая система и обеспечение гидрометеорологической безопасности жизнедеятельности России, Метеорология и гидрология, № 4, с. 120–129.
- Борщ С. В., Бузин В. А., 2006. Прогноз экстремальных гидрологических характеристик для систем предупреждения об опасных гидрологических явлениях, Тезисы пленарных докладов Международной конференции по проблемам гидрометеорологической безопасности, М., 14 с.
- Виноградов Ю. Б., 1980. Этюды о селевых потоках, Л., Гидрометеоиздат, 143 с.
- Волбуева Л. Л., Заруднев В. М., Лурье П. М., 2003. Условия формирования селевых потоков. Селеопасные районы Северного Кавказа, Труды Всероссийской конференции по селям, Нальчик, ВГИ, с. 93–98.
- Воробьев Ю. Л., Акимов В. А., Соколов Ю. И., 2003. Катастрофические наводнения начала XXI века: уроки и выводы, М., ООО “ДЭКС-ПРЕСС”, 352 с.
- Воронова Е. П., 1980. Экологические особенности использования пойменных ландшафтов. Экология и земледелие, М., Наука, с. 96–106.
- Доброумов Б. М., Тумановская С. М., 2002. Наводнения на реках России: их формирование и районирование, Метеорология и гидрология, № 12, с. 70–78.
- Думнов А. Д., Максимов Ю. И., Рошупкина Ю. В., Аксенова О. А., 2005. Лесные пожары в Российской Федерации (статистический справочник), под ред. А. Д. Думнова, Н. Г. Рыбальского, М., НИА-Природа, 229 с.
- Задонина Н. В., Саньков В. А., Леви К. Г., 2004. Современная геодинамика и гелиогеодинамика. Природные катастрофы и организация превентивных мероприятий при чрезвычайных ситуациях, кн. IV, Иркутск, Иркутский государственный технический университет, 85 с.
- Залиханов М. Ч., 1981. Снежно-лавинный режим и перспективы освоения гор Большого Кавказа, Ростов-на-Дону, Изд-во РГУ, 374 с.

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

- Зоидзе Е. К., 2004.** Об одном подходе к исследованию неблагоприятных агроклиматических явлений в условиях изменения климата в Российской Федерации, *Метеорология и гидрология*, № 1, с. 96–105.
- Зоидзе Е. К., Хомякова Г. В., 2006.** Моделирование формирования влагообеспеченности территории Европейской России в современных условиях и основы оценки агроклиматической безопасности, *Метеорология и гидрология*, № 2, с. 98–105.
- Ильичев Ю. Г., Лурье П. М., Панов В. Д., 2003.** Гляциальные сели северного склона Большого Кавказа, *Труды Всероссийской конференции по селям, Нальчик, ВГИ*, с. 120–121.
- Истомина М. Н., Кочарян А. Г., Лебедева И. П., 2005.** Наводнения: генезис, социально-экономические и экологические последствия, *Водные ресурсы*, т. 32, № 4, с. 389–398.
- Китаев Л. М., Володичева Н. А., Кренке А. Н., Олейников А. Д., 2003.** Экстремальные особенности снегонакопления горных и предгорных областей (на примере Большого Кавказа), *Тезисы докладов Всемирной конференции по изменению климата, Москва, Россия, 29 сентября — 3 октября 2003 г., М., ИГКЭ*, с. 529.
- Ковалевский В. С., Клиге Р. К., 2003.** Изменение гидрогеологических условий под влиянием глобального потепления, *Вестник МГУ, сер. 5, география*, № 3, с. 10–17.
- Корляков А. С., Ознобихин В. И., Зверева М. А., 2002.** Рекомендации по оценке ущербов от эрозии и потерь плодородия почв в долинах рек при наводнениях, *Владивосток, Изд-во ДВО РАН*, 42 с.
- Коровин Г. Н., Зукерт Н. В.,** Влияние климатических изменений на лесные пожары в России, http://www.rusrec.ru/kyoto/articles/art_climate_forest.htm.
- Коровин Г. Н., Исаев А. С., 1998.** Охрана лесов от пожаров как важнейший элемент национальной безопасности России, *Лесной бюллетень*, № 8–9.
- Корытный Л. М., Гарцман Б. И., Кичигина Н. В., Губарева Т. С., 2005.** Дождевые наводнения на Дальнем Востоке и в Восточной Сибири, *Тезисы докладов научной конференции “Экстремальные гидрологические явления: Новые концепции для практики”*, Новосибирск, с. 50.
- Лурье П. М., 2002.** Водные ресурсы и водный баланс Кавказа, СПб, Гидрометеиздат, 506 с.
- Лурье П. М., Панов В. Д., Ткаченко Ю. Ю., 2005.** Река Кубань: гидрография и режим стока, СПб, Гидрометеиздат, 498 с.
- Лурье П. М., Панов В. Д., 2006.** Изменение деятельности снежных лавин на северном склоне Большого Кавказа в связи с климатическими условиями, *Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества, Приложение 1*, с. 47–54.
- Малик Л. К., 2005.** Факторы риска повреждения гидротехнических сооружений. Проблемы безопасности, М., Наука, 354 с.
- Национальный доклад на Всемирной конференции по уменьшению опасности бедствий, 2005.** Кобе, Япония, 18–22 января 2005 г.
- Оганесян В. В., 2004.** Изменения климата Москвы с 1879 по 2002 г. в значениях экстремумов температуры и осадков, *Метеорология и гидрология*, № 9, с. 31–37.
- Осипов В. И., 2001.** Природные катастрофы на рубеже XXI века, *Вестник РАН*, т. 71, № 4, с. 291–302.
- Отчет Всемирного банка на Международном семинаре “Оценка экономической эффективности гидрометеорологического обеспечения” 20–21 ноября 2003 г., М.**
- Панов В. Д., 2000.** Климатические условия и экологическое состояние горной зоны Карачаево-Черкесской Республики, в сб.: *Оценка экономического состояния горных и предгорных экосистем Кавказа*, вып. 3, Ставрополь, Кавказский край, с. 53–62.
- Панов В. Д., Лурье П. М., Заруднев В. М., 2001.** Селевые потоки в бассейне р. Герхожансу (Северный Кавказ) в июле 2000 г., *Метеорология и гидрология*, № 1, с. 89–97.
- Померанец К. С., 2005.** Три века петербургских наводнений, СПб, Искусство, 213 с.
- Пясковский Р. В., Померанец К. С., Чернышева Е. С., 2003.** Повторяемость наводнений в Петербурге, *Природа*, № 9.
- Сельское хозяйство, охота и лесоводство в России, 2004.** Статистический сборник, М., Росстат, 478 с.
- Семенов В. А., Коршунов А. А., 2006.** Наводнения на реках России в конце XX и начале XXI столетий, *Вопросы географии и геоэкологии*, вып. 5, Калуга, с. 6–12.
- Страшная А. И., Богомоллова Н. А., 2005.** О каталоге сильных почвенных засух под ранними яровыми зерновыми культурами в Черноземной зоне России, *Труды Гидрометцентра России*, вып. 340, с. 35–47.
- Тренин В. А., 2006.** Анализ состояния прогнозирования опасных гидрометеорологических явлений и перспективы совершенствования этой деятельности в связи с модернизацией Росгидромета, в сб.: *Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций*, М., с. 25–33.
- Уланова Е. С., 1988а.** Засухи в СССР и их влияние на производство зерна, *Метеорология и гидрология*, № 7, с. 127–134.

- Уланова Е. С., 1988б.** Методы оценки агрометеорологических условий и прогнозов урожайности зерновых культур, Л., Гидрометеиздат, 336 с.
- Уланова Е. С., Страшная А. И., 2000.** Засухи в России и их влияние на урожайность зерновых культур, Труды ВНИИСХМ, вып. 33, с. 64–83.
- Хамитов Р. З., Борщ С. В., 2005.** Экстремальные наводнения в России и связанные с ними проблемы прогнозирования и управления, Тезисы докладов научной конференции “Экстремальные гидрологические явления: Новые концепции для практики”, Новосибирск, 51 с.
- Хандожко Л. А., 1988.** Региональные синоптические процессы, Л., Изд-во ЛГМИ, 103 с.
- Хитрово О. В., 1957.** Влияние затопления весенними полыми водами на повышение продуктивности пойменных лугов (на примере поймы реки Яхромы), Труды ВНИИГМИ, т. 29, с. 191–206.
- Хомякова Г. В., Зойдзе Е. К., 2002.** Агроклиматическая оценка почвенных засух на европейской территории Российской Федерации (по наземным данным), Метеорология и гидрология, № 9, с. 75–86.
- Чеботарев А. И., 1978.** Гидрологический словарь, Л., Гидрометеиздат, 308 с.
- Шерстюков Б. Г., 2003.** Метеорологические факторы горимости леса, засушливости погоды во второй половине XX века и экстремальные условия 2002 года в Московском регионе. Анализ климатической изменчивости и оценки возможных изменений климата, Труды ВНИИГМИ-МЦД, вып. 171, с. 79–88.
- Шерстюков Б. Г., Шерстюков А. Б., 2007.** Климатические условия потенциальной горимости леса в России в XX и XXI веках, Труды ГУ ВНИИГМИ-МЦД, вып. 173, с. 137–151.
- Adams D. K. and Comrie A. S., 1997.** The north American monsoon, Bull. Amer. Meteorol. Soc., vol. 78, No. 10 (October 1997), pp. 2197–2213.
- Changnon D. and Changnon S. A., 1997.** Surrogate data to estimate crop-hail loss, J. Appl. Meteorol., vol. 36, No. 9 (September 1997), pp. 1202–1210.
- Changnon S. A., Changnon D., Fosse E. R., Hoganson D. C., Roth R. J. Sr., and Totsch J., 1997.** Effects of recent weather extremes on the insurance industry: Major implications for the atmospheric sciences, Bull. Amer. Meteorol. Soc., vol. 78, No. 3 (March 1997), pp. 425–435.
- Chen Tsing-Chang, Yen Ming-Cheng, and Schubert S., 1996.** Hydrologic processes associated with cyclone systems over the United States, Bull. Amer. Meteorol. Soc., vol. 77, No. 7 (July 1996), pp. 1557–1567.
- Golden J. H. and Bluestein H. B., 1994.** The NOAA-National Geographic Society Waterspout Expedition (1993), Bull. Amer. Meteorol. Soc., vol. 75, No. 12 (December 1994), pp. 2281–2288.
- Kutieli H. and Maheras P., 1998.** Variation in the temperature regime across the Mediterranean during the last century and their relationship with circulation indices, Theor. and Appl. Climatology, vol. 61, pp. 39–53.
- Maglaras G. J., Waldstreicher J. S., Kocin P. J., Gigi A. F., and Marine R. A., 1995.** Winter weather forecasting throughout the Eastern United States. Part I: An overview, Weather and Forecasting, vol. 10, No. 1 (March 1995), pp. 5–20.
- Meyers M. P. and Cotton W. R., 1992.** Evaluation of the potential for wintertime quantitative precipitation forecasting over mountainous terrain with an explicit cloud model. Part I: Two-dimensional sensitivity experiments, J. Appl. Meteorol., vol. 31, No. 1 (January 1992), pp. 26–50.
- Parish T. R., Wang Y., and Bromwich D. H., 1997.** Forcing of the austral autumn surface pressure change over the Antarctic continent, J. Atmos. Sci., vol. 54, No. 11 (June 1997), pp. 1410–1422.
- Pielke R. A., Jr., 1997.** Asking the right questions: Atmospheric sciences research and societal needs, Bull. Amer. Meteorol. Soc., vol. 78, No. 2 (February 1997), pp. 255–255.
- Pielke R. A., Changnon S. A., and Changnon D., 2000.** Human factors explain the increased losses from weather and climate extremes, Bull. Amer. Meteorol. Soc., vol. 81, No. 3, pp. 413–416.
- World Meteorological Organization, 1994.** Conference on the Economic Benefits of Meteorological and Hydrological Services, Geneva, 19–23 September 1994, WMO-TD 630, Geneva.

3. ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ И ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ В XXI ВЕКЕ, СВЯЗАННЫЕ С ИЗМЕНЕНИЕМ КЛИМАТА

3.1. ИСТОЧНИКИ ДАННЫХ О БУДУЩИХ ИЗМЕНЕНИЯХ КЛИМАТА И МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ПОСЛЕДСТВИЙ ЭТИХ ИЗМЕНЕНИЙ

Ведущие авторы: Ю. А. Израэль, Г. Э. Инсаров
Авторы: М. Д. Ананичева, О. А. Анисимов, Ю. А. Анохин, Л. И. Болтнева, Е. А. Ваганов, А. Н. Золотокрылин, Н. В. Кобышева, А. Н. Кренке, П. М. Лурье, А. А. Минин, Б. А. Ревич, В. А. Семенов, О. Д. Сиротенко, Ф. С. Терзиев, В. Ч. Хон, Н. М. Чебакова, Б. Г. Шерстюков, И. А. Шикломанов, В. В. Ясюкевич

Редактор-рецензент: Г. В. Груза

3.1.1. Общая характеристика

При наличии точных сведений о климате будущего для оценки последствий его изменений можно было бы использовать те же методы, что и для фактических, произошедших изменений. Однако такой точной информацией нет и, более того, ее быть не может. Если удовлетворительный прогноз погоды возможен на срок до 5–7 дней, то более долговременные предсказания существенно менее надежны даже в пределах одного года. Это справедливо для естественных изменений климата, но неопределенность долговременных предсказаний становится еще больше, если включать в рассмотрение антропогенные факторы. Ведь антропогенное воздействие на глобальный климат осуществляется путем дополнительной эмиссии парниковых газов (ПГ), а они, в свою очередь, зависят от технологий, состояния мировой экономики и т. д. Эти процессы еще менее предсказуемы, чем естественные изменения климата, которые управляют в основном орбитальными и солнечными факторами. Поэтому информация о климате будущего может быть получена лишь при

определенных предположениях о том, как будут протекать базовые климатические и социально-экономические процессы, т. е. в рамках некоторых сценариев.

Даже в рамках заданного сценария информация о значениях гидрометеорологических величин в конкретный момент времени в отдаленном будущем не может быть сколько-нибудь надежной в прогностическом смысле из-за известной стохастичности динамики климатической системы Земли. Она присуща и социально-экономическим процессам. Можно пытаться получить лишь перспективные оценки вероятностных распределений параметров климата в рамках заданного сценария.

Заметим, что в силу нелинейности (в подавляющем большинстве случаев) зависимостей изменение климата — эффект для оценки последствий изменений климата в будущем нужна именно такая достаточно детальная информация. Например, нужны сведения о вероятностных распределениях экстремальных значений метеорологических величин, о длительности периодов экстремально высоких и низких значений и о самих значениях в эти периоды, о характеристиках годового хода средне-суточной температуры и т. д. Информации лишь о средних значениях недостаточно.

Представления о климате будущего, используемые в данном докладе для оценки последствий его изменения по сравнению с климатом настоящего или прошлого или же при сопоставлении двух периодов времени в будущем, можно разделить на две основные группы:

— исследовательские предположения, т. е. принимаемые экспертом для оценки последствий

3. ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XXI В.

в каком-либо конкретном случае (например, увеличение средней температуры на столько-то градусов по сравнению с современной);

— предположения об изменении климата, полученные в рамках заданного сценария мирового социально-экономического развития, которому соответствуют определенные глобальные антропогенные эмиссии парниковых газов в атмосферу; такая “траектория” эмиссий, поданная на вход выбранной модели общей циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО), позволяет вычислить будущие концентрации ПГ в атмосфере и соответствующий климат будущего.

Еще раз отметим, что во втором случае предположение о климате будущего есть результат выбора сценария мирового социально-экономического развития, определяющего траекторию эмиссий ПГ, и расчетной МОЦАО (а в силу стохастичности климата — еще и конкретного “прогона” модели).

Для учета неопределенностей, связанных с глобальным социально-экономическим развитием в будущем, Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК) организовала разработку разных сценариев и оценку соответствующих траекторий эмиссий климатически активных веществ, прежде всего парниковых газов. В 2000 г. был выпущен Специальный доклад по сценариям эмиссий — Special Report on Emission Scenarios — SRES. В нем были предложены 4 “основные сюжетные линии” (storyline), в которых будущий мир качественно описывался по-разному (далее — “основные линии”). Эти 4 основные линии породили четыре семейства сценариев: A1, A2, B1 и B2. Опишем их кратко, следуя (Special Report on Emission Scenarios, 2000, pp. 4–5).

A1. Основная линия и сценарии этого семейства предполагают быстрый экономический рост, быстрое внедрение новых эффективных технологий, а также рост народонаселения до середины XXI столетия и последующее его уменьшение. Основными чертами развития будут существенное уменьшение региональных различий в доходах на душу населения, усиление культурных и социальных взаимодействий, а также создание новых возможностей. Сценарии этого семейства делятся на три группы, различающиеся по энергетическому “акценту”: A1FI — интенсивное использование ископаемого топлива, A1T — интенсивное использование иных видов топлива, A1B — сбалансированное использование всех видов топлива.

A2. Основная линия и сценарии этого семейства описывают весьма неоднородный мир. Регионы (и страны) ориентируются на свои силы, на сохранение местных особенностей. Темпы рождаемости в разных регионах сближаются очень медленно, что приводит к продолжению роста населения планеты. Экономическое развитие будет в ос-

новном регионально ориентированным, а рост подушного дохода и технологические изменения будут более фрагментированными, чем для других семейств сценариев.

B1. Основная линия и сценарии этого семейства описывают такой же конвергирующий мир с такой же динамикой народонаселения, как и основная линия семейства A1. Однако при этом предполагаются быстрые изменения в экономической структуре в пользу обслуживающего и инновационного компонентов при сокращении материалоемкости и при внедрении чистых и ресурсосберегающих технологий. Упор будет делаться на глобальных решениях экономических и социальных проблем, на поддержании окружающей среды в устойчивом состоянии, включая меры по улучшению положения в области равноправия (регионов, стран). При этом новых инициатив в области регулирования климата не предполагается.

B2. Основная линия и сценарии этого семейства описывают мир, в котором упор делается на локальных решениях в области поддержания устойчивости экономики, социальной сферы и окружающей среды. Глобальное народонаселение будет неуклонно увеличиваться с темпом меньшим, чем для A2. Темп развития экономики будет средним. Изменения в технологиях будут более медленными и более разнообразными, чем для основных линий семейств B1 и A1. Хотя сценарии этого семейства также направлены на защиту окружающей среды и социальную справедливость, они ориентируются в этом отношении на региональные уровни.

На основе этих качественных, словесных описаний будущего мира шестью группами специалистов в области математического моделирования были разработаны сорок сценариев, дающих разные траектории эмиссий климатически активных веществ в атмосферу. Разработчики считают, что все эти сценарии являются одинаково обоснованными. Если бы каждому из сценариев была приписана, пусть субъективно, вероятность его реализации, их можно было бы использовать для построения вероятностного прогноза климата XXI века. Однако никаких конкретных вероятностей определено не было. Поэтому разброс оценок эмиссий, а после соответствующего модельного пересчета и концентраций ПГ и параметров климата в будущем невозможно интерпретировать в вероятностных терминах, в частности говорить о надежности прогноза.

Разброс оценок достаточно велик. На рис. 3.1.1 изображены траектории антропогенных эмиссий диоксида углерода, метана, закиси азота и диоксида серы для шести сценариев, представленных в SRES. Это — так называемые “иллюстративные сценарии”. Они включают сценарии-маркеры

3. ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XXI В.

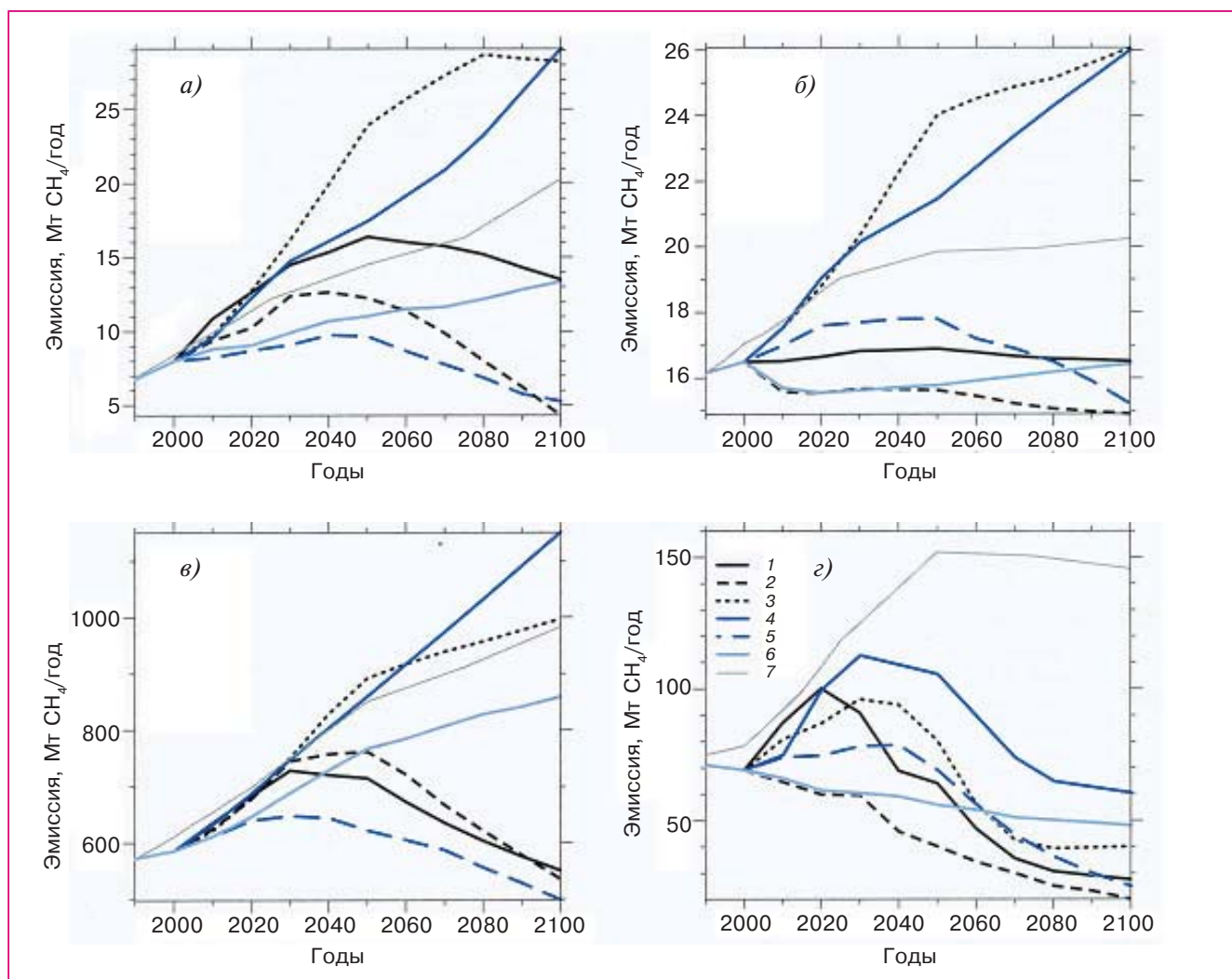


Рис. 3.1.1. Траектории антропогенных эмиссий CO₂ (а), N₂O (б), CH₄ (в) и SO₂ (г) в XXI веке, соответствующие шести иллюстративным SRES-сценариям A1B (1), A1T (2), A1FI (3), A2 (4), B1 (5), B2 (6). Для сравнения показан сценарий IS92a (7) (Climate Change 2001, 2001, p. I-65).

(marker scenario), отражающие основные черты четырех групп сценариев A1B, A2, B1 и B2, а также два дополнительных для групп A1FI и A1T. Рисунок 3.1.1 показывает, что к 2100 г. эмиссии, соответствующие разным сценариям, могут отличаться в несколько раз, а то и на порядок и более.

Следует заметить, что термин “иллюстративный”, не очень удачный здесь в его русском значении в контексте сценариев эмиссий, не надо воспринимать как “искусственный”. Напротив, иллюстративные сценарии количественно выражают самую суть тех предположений, которые были сделаны при словесном описании основных “сюжетных линий” соответствующих групп сценариев.

Такие значительные различия в траекториях эмиссий неизбежно порождают существенное расхождение траекторий концентраций, особенно в

конце рассматриваемого периода времени — в 2100 г., что, в свою очередь, приводит к существенным различиям в климате. На рис. 3.1.2 приведены соответствующие траектории концентраций для CO₂, CH₄ и N₂O, а на рис. 3.1.3 представлены соответствующие изменения средней температуры земной поверхности. Как легко видеть, разброс значений в конце XXI века весьма значительный.

Обратим внимание на вертикальные отрезки, изображенные в правой части рис. 3.1.3. Они указывают на разброс значений температуры, который возникает при использовании одного и того же сценария эмиссий, который обрабатывается разными климатическими моделями. Это — естественно-научная составляющая неопределенности. МГЭИК специально отмечает, что до 2100 г. диапазон температуры, получающийся при использо-

3. ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XXI В.

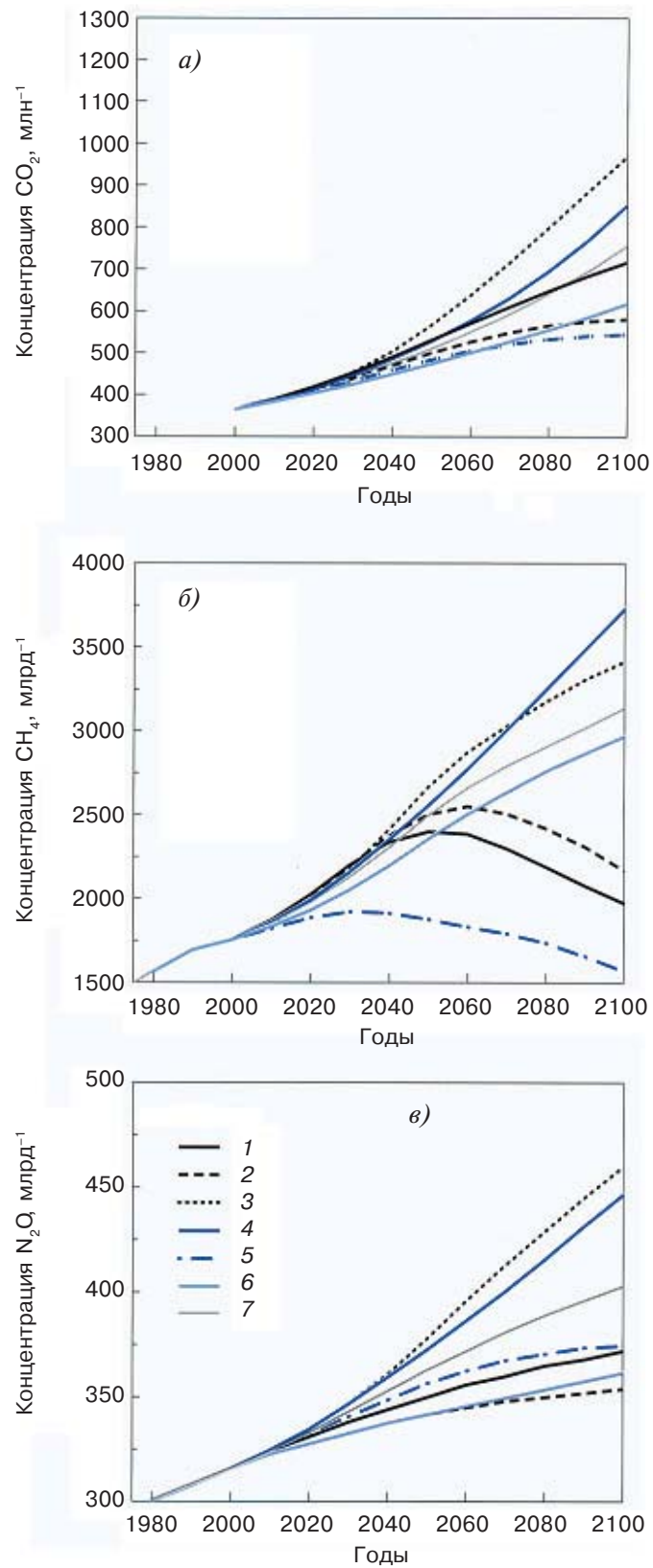


Рис. 3.1.2. Траектории концентраций для CO_2 (а), CH_4 (б) и N_2O (в), соответствующие сценариям А1В (1), А1Т (2), А1F1 (3), А2 (4), В1 (5), В2 (6) и IS92а (7) (Climate Change 2001, 2001, р. I-66).

3. ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XXI В.

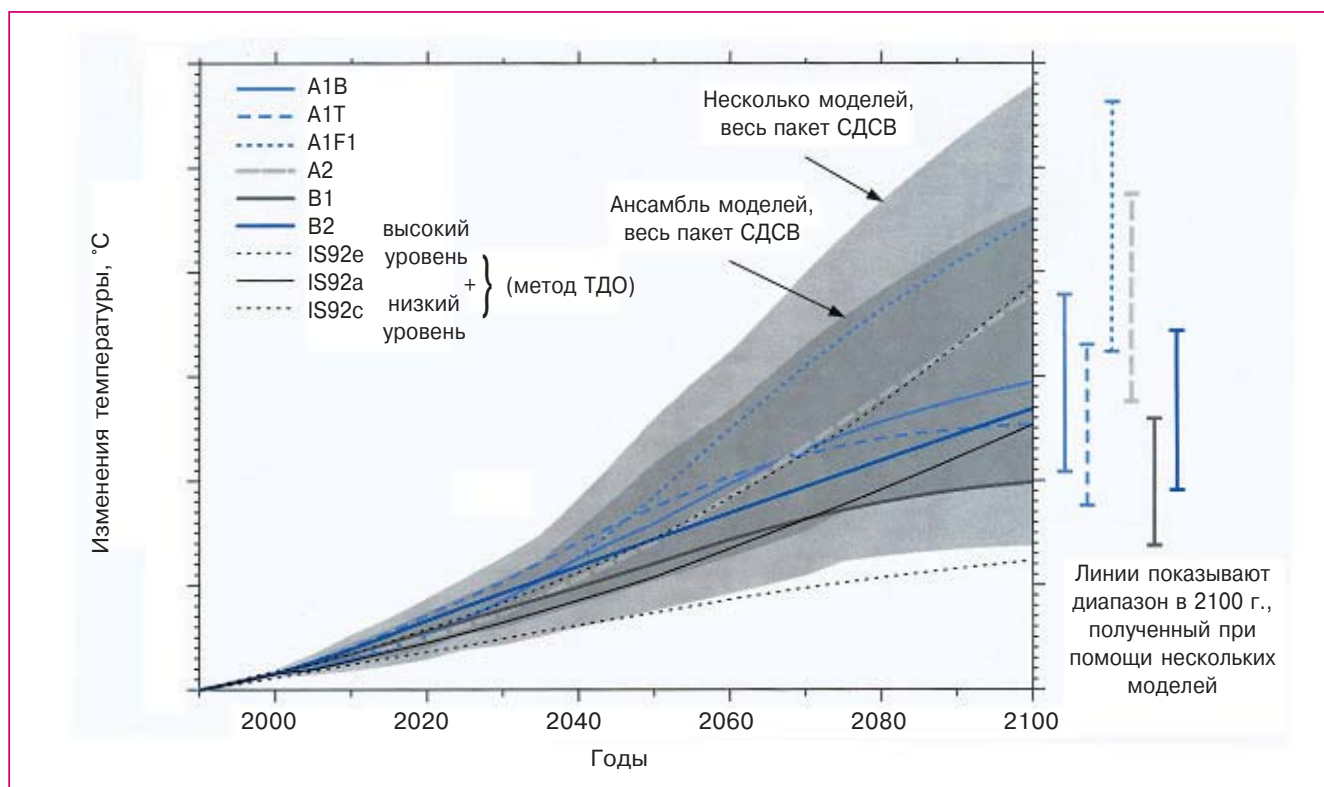


Рис. 3.1.3. Траектории глобальной средней температуры в приповерхностном слое, соответствующие сценариям A1B, A1T, A1F1, A2, B1, B2, IS92a, IS92b и IS92c (Climate Change 2001, 2001a, p. I-71).

вании какого-либо одного сценария и разных климатических моделей, примерно равен диапазону температуры, получающемуся при разных сценариях при использовании какой-либо одной климатической модели.

Кроме изменений климата, соответствующих сценариям SRES, часто рассматриваются сценарии, относящиеся не к эмиссиям, а к концентрациям ПГ. Например, задается рост концентрации ПГ на заданный процент в год.

Все описанные выше сценарии антропогенного воздействия на глобальный климат — так называемые “неполитические” (non-climate policy scenarios), т. е. в их основе лежат предположения о мировом социально-экономическом развитии без каких-либо специальных мер по регулированию антропогенного воздействия на глобальный климат. Сейчас внимание экспертов все более переключается на “политические” сценарии (climate-policy scenarios). Они обычно исходят из такого регулирования глобальной антропогенной эмиссии парниковых газов, которое приводит к ограничению роста их концентраций в атмосфере или даже к их уменьшению, см., например, (Wigley et al., 1996; Семенов, 2004; Wigley, 2004; Izrael and Semenov, 2006). Однако в данном докладе они рассматриваться не будут.

МОЦАО подразделяются на модели минимальной сложности (minimal complexity models), средней сложности (reduced complexity models) и полномасштабные. Сложность моделей нарастает по мере увеличения детальности описания модельными переменными процессов, происходящих в климатической системе Земли. В том числе увеличивается временное и пространственное разрешение этого описания. В табл. 3.1.1 приведены те полномасштабные МОЦАО, которыми наиболее часто сейчас пользуются исследователи для расчетов параметров климата будущего. На веб-странице, указанной в названии таблицы, дана информация о существующих модельных прогонах и о том, какова процедура доступа к результатам расчетов.

Эти модели имеют разное временное и пространственное разрешение (типично — $5 \times 5^\circ$), также иногда используют разные геодезические проекции.

Когда целью работы является получение региональной оценки последствий изменения климата, исследователи обычно пользуются каким-либо определенным сценарием антропогенного воздействия на климат (чаще — из семейств SRES) и средним по множеству прогонов какой-либо МОЦАО расчетным климатом. В последнее время стало популярным не только осреднение по про-

3. ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XXI В.

Таблица 3.1.1. Основные полномасштабные МОЦАО, созданные в мировых центрах по моделированию глобального климата (http://www.mad.zmaw.de/IPCC_DDC/html/SRES_AR4/index.html)

Название центра, страна	Аббревиатура	Символ модели
Beijing Climate Center, Китай	BCC	CM1
Bjerknes Centre for Climate Research, Норвегия	BCCR	BCM2.0
Canadian Center for Climate Modelling and Analysis, Канада	CCCma	CGCM3 (T47 resolution)
		CGCM3 (T63 resolution)
Centre National de Recherches Meteorologiques, Франция	CNRM	CM3
Australia's Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, Австралия	CSIRO	Mk3.0
Max Planck-Institut for Meteorology, Германия	MPI-M	ECHAM5-OM
Meteorological Institute, University of Bonn, Германия	MIUB	ECHO-G
Meteorological Research Institute of КМА, Корея	METRI	
Model and Data Groupe at MPI-M, Германия	M&D	
National Centre for Atmospheric Research, США	NCAR	PCM
		CCSM3
UK Meteorological Office, Великобритания	UKMO	HadCM3
		HadGEM1
National Institute of Geophysics and Volcanology, Италия	INGV	SXG 2005
Institute of Atmospheric Physics, Китай	LASG	FGOALS-g1.0
Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, США	GFDL	CM2.0
		CM2.1
Goddard Institute for Space Studies, США	GISS	AOM
		E-H
		E-R
Institute for Numerical Mathematics, Россия	INM	CM3.0
Institut Pierre Simon Laplace, Франция	IPSL	CM4
National Institute for Environmental Studies, Япония	MIROC	MIROC3.2 hires
		MIROC3.2 medres
Meteorological Research Institute, Япония	MRI	CGCM2.3.2

гонам, но и по совокупности МОЦАО, что дает “мультимодельный ансамблевый климат”.

Остановимся кратко на использовании сценарных климатов будущего в прикладных климатологических исследованиях. Пусть у нас есть несколько таких климатов, полученных с помощью разных климатических моделей (МОЦАО), исходя из разных сценариев антропогенного воздействия на глобальный климат. Для каждого такого климата можно вычислить прикладной климатический индекс (например, сумму эффективных температур, если мы именно ее изучаем). Если изначально для каждой пары сценариев — модель была определена вероятность ее реализации, то для разных вычисленных значений изучаемого прикладного климатологического индекса также можно найти вероятность реализации. Далее можно анализировать полученное вероятностное распределение в целом или же какие-то его характеристики — средние, дисперсию и т. д.

Чаще всего, однако, употребляется несколько более грубый подход. А именно, вычисляется “средний климат” путем осреднения исходных климатов с соответствующими весами, задаваемыми их вероятностями (чаще всего равными весами), а затем для полученного среднего климата оценивается значение изучаемого прикладного климатологического индекса. Такой подход равен силён изложенному выше в том случае, когда прикладной климатологический индекс линейно зависит от климатической переменной или же нелинейность незначительно выражена. В ином случае надо применять первый подход.

3.1.2. Состояние зданий и сооружений, отопительный период, транспорт

При получении оценок последствий изменения климата, в том числе для состояния технических объектов и характеристики отопительного периода, используются сценарии изменения климата XXI столетия. Они основаны на сценариях антропогенных эмиссий парниковых газов A2 и B2, изложенных в Специальном докладе МГЭИК о сценариях эмиссий (Special Report on Emission Scenarios, 2000), и на соответствующих расчетах, выполненных с использованием совокупности (McAvaney et al., 2001) моделей общей циркуляции атмосферы и океана. Используются также и иные сценарии, представленные в научных публикациях.

При построении оценок изменения продолжительности отопительного периода и потребления топлива на цели обогрева и охлаждения зданий для антропогенных эмиссий парниковых газов был принят сценарий A2 (Special Report on Emission Scenarios, 2000), а для соответствующих

оценок изменения климата были использованы результаты расчетов по следующим МОЦАО: CGCM2 (McFarlane et al., 1992), HadCM3 (Pope et al., 2000), ECHAM4 (Roeckner et al., 1996).

Для оценок влияния изменений климата на технические сооружения, расположенные в районах многолетней мерзлоты, использовали климатический сценарий B1 и модель GFDL.

Прикладные климатические индексы, применяемые для оценки изменения состояния технических систем и характеристик отопительного периода при каком-либо заданном сценарии изменения климата, описаны в разделе 2.1.2.

При построении оценок последствий изменения климата широко применяются различные схемы районирования территории России к воздействию меняющегося климата по показателям чувствительности, уязвимости, подверженности риску и т. д. В качестве географической основы используется, в частности, деление страны на административные единицы — федеральные округа (Приоритетные действия..., 2005).

Существенный риск связан с влиянием потепления климата на технические системы, расположенные в зоне многолетней мерзлоты. Увеличение температуры воздуха в приповерхностном слое атмосферы и связанное с ним изменение термического режима почвогрунтов может негативно сказаться на прочности фундаментов зданий и сооружений. В табл. 3.1.2 количественно охарактеризована эта зависимость.

Для выявления областей, в которых построенные на многолетней мерзлоте здания и сооружения будут подвержены наибольшей опасности при изменении климата, а также для районирования криолитозоны России вообще был разработан метод, основанный на применении расчетного индекса (Анисимов, Белолуцкая, 2002; Анисимов, Лавров, 2004; Nelson et al., 2001, 2002):

$$I_r = k_s \Delta Z_n C_n$$

Здесь I_r — индекс геокриологической опасности, k_s — коэффициент, учитывающий засоленность грунта, ΔZ_n — относительное изменение глубины сезонного протаивания многолетней мерзлоты, рассчитанное для заданного сценария изменения климата, выраженное в долях от современной нормы, а C_n — процентное содержание льда в мерзлом грунте. При такой оценке наибольшая вероятность развития деструктивных геокриологических процессов (значительное увеличение глубины сезонного протаивания) возникает в случае, когда мерзлый грунт содержит большое количество льда. В таких районах возможны просадки оттаивающего грунта вследствие интенсивного термокарста. Изменение температуры грунта, которое является главным фактором, влияющим на его

3. ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XXI В.

Таблица 3.1.2. Влияние изменения температуры воздуха на несущую способность мерзлого грунта (по данным Л. Н. Хрусталева, опубликованным в (Weller and Lange, 1999))

Изменение мерзлого грунта	Изменение среднегодовой температуры воздуха, °С			
	0,5	1,0	1,5	2,0
Изменение несущей способности фундаментов зданий, %	-5	-15	-25	-50
Изменение несущей способности опор трубопроводов и линий электропередачи, %	-10	-20	-30	-60

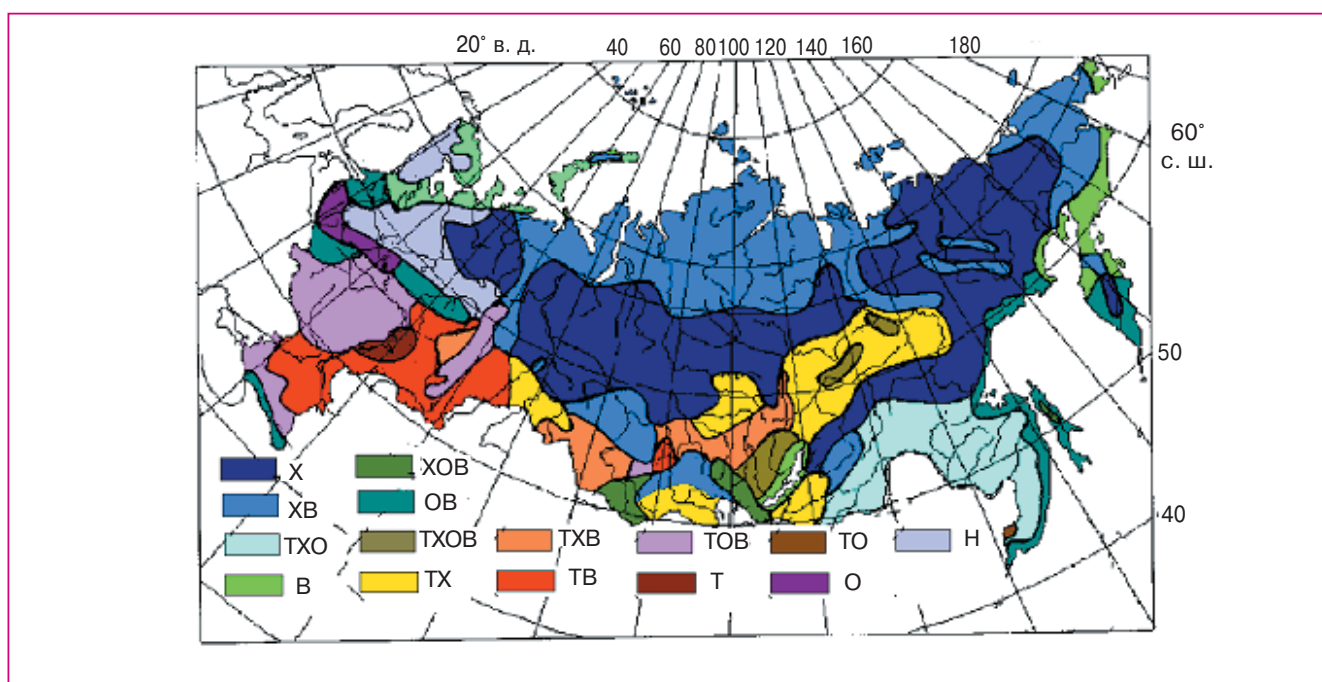


Рис. 3.1.4. Районирование территории России по наличию экстремальных гидрометеорологических явлений и их сочетаний: Т — тепло, Х — холодно, О — осадки, В — ветер, Н — отсутствие опасных для транспорта гидрометеорологических явлений (Кренке, Чернавская, 2003).

несущую способность, неявно учитывается в этом индексе через изменение глубины протаивания.

При выполнении перспективных оценок с помощью этого индекса для середины XXI века (см. раздел 3.2) использовали сценарий В1 и климатическую модель GFDL.

При построении перспективных оценок последствий изменения климата и оценок их существенности (опасности) важную роль играют схемы районирования территории по наличию экстремальных гидрометеорологических явлений, поскольку районы, где в большей степени выражены такие условия, или районы, находящиеся в таких условиях сразу по нескольким параметрам, могут оказаться более уязвимыми при меняющем-

ся климате. На рис. 3.1.4 приведено районирование территории России по наличию экстремальных температур, осадков и ветра; на карте показаны также области, где опасные для транспорта гидрометеорологические явления отсутствуют.

3.1.3. Сельское хозяйство

3.1.3.1. Растения

Последствия изменения климата для сельского хозяйства России в XXI веке оценивались для четырех вариантов климата будущего, соответствующих четырем сценариям мирового социально-экономического развития. Это сценарии А1, А2,

V1 и V2, которые приводят к разным траекториям эмиссий парниковых газов в атмосферу и к разным климатам, для расчета которых применялась климатическая модель HADCM3 (см. раздел 3.1.1). Для территории России использовались также региональная модель климата (Школьник и др., 2006) и ансамблевый сценарий изменения климата (Мелешко и др., 2004). Применялись также палеоклиматические реконструкции и сценарии, рассчитанные с помощью климатических моделей при условии удвоения концентрации диоксида углерода конца XX века к концу XXI века.

При ретроспективных расчетах климата XX века с использованием фактических изменений концентраций парниковых газов некоторые глобальные климатические модели успешно воспроизвели вековые тренды температуры воздуха в приповерхностном слое атмосферы. Для больших пространственных масштабов (глобального, континентального) современные МОЦАО позволяют удовлетворительно воспроизводить наблюдаемые средние годовые значения и сезонный ход большого числа гидрометеорологических величин. Однако оценки облачности и осадков имеют значительную неопределенность, как и поля высоты снежного покрова, содержания почвенной влаги и температуры почвы. Ни одна из известных глобальных климатических моделей к настоящему времени не признана лучшей.

В этих условиях наиболее разумным подходом к оценке влияния ожидаемых изменений климата на сельское хозяйство представляется использование имитационных моделей “Погода — урожай”, для которых входной информацией служит ансамбль результатов расчета климата будущего, полученных с помощью признанных МОЦАО.

Последствия возможного изменения климата в XXI веке для сельского хозяйства России анализировались в данном докладе с помощью следующих методов:

- имитационное математическое моделирование; соответствующий программный комплекс “Климат — почва — урожай” описан в работах (Сиротенко, Павлова, 2003; Сиротенко и др., 2005; Александров, 2006);

- классические биоклиматические и агроклиматические показатели (Шашко, 1985);

- регрессионный анализ временных рядов данных о климате и урожае (см., например, (Lobell and Field, 2007));

- метод пространственно-временных аналогов (Сиротенко, Павлова, 2003);

- модели динамики содержания органического углерода в почве при разных вариантах изменений климата в будущем (Романенков и др., 2003; Сиротенко и др., 2005).

3.1.3.2. Насекомые — вредители сельскохозяйственных растений

Саранчовые. Гидротермический фактор является одним из главных в динамике численности и миграциях саранчовых — опасных вредителей сельскохозяйственных растений. Климат в значительной степени определяет ареалы видов, а погодные условия конкретного года — уровень численности популяции и миграционную активность. Соответствующие количественные закономерности исследовались отечественными специалистами — см., например, (Рубцов, 1935; Винокуров, 1949; Цыпленков, 1970; Сафарова, 1987).

В качестве характеристики степени пригодности климата данного географического района для обитания нестатных саранчовых И. А. Рубцовым (1935) был предложен специальный индекс аридности

$$A = \frac{R}{\Sigma T_+ - 36}.$$

Здесь R — годовая сумма осадков (мм), а ΣT_+ есть сумма положительных среднемесячных значений температуры воздуха ($^{\circ}\text{C}$) за теплое время года (апрель — сентябрь). С помощью этого индекса можно также прогнозировать численность ряда форм саранчовых.

Колорадский жук. Зависимость развития колорадского жука *Leptinotarsa decemlineata* Say от гидротермического фактора достаточно детально изучалась отечественными и зарубежными специалистами. Среди множества предложенных количественных критериев упомянем следующие два.

- 1) Сумма эффективных температур ($^{\circ}\text{C}$ в сутки), вычисляемая как сумма превышений средне-суточной температурой определенного порогового значения, выше которого возможно развитие особи. Этот критерий уже встречался в разделах 2.1.3 и 2.1.5.

На основании анализа суммы эффективных температур М. Д. Злотников (1967) выделил на европейской части СССР четыре климатические зоны развития колорадского жука. В своей работе он использовал результаты исследований А. Альфаро (Alfaro, 1943, 1949) и К. И. Ларченко (1958). Согласно К. И. Ларченко (1958), для развития одного поколения (от яйца до имаго — взрослой особи) необходима сумма эффективных температур, равная $360^{\circ}\text{C} \times \text{сутки}$, при пороговом значении температуры $11,5^{\circ}\text{C}$ (Alfaro, 1943, 1949). Эта сумма складывается из количества тепла, необходимого для созревания яиц у жуков, вышедших из почвы после зимовки ($30^{\circ}\text{C} \times \text{сутки}$), для развития эмбрионов ($50^{\circ}\text{C} \times \text{сутки}$), для развития личинок I–II возрастов ($70^{\circ}\text{C} \times \text{сутки}$), для личинок III возраста ($40^{\circ}\text{C} \times \text{сутки}$), личинок IV возраста ($70^{\circ}\text{C} \times \text{сутки}$)

3. ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XXI В.

и для развития предкуколок и куколок до выхода молодых жуков из почвы ($100^{\circ}\text{C} \times \text{сутки}$). Для развития двух генераций необходимо $720^{\circ}\text{C} \times \text{сутки}$, а трех — $1080^{\circ}\text{C} \times \text{сутки}$ при пороговом значении температуры $11,5^{\circ}\text{C}$. Потенциальный ареал колорадского жука — совокупность тех географических точек, климат которых допускает развитие хотя бы одной генерации.

2) Ареал колорадского жука на территории бывшего СССР описывается двумя изотермами: изотермой среднегодовой температуры 0°C , ограничивающей ареал колорадского жука на севере и востоке, и изотермой среднемесячной температуры июля 27°C , ограничивающей его с юга. Данные изотермы удовлетворительно очерчивают ареал колорадского жука в Северной Америке, где его можно считать установившимся. Такой подход к описанию потенциального ареала колорадского жука и его изменений в связи с изменением климата был реализован в работе (Ясюкевич и др., 2007).

3.1.4. Водные ресурсы

Расчеты с помощью большинства МОЦАО указывают на то, что в XXI веке повышение температуры воздуха в высоких широтах может быть более значительным, чем в глобальном масштабе (в 2–3 раза). Перспективные оценки суммы осадков в силу их большей пространственной и временной изменчивости обладают большей степенью неопределенности. Перспективные оценки суммы осадков, полученные с помощью разных моделей, для некоторых районов существенно различаются не только по величине, но и по знаку. Однако практически все модели предсказывают значительные изменения в гидрологическом цикле при развитии процесса глобального потепления (Allen and Ingram, 2002; Palmer and Rätsänen, 2002; Milly et al., 2002), в частности увеличение осадков в высоких и умеренных широтах. Результаты расчетов по некоторым моделям указывают на значительное увеличение повторяемости экстремальных осадков и увеличение риска наводнений (Milly et al., 2002).

В последние годы наиболее часто для оценки изменений в гидрологическом цикле в XXI веке для разных речных бассейнов и территорий использовались следующие климатические модели и сценарии: модели HadCM2, GFDL-R15, ECHAM4 и CGCM1 для расчетов по сценарию IS92 (увеличение концентрации CO_2 в атмосфере на 1% в год в течение XXI века), а также модели HadCM3 и CGCM2 для расчетов по сценариям SRES (см. раздел 3.1.1).

В качестве альтернативного сценария климатических условий будущего использовались палеоклиматические реконструкции температуры возду-

ха и годовых сумм осадков для глобального потепления на $1,5^{\circ}\text{C}$ (Лемешко, 2002).

С точки зрения сходства результатов расчетов основных климатических показателей с современными фактическими значениям применительно к территории России наилучшие результаты (наряду с моделью ECHAM4) дает модель HadCM3 (Менжулин и др., 2005). В этой связи перспективные оценки стока российских рек на 2010–2039 гг. были получены на основе климата будущего, рассчитанного по этой модели (Шикломанов, Георгиевский, 1995, 2002, 2003, 2004). Выбор конкретного сценария антропогенного воздействия на глобальный климат в данном случае не имеет существенного значения, поскольку до 2040 г. все известные сценарии приводят примерно к одинаковым изменениям климата. Расчеты гидрологических параметров, соответствующих климату будущего, выполнены с использованием воднобалансовой модели ГГИ (Георгиевский и др., 1996).

3.1.5. Здоровье населения

3.1.5.1. Общие замечания

Ожидаемое в XXI веке потепление климата потенциально может приводить к изменениям условий труда и проживания людей, а также к изменению рисков для здоровья населения, связанных с трансмиссивными инфекциями (Climate Change 2001, 2001). Для получения перспективных оценок этих последствий, вообще говоря, необходимы данные о климате XXI века с суточным разрешением, поскольку соответствующие зависимости воздействие — отклик обычно нелинейны. Такие данные стали доступны лишь недавно (результаты расчетов с помощью МОЦАО с использованием SRES-сценариев антропогенного воздействия на климат), и их использование в региональных оценках только начинается.

Поэтому до настоящего времени для оценки последствий изменения климата в XXI веке для здоровья населения исследователи привлекали иные, упрощенные допущения и сценарные предположения о возможных долговременных изменениях климатических параметров, в рамках которых получали перспективные оценки их последствий. Такие сценарные предположения в основном делаются в отношении частоты и продолжительности периодов времени с экстремальными значениями гидрометеорологических величин, а также в отношении климатических характеристик их годового хода (Ревич, Шапошников, 2006; Семенов и др., 2006).

3.1.5.2. Экстремально высокая температура (волны тепла)

Условия существования людей зависят в большой степени от экстремальности гидрометеорологических условий. Так, увеличение длительности периодов с экстремально высокой и экстремально низкой температурой, ее значения в эти периоды, частота экстремальных явлений погоды сказываются как непосредственно на состоянии здоровья людей, так и опосредствованно, через изменение качества питьевой воды, продуктов питания и состояния загрязнения атмосферы вредными примесями.

Оценка рисков, связанных с волнами тепла заданных продолжительности и выраженности, выполняется методами, описанными в разделе 2.1.5, а перспективные оценки последствий изменения климата — методами экстраполяции с привлечением сценариев изменения демографической ситуации и экономического развития.

3.1.5.3. Инфекционные болезни

Процессы, связанные с потеплением климата, могут привести к расширению зоны, благоприятной для распространения трансмиссивных заболеваний и их переносчиков. Это возможно как вследствие повышения температуры воздуха в приповерхностном слое атмосферы, так и вследствие изменения количества осадков, господствующих ветров, высоты снежного покрова. Это может привести к увеличению риска для здоровья населения — может увеличиться число людей, проживающих в зонах с большим риском заражения инфекционными заболеваниями (Climate Change 2001, 2001), в том числе малярией (Lieshout et al., 2004).

Потепление климата может привести в XXI веке к расширению ареалов переносчиков малярии, возникновению условий ее передачи на высотах более 1500 м над уровнем моря, увеличению длительности сезона передачи и числа “оборотов инфекции”, возобновлению местной передачи тропической малярии. В отношении малярийных комаров комплекса *An. maculipennis* известно, что в южных регионах Западной Сибири, а также в Томской и Тюменской областях вследствие потепления климата уже происходит замещение одних из наиболее холодолюбивых видов комплекса — *An. beklemishevi* и *An. messeae* с северным кариотипом — на *An. messeae* с южным кариотипом. На ЕТР возможно расширение ареалов *An. atroparvus* и *An. maculipennis*, которые являются более эффективными переносчиками малярии, чем *An. beklemishevi* и *An. messeae* (Сергиев и др., 2004).

В настоящее время не существует научных публикаций, в которых для территории России

оценивается изменение риска в XXI веке, связанного с малярией человека, при изменении климата в соответствии со SRES-сценариями. В связи с этим в данном докладе анализируются два упрощенных сценария для территории России (Семенов и др., 2006):

а) средняя температура в XXI веке на протяжении 30 лет или более увеличивается на 1 и 2°C по сравнению со значениям 1966–1995 гг., а характер естественной изменчивости на более коротких периодах времени не меняется;

б) тенденция изменения климата 1996–2025 гг. по сравнению с 1966–1995 гг. будет такой же, как в 1966–1995 гг. по сравнению с 1936–1965 гг.

В рамках этих сценариев оценен будущий потенциальный ареал трехдневной малярии в XXI веке. При этом использовались данные о суточных значениях температуры воздуха в приповерхностном слое атмосферы с сети метеорологических станций Росгидромета и прикладные климатические индексы, описанные в разделе 2.1.5.

3.1.6. Природные экосистемы суши

3.1.6.1. Общие замечания

Для построения перспективных оценок воздействия изменения климата в XXI веке на природные экосистемы суши часто необходима информация о значениях метеорологических величин с высоким временным разрешением — месячным, суточным и более. Их изменчивость именно в таких временных масштабах управляет некоторыми важными процессами в живой природе (например, фотосинтезом растений, наступлением фенологических событий). Долгосрочный прогноз значений метеорологических величин с таким разрешением невозможен. Поэтому в таких случаях в качестве входной информации можно использовать лишь перспективные их оценки в климатическом осреднении за какие-либо периоды времени в будущем, а также свойства вероятностного распределения их значений.

При моделировании реакции природных экосистем на изменение климата используются модели равновесия (steady-state model), описывающие то новое состояние равновесия, в котором будет находиться моделируемая природная экосистема при заданном измененном климате, модели переходных процессов от исходного равновесного состояния к новому, а также модели нестационарных процессов, описывающие изменения природных экосистем в постоянно меняющемся климате. Последнее направление моделирования еще не вполне сложилось, и такие модели пока используются ограниченно.

3. ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XXI В.

3.1.6.2. Фенологические сроки растений

Для получения перспективных оценок изменения сроков наступления фенологических событий в жизни растений, вызванного изменением климата, используются простые модели — прикладные климатические индексы, описывающие связь годового хода метеорологических величин с фенологическими событиями. В разделе 2.1.6 описан метод расчета фенологических дат растений с помощью суммы эффективных температур (интеграл превышений среднесуточного значения температуры воздуха порогового значения T_n). Фенологическое событие наступает в те сутки, когда этот интеграл от начала года до этих суток превысит определенную константу S_0 . Модельные константы специфичны для биологического вида и типа события.

Правильность этого подхода, предложенного еще в середине XX века (см., например, (Шигалев, Шиманюк, 1949)), впоследствии многократно подтверждалась современными исследованиями. Так, в работе (Lappalainen, 1994) для территории Финляндии исследована связь суммы эффективных температур с фенологическими датами — распусканием листьев и цветением — шести групп деревьев, кустарников и кустарничков: береза *Betula* spp. (*Betula pendula* Roth., *Betula pubescens* Ehrh.), осина *Populus tremula* L., черемуха обыкновенная *Prunus padus* L., брусника *Vaccinium vitis-idaea* L., смородина красная *Ribes rubrum* (*Ribes rubrum* L., *Ribes spicatum* Robson.) и рябина обыкновенная *Sorbus aucuparia* L. Было обнаружено, что расчетные фенологические даты достаточно точно соответствуют фактическим. В табл. 3.1.3 приводятся оценки модельной константы S_0 для

$T_{th} = 5^\circ\text{C}$ для упомянутых выше видов растений. Напомним, что размерность S_0 есть $^\circ\text{C} \times \text{сутки}$, но при ее вычислении с использованием среднесуточных значений температуры (т. е. когда интеграл заменяется суммой) в отечественной литературе по традиции S_0 дается просто в $^\circ\text{C}$.

На территории России для расчетной оценки начала зелены березы бородавчатой *Betula pendula* Roth. используются значения $S_0 = 55^\circ\text{C}$ при $T_{th} = 5^\circ\text{C}$ (Шигалев, Шиманюк, 1949).

Тесная связь метеорологических процессов и времени наступления фенологических событий у растений породила даже некоторые предложения использовать последние для мониторинга климата (Beaubien and Johnson, 1994).

3.1.6.3. Прирост деревьев

Обычные статистические модели, связывающие радиальный прирост деревьев с гидрометеорологическими величинами, могут быть недостаточно надежны при построении долгосрочных перспективных оценок прироста. Калиброванные по данным какого-либо базового периода, они могут давать значительные расхождения с экспериментальными данными на другом продолжительном периоде времени. Так, статистическая регрессионная модель, связывающая прирост со среднемесячной температурой и месячными суммами осадков, была калибрована на данных 1935–1965 гг. Для калибровки были использованы ряды радиального прироста деревьев по 285 древесно-кольцевым хронологиям с участков на территории России. Во многих случаях значения коэффици-

Таблица 3.1.3. Оценки модельной константы S_0 ($^\circ\text{C}$) при $T_{th} = 5^\circ\text{C}$ для шести групп растений по регионам Финляндии (Lappalainen, 1994)

Группа	Регион					Лапландия
	южное побережье	западное побережье	юго-западная внутренняя часть	центральная внутренняя часть	восточная внутренняя часть	
Bet*	50	45	61	–	76	64
Pop*	127	112	140	163	145	108
Bet	56	47	65	–	83	89
Pru	118	98	126	135	125	136
Sor	211	186	237	236	210	227
Vac	212	189	241	251	250	222
Rib	87	72	108	120	120	106

Примечание. Звездочка — распускание листьев; в остальных случаях — цветение; Bet — *Betula* spp.; Pop — *Populus tremula*; Pru — *Prunus padus*; Vac — *Vaccinium vitis-idaea*; Rib — *Ribes rubrum*; Sor — *Sorbus aucuparia*.

ента корреляции оказались высокими (0,6–0,9). Однако рассчитанные с помощью этой модели ряды прироста деревьев для 1965–1998 гг. оказались весьма слабо коррелированными с фактическими рядами радиального прироста (Шишов и др., 2007). Следовательно, не все древесно-кольцевые хронологии могут быть использованы безоговорочно для реконструкции климата в прошлом. С другой стороны, структура регрессионных моделей отражает особенности климата. Изменение регрессионной модели свидетельствует об изменении климата, хотя и не раскрывает характер этого изменения.

Поэтому для перспективных оценок влияния изменения климата на прирост деревьев целесообразно применять имитационные модели прироста деревьев. Например, имитационная VS-модель (Ваганов, Шашкин, 2000) хорошо описывает не только радиальный прирост, но и структуру годичных колец у древесных растений (размеры клеток, соотношение ранней и поздней древесины и плотность древесины) в разных климатических условиях. Эти условия включают: резко континентальные высокоширотные, среднеширотные, условия муссонного климата, степные и полупустынные (Ваганов, Шашкин, 2000; Evans et al., 2006; Vaganov et al., 2006).

Для перспективных оценок влияния изменчивости климата на радиальный прирост деревьев можно использовать также гидротермический индекс — отношение суммы осадков в июне — сентябре к средней температуре тех же месяцев в год формирования кольца и в предыдущий (Соломина и др., 2007).

Используются и более сложные модели, описывающие биохимические и физиологические процессы в растении. Так, в работе (Цельникер и др., 2007) предложена модельная зависимость интенсивности фотосинтеза лиственницы сибирской (*Larix sibirica*), ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) и сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) от пяти внешних факторов изменения климата (интенсивности ФАР, температуры воздуха и почвы, дефицита влажности воздуха и запаса доступной влаги в почве). Были использованы биохимическая модель ассимиляции Фаркухара и эмпирическая модель устьичной проводимости.

3.1.6.4. Экотоны

Для перспективной оценки изменений в состоянии ландшафтных компонентов на территории России, вызванных изменением климата, для трех временных срезов в XXI столетии (2030-е, 2050-е и 2080-е годы) использовался метод палеоаналогов. В качестве палеоаналогов были использованы оптимум голоцена (5,5 тыс. лет до современного периода), когда среднеглобальная темпе-

ратура была на 0,7–1°C выше современной, и оптимум микулинского (земского) межледниковья (~125 тыс. лет до современного периода, среднеглобальная температура на 1,7–1,8°C выше современной). Эти уровни повышения среднеглобальной температуры весьма близки к ожидаемым в 30-х и 50-х годах XXI в. (Величко и др., 2002).

При выполнении перспективной оценки состояния растительного покрова в более отдаленном периоде будущего — на конец XXI века — можно исходить из следующих соображений: 1) данные МОЦАО по перспективным оценкам гидротермического режима при удвоении CO₂ для рассматриваемой территории мало отличаются от режима, установленного по палеоаналогам для оптимума микулинского межледниковья; 2) тенденции в развитии растительного покрова к концу XXI века можно выявить на основе реконструкции растительного покрова оптимума микулинского межледниковья, используя принцип характерных времен достижения тем или иным ландшафтным компонентом равновесия с климатическими условиями.

При оценке ответных реакций экосистем на изменение климата, в том числе для оценки вызванных изменением климата сдвигов границ растительных зон, широко применяются имитационные математические модели. Например, усовершенствованная модель Будыко (Budyko, 1974, 1986), связывающая характеристики растительности с радиационным балансом и индексом засушливости, была использована для расчета изменения границ растительных зон в ответ на изменение климата (Tchebakova et al., 1993; Monserud et al., 1993a, 1993b). Это — модель равновесия, которая описывает не ожидаемый сдвиг границ в определенный период в будущем, а их положение, соответствующее климату этого периода по достижении состояния равновесия растительности в новых климатических условиях.

3.1.6.5. Климатическое опустынивание

Последствия возможного глобального потепления в XXI веке в аспекте климатического опустынивания рассмотрены на примере Европейской территории России для того субрегиона, где доминирует антропогенная составляющая опустынивания (см. раздел 2.6). Изменения климатических факторов опустынивания — показателей аридности и опасных засух — в заданные десятилетия XXI века определены по данным архива численных экспериментов на региональной климатической модели ГГО (РКМ ГГО) (Школьник и др., 2000, 2005, 2006). Модельные расчеты регионального климата ЕТР проводились для трех десятилетий: 1991–2000 гг. (базовый климат), 2041–2050 и 2091–2100 гг. (Школьник и др., 2005). Содержание в атмосфере парниковых газов и аэрозолей в первое

3. ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XXI В.

десятилетие расчета задавалось в соответствии с данными наблюдений, а для остальных — в соответствии со сценарием В2 МГЭИК (см. раздел 3.1.1). Полученный архив детальных модельных полей включает несколько десятков переменных с суточным разрешением.

Методика вычисления показателей аридности, опасных атмосферной и почвенной засух (см. раздел 2.1.6) по данным архива была следующая. Ряды среднесуточной температуры, суточных сумм осадков и суточных влагозапасов в 20-сантиметровом слое почвы за 1991–2000, 2041–2050 и 2091–2100 гг. выбирались из архива только для узлов сетки, вблизи которых находились метеостанции. Далее для этих узлов вычислялись показатели и строились соответствующие карты в системе MapInfo. Изменения показателей в 2041–2050 гг. и 2091–2100 гг. по сравнению с 1991–2000 гг. считались значимыми, если они превышали среднеквадратическое отклонение.

Качество воспроизведения РКМ ГГО показателей аридности и опасной атмосферной засухи оценивалось за период 1991–2000 гг. Показатель опасной почвенной засухи был исключен из сравнения из-за недоступности обобщенных данных наблюдений. Относительная ошибка воспроизведения вычислялась по формуле

$$\Delta X = (X_m - X_0)/X_0,$$

где X_m и X_0 — соответственно модельное и наблюдаемое значения показателей.

Распределение ошибки воспроизведения РКМ ГГО показателя аридности неоднородно в степных и полупустынных районах ЕТР. В этих районах модель завышает показатель аридности, а ошибка колеблется в пределах 10–35%. В лесостеп-

ных районах ΔX принимает отрицательные значения, но несколько уменьшается по абсолютной величине.

На большей части территории модель завышает частоту опасной атмосферной засухи, особенно на западе Калмыкии, юге Волгоградской и Астраханской областей, в среднем на 15% и занижает южнее 45° с. ш. в среднем на 20%.

Таким образом, модель в целом удовлетворительно воспроизводит частоту опасной атмосферной засухи. Несколько хуже воспроизводится моделью показатель аридности климата вегетационного сезона.

3.1.6.6. Особо охраняемые природные территории

Для перспективной оценки влияния изменения климата на флористическое разнообразие используются методы нелинейной пошаговой регрессии, множественной нелинейной регрессии, кластерный и дискриминантный анализы. Так, в работе (Кожаринов, Минин, 2001) построена нелинейная регрессионная модель для описания зависимости флористического разнообразия от климата. В табл. 3.1.4 приведены характеристики корреляционной связи таксономического разнообразия флоры с параметрами климата.

В работе Е. И. Парфеновой и Н. М. Чебаковой (2006) получена зависимость разнообразия сосудистых растений от термических показателей в 15 флористических районах Сибири по данным Л. И. Малышева и др. (2000). Были использованы максимальные и минимальные значения суммы положительной среднесуточной температуры воздуха за календарный год в долговременном ряду

Таблица 3.1.4. Значения коэффициентов корреляции τ Кендалла между ведущими климатическими параметрами и значениями таксономического разнообразия флоры

Параметр климата	<i>S</i>	<i>G</i>	<i>F</i>
T4 — средняя температура воздуха в апреле	0,621	0,648	0,576
T8 — средняя температура воздуха в августе	0,644	0,676	0,572
TSUM5 — сумма температур выше 5°C за год	0,646	0,677	0,572
TSUM10 — сумма температур выше 10°C за год	0,652	0,677	0,572
OS4 — количество осадков в апреле	0,420	0,435	0,481
OT3 — число дней с оттепелями в марте	0,546	0,590	0,538
IAD — число ясных дней в году	0,578	0,564	0,471
HH9 — дефицит влажности в сентябре	0,663	0,685	0,581
NDNSP — число дней в году с устойчивым снежным покровом	–0,585	–0,590	–0,533
UM — число дней с устойчивыми морозами	0,565	–0,587	–0,526

Примечание. *S*, *G*, *F* — число видов, родов и семейств на учетном участке единичной площади с данными климатическими параметрами; уровень достоверности $p < 0,001$.

3. ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XXI В.

наблюдений — $(\Sigma T_0)_{\max}$ и $(\Sigma T_0)_{\min}$ соответственно. Первый показатель характеризует возможные максимальные ресурсы тепла в регионе, а показатель $\Delta = (\Sigma T_0)_{\max} - (\Sigma T_0)_{\min}$ — диапазон теплообеспеченности. Линейная зависимость, связывающая количество видов сосудистых растений N во флористическом регионе, которое колебалось от 488 до 2535 видов, определялась показателями $(\Sigma T_0)_{\max}$ и Δ ($R^2 = 0,82$):

$$N = 0,58 (\Sigma T_0)_{\max} + 0,52\Delta - 420.$$

Эта зависимость позволяет выполнять перспективные оценки изменения разнообразия сосудистых растений при изменении климата, исходя из перспективных оценок изменения климатического годового хода среднесуточной температуры воздуха. Последние уже в значительной степени являются доступными для всего XXI века по результатам расчетов с помощью современных МОЦАО, типичное пространственное разрешение которых $5 \times 5^\circ$.

3.1.7. Континентальная многолетняя мерзлота и ледниковые системы

3.1.7.1. Состояние криолитозоны

Перспективные оценки состояния криолитозоны — континентальной многолетней мерзлоты — выполняются на основе:

— собственно данных измерений температуры почвогрунтов на глубинах до 3,2 м на метеорологических станциях и многолетнемерзлых грунтов до глубин порядка 100 м на геокриологических стационарах, а также результатов

регрессионного анализа, при котором изучается зависимость температуры почвогрунтов от более доступных для измерения предикторов — температуры воздуха, осадков, высоты снежного покрова и т. д. (data-based models);

— представлений о возможных изменениях этих предикторов в будущем, которые оцениваются при расчетах ожидаемого климата с помощью математических моделей глобального и регионального климатов.

В табл. 3.1.5 для примера приведена корреляционная матрица (ранговые коэффициенты корреляции Спирмена сглаженных значений) температуры воздуха, количества осадков и высоты снежного покрова, а также температуры почвогрунта на глубинах 80 и 160 см. Здесь T_G, T_Z, T_L — средние за год, за холодный и теплый периоды года соответственно значения температуры воздуха в приповерхностном слое атмосферы; R_G, R_Z, R_L — средние за год, за холодный и теплый периоды года значения суммы осадков соответственно; H_{SN} — средняя за 7 зимних месяцев высота снежного покрова; $T80_G, T80_Z, T80_L, T160_G, T160_Z, T160_L$ — средние за год, за холодный и теплый периоды года соответственно значения температуры почвогрунта на глубине 80 и 160 см.

Парные коэффициенты корреляции используются для выбора в первом приближении предикторов, в наибольшей степени влияющих на температуру почвогрунта на глубинах 80 и 160 см. Наибольший эффект при этом дает учет высоты снежного покрова, несмотря на сравнительно невысокие значения корреляции с температурой почвы (Израэль и др., 2006).

Таблица 3.1.5. Ранговые коэффициенты корреляции Спирмена годовых и сезонных значений (для холодного и теплого периодов года) температуры воздуха, суммы осадков, высоты снежного покрова и температуры почвогрунта на глубинах 80 и 160 см для метеостанции Якутск (Израэль и др., 2006)

	T_G	T_Z	T_L	R_G	R_Z	R_L	H_{SN}
T_G	1	0,98	0,89	-0,57	-0,64	-0,32	-0,29
T_Z	0,98	1	0,82	-0,55	-0,56	-0,35	-0,37
T_L	0,89	0,82	1	-0,68	-0,70	-0,30	—
R_G	-0,57	-0,55	-0,68	1	0,52	0,69	0,30
R_Z	-0,64	-0,56	-0,70	0,52	1	—	0,38
R_L	-0,32	-0,35	-0,30	0,69	—	1	—
H_{SN}	-0,29	-0,37	—	0,46	—	0,41	1
$T80_G$	0,76	0,72	0,79	-0,56	-0,65	-0,26	0,24
$T80_Z$	0,78	0,74	0,81	-0,58	-0,67	-0,26	0,21
$T80_L$	-0,78	-0,77	-0,66	0,46	0,61	0,24	—
$T160_G$	0,80	0,76	0,81	-0,65	-0,49	-0,33	0,22
$T160_Z$	0,81	0,76	0,84	-0,59	-0,53	-0,32	0,20
$T160_L$	-0,24	-0,30	—	-0,25	—	-0,22	—

Примечание. Пояснения приведены в тексте.

В качестве перспективных оценок предикторов обычно используются сценарии, рекомендованные Межправительственной группой экспертов по изменению климата и представленные к использованию Центром по распространению данных (IPCC Data Distribution Centre) на веб-странице <http://www.ipcc.data.org/>. В данном докладе использовались результаты расчетов по трем ОЦАО: CGCM2 (McFarlane et al., 1992), HadCM3 (Pope et al., 2000) и ECHAM4 (Roeckner et al., 1996) по сценарию A2 (Израэль и др., 2007). Существует около 40 равновероятных сценариев SRES развития общества и связанных с этим эмиссий парниковых газов, но до 2050 г. все сценарии дают весьма близкие оценки накопления парниковых газов.

Для оценки состояния континентальной многолетней мерзлоты и влияния на нее возможных в будущем изменений климата используются и полномасштабные математические модели процессов (process-based models). В прогностических расчетах используются как упомянутые выше сценарии изменения климата, предложенные МГЭИК, так и сценарии, получаемые независимыми методами.

В качестве входных климатических данных при модельных расчетах состояния многолетней мерзлоты обычно используются поля температуры воздуха и осадков месячного разрешения по времени, заданные в узлах регулярной сетки. В случае, если расчет проводится для условий будущего климата, к современным месячным нормам прибавляются их ожидаемые приращения, определяемые сценарием изменения климата. В расчетах с помощью моделей равновесия (steady-state models) оцениваются параметры квазистационарного состояния многолетней мерзлоты, соответствующего установившимся климатическим условиям. При изменении температуры воздуха за время порядка нескольких лет лишь верхний слой почвогрунта толщиной в несколько метров достигает состояния термического равновесия. Таким образом, результаты этих расчетов характеризуют лишь приповерхностный слой многолетней мерзлоты, изменения которого представляют наибольший практический интерес. Оценки изменения термического режима и состояния многолетней мерзлоты на больших глубинах можно получить при помощи более сложных полных динамических моделей, описывающих процесс распространения тепла в литосфере.

Глубина сезонного протаивания, являясь одним из наиболее важных параметров, обладает значительной пространственной изменчивостью даже на небольших расстояниях порядка нескольких метров и десятков метров. Это обусловлено локальными неоднородностями свойств почвы, растительности, в особенности мохово-лишайни-

кового покрова, и рядом других факторов, явно учесть которые не представляется возможным. Для воспроизведения такого рода пространственных неоднородностей в моделях используется стохастический подход, который предполагает, что влияющие параметры, характеризующие свойства почвы, снега и растительности, являются случайными функциями и варьируют в некоторых пределах вблизи их средних значений (Anisimov et al., 2002). Таким образом, для одних и тех же климатических условий проводится несколько вариантов расчета, каждый из которых соответствует одному из возможных сочетаний значений параметров снега, растительности и почвы. Получаемые статистические данные дают возможность построить вероятностную функцию распределения параметров многолетней мерзлоты, например, глубины сезонного протаивания.

Литературные источники, в которых обсуждаются математические модели влияния изменения климата на состояние континентальной многолетней мерзлоты, более полно представлены в разделе 2.1.7.

3.1.7.2. Ледниковые системы

Под соответствием оледенения климату понимается ситуация, когда баланс ледовой массы близок к нулю и при сохранении данного климата оледенение не будет меняться. При неизменном климате, если баланс положителен, то оледенение будет увеличиваться, при отрицательном — убывать. Сохранение тренда баланса ледников или изменение его знака происходит при изменениях климата. Оледенение может иногда поспевать за изменениями климата; в этом случае также сохраняются его нулевой баланс и равновесие с климатом. Динамика горного оледенения в условиях меняющегося климата является в последнее время одной из основных проблем климатологии и гляциологии (Dyurgerov, 2001; Ананичева, Кренке, 2005; Глазовский и др., 2005; Михаленко и др., 2005).

Методика построения перспективных оценок изменения морфологии и режима ледниковой системы, исходя из изменения средней для нее высоты границы питания ледников, определяемой по соотношению балансовых профилей, предложена М. Д. Ананичевой и А. Н. Кренке (2005; 2007 — в печати). Она применима для любых заданных сценариев изменения климата, в том числе из числа рекомендованных МГЭИК (строятся с помощью моделей общей циркуляции атмосферы). Суть методики состоит в следующем.

Для изучаемой ледниковой системы и заданного периода времени в прошлом или будущем строятся профили абляции и аккумуляции по дан-

ным о температуре воздуха и осадках. Эти данные — фактические, если речь идет о прошлом, и сценарные (прогностические), если рассматривается какой-либо период времени в будущем. В каждом случае по пересечению этих вертикальных профилей можно установить высоту границы питания.

Далее для изучаемой ледниковой системы строятся гипсографические схемы распределения льда по высоте (необходимые для этого данные имеются в Каталоге ледников СССР (1969, 1972, 1981)). Принимается допущение о том, что граница питания всегда находится на средней высоте между высшими и низшими уровнями ледников в системе (тем самым какое-либо изменение высоты конца ледниковой системы приводит к вдвое меньшему изменению высоты границы питания). Считается также, что площадь, занятая льдом на высотах больше заданной, линейно или по иному известному закону увеличивается с уменьшением высоты от нуля в высших точках до 100% у концов ледников. Оледенение исчезает, если расчетная граница питания системы поднимается выше ее верхней точки.

Описанная выше методика была использована для получения перспективных оценок горного оледенения северо-востока страны в XXI веке.

Для оценок горного оледенения Большого Кавказа в XXI веке была использована достаточно тесная зависимость изменения площади современного оледенения от нескольких факторов: температуры воздуха, суммы атмосферных осадков, а также от предшествующих размеров оледенения (Панов, 1993). Чтобы оценить возможное изменение оледенения в будущем, необходимо знать не только размеры площади оледенения на конкретный начальный период расчета, но и значения климатических элементов на перспективу, т. е. в данном случае на XXI век. Последние данные были взяты из работ (Борзенкова и др., 1987; Жуков, Святкина, 2000): для разных сценариев в 2020–2050 гг. увеличение температуры воздуха в регионе за период абляции составит 1,0–5,5°C, а суммы атмосферных осадков за период аккумуляции — 5–45%.

3.1.8. Северные моря

3.1.8.1. Морской ледовый покров в Арктике

Вопрос о распространении морского льда в Арктике и о его изменении в условиях меняющегося климата (см., например, (Захаров, 2003; Lindsay and Zhang, 2005)) — один из важнейших при оценке состояния северных морей и возможностей хозяйственной морской деятельности в регионе в XXI веке.

Изменения климата Арктики в XXI веке оценивались ГГО на основе суперансамблевого расчета климата XX–XXI веков. При этом применялись МОЦАО нового поколения (Отчет ГГО, 2005), использованные при подготовке Четвертого оценочного доклада МГЭИК (Climate Change 2007, 2007). Был сформирован архив модельных данных для климатических характеристик северной полярной области. По сравнению с прежними архивами модельных данных новый архив отличается намного большим количеством как МОЦАО, так и климатических характеристик, а также большим разнообразием сценариев для XXI века.

Расчеты будущего климата Арктики с помощью ансамбля современных глобальных климатических моделей с учетом увеличения концентрации парниковых газов в атмосфере показывают продолжение потепления и значительное повышение температуры воздуха в зимний период к середине XXI столетия (Отчет ГГО, 2005). Оценки на основе расчетов климата по ансамблю из 19 глобальных моделей общей циркуляции атмосферы и океана показали, что увеличение концентрации парниковых газов в атмосфере приведет к значительным изменениям климата северной полярной области уже в ближайшие десятилетия. К середине XXI столетия температура воздуха зимой над Арктическим бассейном может повыситься на 3–8°C, а площадь, занятая льдами в сентябре, сократится более чем на половину (Отчет ГГО, 2005).

Следует отметить, что полученные с использованием упомянутых выше моделей оценки отражают лишь тенденцию потепления, связанную с усилением парникового эффекта вследствие увеличения концентраций парниковых газов в атмосфере из-за антропогенных эмиссий. Однако они не отражают циклических естественных изменений климата в регионе. Такие циклические изменения, колебания происходили на протяжении XX века. Такого же рода колебания, и даже более значительные, отмечались и ранее — от эпохи викингов (X–XII века) до “малой ледниковой эпохи” XVII–XIX веков.

В настоящее время уже существуют специализированные модели, описывающие ледовитость арктических морей, для которых входной информацией служат перспективные оценки климата XXI века в регионе. Такая динамико-термодинамическая модель ледового покрова на трассе Северного морского пути была предложена в работе (Макштас и др., 1988). Эта модель использует поля среднемесячных значений приповерхностной температуры воздуха и атмосферного давления в Арктике в 2001–2015 гг., рассчитанные по пяти глобальным моделям климата с учетом увеличения

3. ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XXI В.

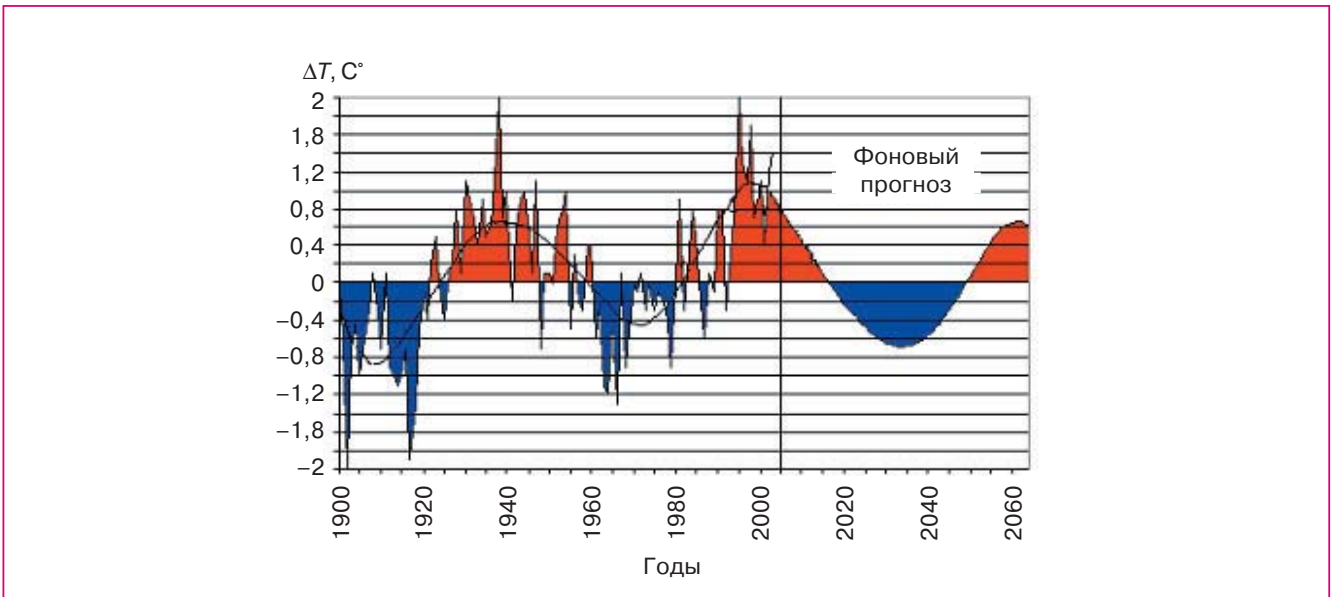


Рис. 3.1.5. Аномалии среднегодовой приповерхностной температуры воздуха в широтной зоне 70–85° с. ш. в XX — начале XXI века и экстраполяция выявленных циклических колебаний на ближайшие десятилетия.

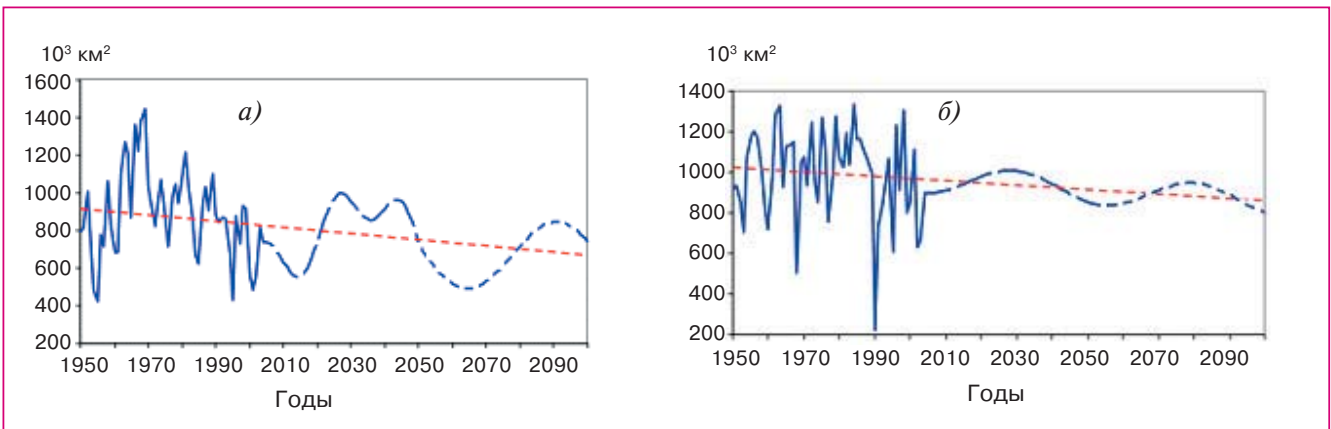


Рис. 3.1.6. Перспективная оценка изменений суммарной площади распространения льда в западных (а) и восточных (б) арктических морях в XXI веке с учетом линейного тренда второй половины XX века.

антропогенного влияния на глобальный климат. Результаты расчетов не показали существенного изменения ледовых условий на трассе Северного морского пути к 2015 г., а также кардинального уменьшения сплоченности и толщины льда в окраинных морях и Арктическом бассейне.

Выявленный в Арктике примерно 60-летней продолжительности цикл в долговременных изменениях температуры, площади льдов и других характеристик имеет естественное физическое обоснование (Гудкович и др., 2005). Это явление необходимо учитывать при построении оценок будущего климата Арктики как тот естественный

фон, на котором развиваются процессы глобального антропогенного потепления.

На рис. 3.1.5 видно, что последний период потепления в Арктике, начавшийся с середины 1980-х годов и продолжающийся в настоящее время, полностью не завершился. Его пик в арктической зоне пришелся на середину 1990-х годов, и с большой степенью вероятности теплый период завершится около 2015–2020 гг. В дальнейшем ожидается период похолодания, максимум которого придется на середину 2030-х годов, а окончание — на 2050-е годы. Наложение выявленных естественных циклических колебаний со значительной амплитудой на

ожидаемое антропогенное потепление в определенной мере смягчит потепление в 2020–2050 гг.

Прогноз возможных изменений ледовых условий в арктических морях с учетом естественных циклических колебаний ледовитости показывает, что до 2015 г. ледовые условия в арктических морях будут формироваться на пониженном фоне ледовитости с постепенной тенденцией ее повышения и ухудшения ледовых условий (рис. 3.1.6). Очередной максимум ледовитости арктических морей ожидается около 2030–2035 гг. (Карклин и др. 2001; Гудкович и др., 2005; Frolov et al., 2007a, 2007b).

3.1.8.2. Биологические системы северных морей

Изменения экологического состояния северных морей в XXI веке оценивались на основе качественной экстраполяции современных тенденций развития морских экосистем под влиянием потепления климата. Эти тенденции сводятся к следующему. Изменение климата приведет к смещению в полярном (северном) направлении южных и северных границ распределения рыб и других гидробионтов, утрате среды их обитания в холодных водах и к расширению среды обитания тепловодных рыб. Морские экосистемы уязвимы при изменении климата. К числу наиболее важных последствий потепления климата относится уменьшение ледовитости морей, увеличение температуры и продолжительности вегетационного периода, уменьшение солености воды и утрата среды обитания ряда рыб и других промысловых гидробионтов, уменьшение биоразнообразия, усиление вымирания ряда обитающих видов и внедрение экзотических видов-вселенцев, потенциальное обострение существующих проблем конкуренции видов, возрастание эвтрофикации и загрязнения в импактных морских районах отдельных морских бассейнов, а также усиление влияния УФ-В радиации на биологические процессы в морях.

3.1.9. Южные моря

В литературе имеются перспективные оценки климатогенных изменений состояния южных морей для Азовского и Каспийского морей по отдельным показателям, причем прогнозу уровня Каспийского моря уделено основное внимание. Это связано с ограниченностью соответствующей информации, представленной в специальной научной литературе, — проекты этого направления находятся в значительной степени в стадии научно-исследовательских разработок.

При перспективной оценке изменений, которые ожидаются на акватории Азовского моря, используется сценарное предположение о повышении

уровня Мирового океана в XXI веке на 1 м по сравнению с современным уровнем вследствие термического расширения воды в верхних слоях Мирового океана, а также частичного таяния ледников Антарктиды и Гренландии. Эта оценка является заведомо мажорирующей, поскольку по результатам последних расчетов, опубликованных МГЭИК (Climate Change 2007, 2007), ожидаемое повышение уровня Мирового океана составит 0,18–0,59 м.

Для оценки усиления циклонической деятельности в будущем, увеличения увлажнения и, как следствие, распреснения воды и подъема уровня в Каспийском и в Азовском морях вследствие потепления климата в настоящее время используются разные методы. Это — расчеты с помощью гидродинамических моделей общей циркуляции атмосферы и океана, статистические расчеты, а также расчеты, основанные на изменении составляющих водного баланса. Наиболее перспективным представляется применение гидродинамических моделей. Однако ввиду сложности их применения при региональных оценках непосредственно для южных морей конкретные результаты пока не достигнуты.

В связи с этим в работах (Мещерская, Голод, 2003) и (Абузьяров, 2003) для получения перспективных оценок климатогенных изменений состояния южных морей, в частности их уровня, использовались статистические зависимости между показателями атмосферной циркуляции и изменениями уровня моря. Для Каспия в основу метода заложено предположение о том, что долговременные изменения уровня определяются атмосферными процессами. При этом время запаздывания изменения уровня от изменения атмосферных процессов может достигать нескольких лет. В связи с этим использовались асинхронные статистические связи. Изменения циркуляции рассматривались на всем пространстве Северного полушария, что позволило полнее охарактеризовать изменение влагозапаса на водосборном бассейне Каспийского моря.

Уровень Каспия определяется воздействием большого числа факторов, действующих одновременно. Относительный вклад этих факторов меняется в зависимости от изменений в климатической системе. Для выявления этих вкладов был применен метод пошаговой множественной линейной регрессии. Для построения корреляционных связей были использованы следующие временные ряды данных:

— временной ряд приращений среднегодовых значений уровня моря (по данным водного поста Махачкала с 1900 г. по настоящее время);

— ряды среднегодовых значений индексов циркуляции в форме Белинского для восьми районов Северного полушария;

3. ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XXI В.

— ряды среднегодовых значений коэффициентов разложения полей аномалий приземного атмосферного давления по естественным ортогональным функциям координат, рассчитанных для трех секторов Северного полушария.

3.1.10. Последствия экстремальных метеорологических явлений

3.1.10.1. Общие замечания

Методологической основой перспективных оценок последствий экстремальных метеорологических явлений и их опасности служат:

— перспективные региональные оценки индексов экстремальности метеорологических величин; они описывают события выхода значений этих величин за определенные границы; примерами могут служить выход значений приведенных в разделе 2.1.10 индексов Селянинова и Нестерова за некоторые границы, а также выход наблюдаемого значения стока за определенное пороговое значение;

— специализированное (для каждого типа экстремального гидрометеорологического явления) районирование территории по степени опасности заданных значений индекса экстремальности.

Необходимо иметь в виду, что долгосрочный прогноз или перспективная оценка значений гидрометеорологических величин и соответствующих индексов экстремальности с большим временным разрешением (на какие-то конкретные сутки, месяц или же год через несколько лет) теоретически невозможны. Возможны лишь перспективные оценки свойств их вероятностных распределений для больших промежутков времени — десятки лет, т. е. оценки в климатическом приближении.

Собственно ряды значений метеорологических величин и индексов экстремальности, соответствующие разным сценариям антропогенного воздействия на глобальный климат путем эмиссии парниковых газов в атмосферу, рассчитываются с помощью моделей общей циркуляции атмосферы и океана в крупных мировых климатологических центрах. Часть этих рядов непосредственно относится к индексам экстремально-

сти, а основная часть описывает базовые метеорологические величины (температуру, сумму осадков и т. д.), по которым индексы экстремальности могут быть вычислены при необходимости.

Что касается районирования, то оно должно быть специализированным для экстремальных метеорологических явлений различных типов.

3.1.10.2. Засухи

Значительная часть пахотных земель расположена в зонах недостаточного и неустойчивого увлажнения, где засухи различной интенсивности и продолжительности наблюдаются почти ежегодно.

Градации засух для ЕТР по их интенсивности в зависимости от метеорологических условий приведены в табл. 3.1.6. В таблице условия возникновения засух охарактеризованы следующими показателями периода вегетации: превышение средней температурой воздуха (ΔT , °C) средней многолетней нормы, отношение количества выпавших осадков (ΔR , %) к средней многолетней норме, число засушливых декад ($N_{\text{зас}}$).

Тенденции изменения повторяемости засух в XXI веке на территории России определены на основе прогностических оценок изменения климата, полученных с помощью региональной климатической модели ГГО (Школьник и др., 2006). Посредством анализа соотношения сезонных значений температуры воздуха и количества осадков отдельных водосборных площадей определены регионы с ожидаемым (возможным) ростом засушливости климата (т. е. существенного роста температуры воздуха и заметного снижения количества осадков) и с учетом увеличения количества суток с экстремально высокими значениями температуры воздуха.

3.1.10.3. Лесные пожары

Для построения перспективных оценок пожарной опасности леса использовался индекс горимости Нестерова (Шерстюков, 2003), см. раздел 2.1.10.

Его значения для разных лет и периодов календарного года в будущем вычислялись на осно-

Таблица 3.1.6. Метеорологические условия возникновения засух на ЕТР (Грингоф, Пасечнюк, 2005)

Вид засухи	Метеорологические условия		$N_{\text{зас}}$, число декад
	ΔT , °C	ΔR , %	
Очень сильная	1,8–3,8	40–50	4,5–5,3
Сильная	2,2–2,3	62–70	3,5–4,2
Средняя	1,1–2,2	69–93	2,8–3,2

ве сценарных оценок изменения климата в XXI веке на территории России, которые составляют часть массива информации, полученной для всего мира по регулярной пространственной сетке с помощью МОЦАО. В данном случае использовались результаты расчетов по трем атмосферно-океаническим моделям климата: CGCM2 (McFarlane et al., 1992), HadCM3 (Pope et al., 2000) и ECHAM4 (Roeckner et al., 1996) по сценарию A2. Существует около 40 равновероятных сценариев SRES развития общества и связанных с этим эмиссий парниковых газов, но до 2050 г. все сценарии дают весьма близкие оценки накопления парниковых газов в атмосфере. Перспективные оценки, полученные по каждой отдельной климатической модели, содержат независимые между собой ошибки. Осреднение данных, полученных с помощью трех упомянутых моделей, позволяет несколько уменьшить эти ошибки. Поэтому для прикладных оценок использовались средние значения климатических характеристик, полученных по трем упомянутым моделям. Для вычисления индекса горимости были использованы среднемоделные оценки климата с месячным разрешением по времени.

Для пункта расположения каждой из 1400 метеостанций Росгидромета вычислялся будущий климат на основе пространственной линейной интерполяции по четырем ближайшим узлам географической сетки, для которых есть расчетные данные по МОЦАО (см. выше). С помощью процедуры линейной интерполяции строился годовой ход среднесуточной температуры по перспективным оценкам среднемесячных значений температуры.

Предварительно для пункта расположения каждой метеостанции для периода 1961–2003 гг. были вычислены коэффициенты линейной регрессии фактического числа дней N в году с “высокой и более” горимостью ($G > 1000$) на годовую сумму положительных среднесуточных значений температуры.

Далее для каждой из 1400 метеостанции годовой ход среднесуточных значений температуры в каждый год t пересчитывался в число дней с “высокой и более” горимостью $N^*(t)$ с помощью этих коэффициентов регрессии. Изменения N в какой-либо год t по отношению к значениям базового (b) периода 1961–1990 гг. оценивались в процентах:

$$\Delta_{\%} N^* = 100(N^*(t) - N_b^*)/N_b^*$$

где N_b^* — среднее значение за базовый период.

3.1.10.4. Наводнения

Перспективные оценки вероятности и параметров наводнений основываются на учете многих факторов. Важнейшими из них являются количество, распределение и интенсивность выпадения

атмосферных осадков, запасы воды в снежном покрове и интенсивность его таяния во время половодья и паводков на реках, продолжительность и скорость ветра при нагонах воды и тайфунах и т. д. Расчеты с помощью большинства МОЦАО указывают на то, что повышение температуры воздуха, особенно в высоких широтах, может быть значительным по сравнению с глобальным потеплением в XX веке. Однако перспективные оценки сумм осадков из-за их большей пространственной и временной изменчивости обладают большей степенью неопределенности. Поэтому количественные предсказания для наводнений даже на ближайшие годы проблематичны. Можно делать только оценки направленности изменений, их вероятности и параметров по прогнозируемым изменениям осадков.

Оценки возможных изменений сумм осадков при глобальном потеплении, полученные с помощью разных моделей, существенно различаются как по величине, так и по знаку, но практически по данным всех моделей (Allen and Ingram, 2002; Palmer and Rätsänen, 2002; Milly et al., 2002) ожидается увеличение суммы осадков в высоких и умеренных широтах, особенно в зимний период, а результаты расчетов по некоторым моделям указывают на значительное увеличение повторяемости экстремальных осадков (Milly et al., 2002). Это необходимо учитывать для большей части территории России при оценках риска опасных наводнений в будущем при весенних и весенне-летних половодьях на больших и средних реках, в том числе с образованием ледовых заторов, и вероятности наводнений при дождевых паводках на малых и средних реках.

В горных районах Кавказа, Алтая, Саян сохранение тенденции увеличения ливневых осадков при одновременном уменьшении площади горного оледенения и снежников обусловит увеличение частоты формирования дождевых паводков и селевых потоков как дождевого, так и моренно-проливного (гляциального) происхождения. Для больших и средних рек горных и предгорных районов на Урале и в Сибири необходимо учитывать увеличение опасности высоких наводнений при выпадении обильных осадков во время половодья.

На территории с муссонным климатом на Дальнем Востоке и частично в Восточной Сибири ожидаемое увеличение количества осадков также необходимо учитывать при оценке вероятности высоких наводнений на реках в XXI веке. Деградация многолетней мерзлоты в горных районах будет способствовать формированию селевых потоков.

Для определения предельной высоты и продолжительности наводнений с учетом генезиса их формирования в разных географических условиях

на территории России можно использовать результаты расчетов, выполненных по данным многолетних наблюдений за водным режимом рек. Они опубликованы в справочных изданиях Росгидромета (гидрологических ежегодниках, гидрохимических бюллетенях) при ведении Государственного водного кадастра. Для этой цели можно использовать также результаты специальных расчетов региональных гидрологических характеристик наводнений (Доброумов, Тумановская, 2002).

Районирование территории России для оценки опасности наводнений, весенних половодий и дождевых паводков (для ситуаций отсутствия заторов льда) приведено в работе (Доброумов, Тумановская, 2002). Оно основано на данных многолетних наблюдений водного режима рек, опубликованных в справочных изданиях Росгидромета, и на результатах расчетов гидрологических характеристик. При этом был выявлен преобладающий тип процессов формирования максимального стока (весеннее половодье, весенне-летнее половодье, снегодождевые и дождевые паводки) для значений, превышающих $X_{0,1}$ (верхний 10%-ный квантиль, см. раздел 2.1.1), и установлены начальные наименьшие значения площади водосборов рек, для которых этот тип характерен.

Наводнения с максимальным стоком при весеннем половодье характерны для западной части России, а с максимальным стоком при весенне-летнем половодье — для восточной; их границей является р. Енисей. Наводнения с максимальным стоком дождевого происхождения распространены на Кавказе, в Забайкалье и на Дальнем Востоке (в Приморье); смешанный тип характерен для Алтая и Саян. Для всех рек, бассейны которых расположены севернее 58° с. ш., наибольшие подъемы уровней воды могут быть обусловлены заторами льда (Доброумов, Тумановская, 2002).

Дополнительно этими авторами выполнено районирование территории России по показателю превышения максимальными срочными расходами воды стока их средних многолетних значений, больших $X_{0,01}$ (верхний 1%-ный квантиль). Районирование было выполнено отдельно для весеннего половодья и дождевых паводков. Рассчитана также средняя продолжительность стояния воды на поймах рек при формировании максимумов весеннего половодья и дождевых паводков в этом случае.

Результаты районирования позволяют уже на первом этапе оценок определить для отдельных районов России генезис формирования наводнений и выделить речные водосборы (по площади бассейна), на которых проявление наводнений может быть наиболее опасным. Так, весенние половодья, расходы воды при которых превышают значение $X_{0,01}$, на большей части территории России могут представлять наибольшую опасность на

реках с площадями водосбора более 50 тыс. км². Продолжительность затопления пойменных участков на таких реках может составить 12–24 суток, а наибольшие в период наводнения расходы воды могут превысить их средние многолетние значения более чем в два раза. Ситуация в период наводнений для этих рек может быть существенно ухудшена влиянием заторов льда. На юге Европейской части России и Западной Сибири наиболее опасные ситуации в период весеннего половодья также могут возникнуть на реках с площадями водосборов более 50 тыс. км². При этом продолжительность затопления пойменных участков будет от 18 до 32 суток, а максимальные расходы воды превысят средние многолетние более чем в 5 раз.

Наводнения дождевого происхождения со значениями стока, превышающими $X_{0,01}$, могут быть наиболее опасными на Кавказе и Дальнем Востоке. Продолжительность затопления поймы в этих районах для рек с площадью водосбора в диапазоне от 1000 км² до 50 тыс. км² может быть от 5 до 9 суток, а наибольшие в период наводнения расходы воды более чем в три раза могут превысить их средние многолетние значения (Доброумов, Тумановская, 2002).

На всей территории России большую опасность представляют дождевые паводки редкой повторяемости на малых водосборах площадью 25–50 км² и менее. Дождевые паводки в летне-осенний период приводят к затоплению сельскохозяйственных угодий, наносят значительный ущерб, снижая урожайность возделываемых культур, а зачастую приводя к их гибели.

Таким образом, разделение наводнений по генезису их формирования на 4 типа, районирование территории России по генезису формирования наводнений и показателю превышения наибольших расчетных максимумов срочных расходов воды позволяют выделять наиболее опасные для наводнений речные водосборы.

3.1.11. Литература

- Абузьяров З. К., 2003. Технология прогноза тенденций изменения уровня Каспийского моря на перспективу 6 и 18 лет, в кн.: Гидрометеорологические аспекты проблемы Каспийского моря и его бассейна, СПб, Гидрометеоиздат, с. 351–363.
- Александров В. А., 2006. Колебания и изменения климата и их влияние на экосистемы Юго-Восточной и Центральной Европы, а также юго-восточных районов США, Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора физико-математических наук, СПб, 98 с.
- Ананичева М. Д., Кренке А. Н., 2005. Эволюция высот климатической снеговой линии и границы питания ледников на северо-востоке Сиби-

3. ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XXI В.

- ри в XX веке, Материалы гляциологических исследований, вып. 98, с. 225–233.
- Ананичева М. Д., Кренке А. Н., 2007.** Горное оледенение (на примере северо-востока Сибири и Камчатки). Глава 6. Оледенение Северной Евразии в ближайшем будущем, в кн.: Оледенение Северной и Центральной Евразии: от прошлого к ближайшему будущему, М., Наука (в печати).
- Анисимов О. А., Белолуцкая М. А., 2002.** Оценка влияния изменения климата и деградации вечной мерзлоты на инфраструктуру в северных регионах России, Метеорология и гидрология, № 6, с. 15–22.
- Анисимов О. А., Лавров С. А., 2004.** Глобальное потепление и таяние вечной мерзлоты: оценка рисков для производственных объектов ТЭК, Технологии ТЭК, № 3, с. 78–83.
- Борзенкова И. И., Будыко М. И., Бютнер Э. К. и др., 1987.** Антропогенные изменения климата, Л., Гидрометеиздат, 406 с.
- Ваганов Е. А., Шашкин А. В., 2000.** Рост и структура годичных колец хвойных, Новосибирск, Наука, 232 с.
- Величко А. А., Борисова О. К., Зеликсон Э. М., Морозова Т. Д., 2002.** К оценке изменений в состоянии растительного и почвенного покровов Восточно-Европейской равнины в XXI веке вследствие антропогенного изменения климата, в кн.: Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем, СПб, Гидрометеиздат, т. XVIII, с. 208–220.
- Винокуров Г. М., 1949.** Метод прогноза начала отрождения вредных саранчовых Сибири, Труды Алтайской станции защиты растений, т. 1, Барнаул.
- Георгиевский В. Ю., Ежов А. В., Шальгин А. Л., Шикломанов И. А., Шикломанов А. И., 1996.** Оценка влияния возможных изменений климата на гидрологический режим и водные ресурсы рек территории бывшего СССР, Метеорология и гидрология, № 11, с. 89–99.
- Глазовский А. Ф., Носенко Г. А., Цветков Д. Г., 2005.** Ледники Урала: современное состояние и перспектива эволюции, Материалы гляциологических исследований, вып. 98, с. 207–213.
- Грингоф И. Г., Пасечник А. Д., 2005.** Агрометеорология и агрометеорологические наблюдения, СПб, Гидрометеиздат, 552 с.
- Гудкович З. М., Карклин В. П., Фролов И. Е., 2005.** Внутривековые изменения климата, площади ледяного покрова Евразийских арктических морей и их возможные причины, Метеорология и гидрология, № 6, с. 5–14.
- Доброумов Б. М., Тумановская С. М., 2002.** Наводнения на реках России: их формирование и районирование, Метеорология и гидрология, № 12, с. 70–78.
- Жуков В. А., Святкина О. А., 2000.** Стохастическое моделирование и прогноз агроклиматических ресурсов при адаптации сельского хозяйства к региональным изменениям климата на территории России, Метеорология и гидрология, № 1, с. 100–109.
- Захаров В. Ф., 2003.** Изменение в распространении морских арктических льдов в XX веке, Метеорология и гидрология, № 5, с. 75–86.
- Злотников М. Д., 1967.** Возможный ареал распространения и сроки развития колорадского жука в Европейской части СССР, Труды Всесоюзного научно-исследовательского института защиты растений, вып. 27, с. 68–74.
- Израэль Ю. А., Павлов А. В., Анохин Ю. А., Мяч Л. Т., Шерстюков Б. Г., 2006.** Статистические оценки динамики изменения элементов климата в районах вечной мерзлоты на территории Российской Федерации, Метеорология и гидрология, № 5, с. 27–38.
- Израэль Ю. А., Анохин Ю. А., Мяч Л. Т., Шерстюков А. Б., 2007.** Оценка и прогноз возможного изменения климата и состояния вечной мерзлоты на территории Российской Федерации в XXI веке, в кн.: Материалы международной конференции “Криогенные ресурсы полярных регионов”, Салехард, 17–22 июня 2007 г., Салехард, Материалы, т. 1, с. 127–132.
- Карклин В. П., Юлин А. В., Карелин И. Д., Иванов В. В., 2001.** Климатические колебания ледовитости арктических морей сибирского шельфа, Труды ААНИИ, т. 443, с. 5–11.
- Каталог ледников СССР: т. 17 (Лено-Индибирский район), вып. 2, часть 2 (Орулган), 1972, 43 с.; т. 19 (Северо-восток), часть 3, 1981; т. 20 (Камчатка), части 2–4, 1969, 74 с.**
- Кожаринов А. В., Минин А. А., 2001.** Современные тенденции в состоянии природы Русской равнины, в кн.: Влияние изменения климата на экосистемы. Охраняемые природные территории России: анализ многолетних наблюдений, под ред. А. Кокорина, А. Кожаринова, А. Минина, М., ч. 1, с. 17–23.
- Кренке А. Н., Чернавская М. М., 2003.** Районирование России по сочетанию климатических экстремумов, Известия РАН, сер. географ., № 2, с. 17–26.
- Ларченко К. И., 1958.** Длительность развития колорадского жука (*Leptinotarsa decemlineata* Say) в зависимости от температуры, в сб.: Колорадский жук и меры борьбы с ним, т. 2, М., Изд-во АН СССР, с. 81–92.
- Лемешко Н. А., 2002.** Гидрологический режим суши при удвоении концентрации углекислого газа в атмосфере, в сб.: Изменения климата и их последствия, СПб, Наука, с. 251–259.
- Макшгас А. П., Назаренко Л. С., Шутилин С. В., 1988.** Модель морского ледяного покрова Арк-

3. ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XXI В.

- тического бассейна, в сб.: Математические модели в исследовании динамики океана, Новосибирск, Сибирское отделение АН СССР, Вычислительный центр, с. 96–116.
- Мальшев Л. И., Байков К. С., Доронькин В. М., 2000.** Флористическое деление Азиатской России на основе количественных признаков, *Kylovia*, т. 2, № 1, с. 3–16.
- Мелешко В. П., Голицин Г. С., Говоркова В. А. и др., 2004.** Возможные антропогенные изменения климата России в XIX веке: оценки по ансамблю климатических моделей, *Метеорология и гидрология*, № 4, с. 38–49.
- Менжулин Г. В., Шамшурин В. И., Саватеев С. П., 2005.** К оценке точности модельных сценариев изменений климата, рекомендованных комиссией IPCC для расчетов последствий глобального потепления, в кн.: *Современные проблемы экологической метеорологии и климатологии*, СПб, Наука, с. 55–85.
- Мешерская А. В., Голод М. П., 2003.** О статистических долгосрочных прогнозах уровня Каспийского моря с использованием крупномасштабных климатических параметров, в кн.: *Гидрометеорологические аспекты проблемы Каспийского моря и его бассейна*, СПб, Гидрометеиздат, с. 278–294.
- Михаленко В. Н., Кутузов С. С., Файзрахманов Ф. Ф. и др., 2005.** Сокращение оледенения Тянь-Шаня в XIX — начале XXI века: результаты ядерного бурения и изменения температуры в скважинах, *Материалы гляциологических исследований*, вып. 98, с. 173–182.
- Отчет ГГО о научно-исследовательской работе “Новые методы анализа и обоснованные оценки многолетних изменений гидрометеорологических условий в северной полярной области, фоновый прогноз состояния атмосферы и океана на ближайшие десятилетия, выявление естественной и антропогенной составляющих изменений климата”, 2005.** Отв. исполнитель В. М. Катцов, СПб, 31 с.
- Панов В. Д., 1993.** Эволюция современного оледенения Кавказа, СПб, Гидрометеиздат, 431 с.
- Парфенова Е. И., Чебакова Н. М., 2006.** Представление климатописического разнообразия в ГИС и анализ его влияния на биоразнообразие различных уровней организации растительности, в кн.: *Биоразнообразие и динамика экосистем. Информационные технологии и моделирование*, Новосибирск, Сибирское отделение РАН, вып. 7, с. 536–546.
- Приоритетные действия по адаптации энергетики, строительной отрасли и здравоохранения РФ в условиях текущих и предполагаемых изменений климата на период действия Киотского протокола и на перспективу после 2015 г., 2005.** Отчет о научно-исследовательской работе по договору № 63/205 от 15 ноября 2005 г., выполненной в рамках НИР по ЛОТу 3, 1, 32 с.
- Ревич Б. А., Шапошников Д. А., 2006.** Климатические условия, качество атмосферного воздуха и смертность населения Москвы в 2000–2006 годах, в кн.: *Климат, качество атмосферного воздуха и здоровье москвичей*, под ред. Б. А. Ревича, М., Издательское товарищество “АдамантЪ”, с. 102–140.
- Романенков В. А., Сиротенко О. Д., Романенко И. А., Шевцова Л. К., Рожков В. А., Рухович Д. И., Франко У., Смит П., 2003.** Оценка потенциального влияния климатических изменений на запас углерода пахотных почв, Тезисы докладов Всемирной конференции по изменению климата, Москва, 29 сентября — 3 октября 2003 г., М., ИГКЭ, с. 243.
- Рубцов И. А., 1935.** Районирование резерваций саранчовых Сибири и прогноз массовых размножений по коэффициентам увлажнения, в кн.: *Вредители и болезни сельскохозяйственных растений Восточной Сибири*.
- Сафарова И. Л., 1987.** Особенности эмбрионального развития итальянской саранчи, в кн.: *Саранчовые — экология и меры борьбы*. Сборник научных трудов, Л., ВАСХНИЛ, ВНИИ защиты растений, с. 75–83.
- Семенов С. М., 2004.** Парниковые газы и современный климат Земли, М., Издательский центр “Метеорология и гидрология”, 175 с.
- Семенов С. М., Ясюкевич В. В., Гельвер Е. С., 2006.** Выявление климатогенных изменений, М., Издательский центр “Метеорология и гидрология”, 325 с.
- Сергиев В. П., Баранова А. М., Маркович Н. Я., Супряга В. Г., Ганнушкина Л. А., 2004.** Возможное влияние изменения климата на распространение трансмиссивных болезней на территории России, в кн.: *Изменение климата и здоровье России в XXI веке*. Сборник материалов Международного семинара (5–6 апреля 2004 г.), под ред. Н. Ф. Измерова, Б. А. Ревича, Э. И. Коренберга, М., Издательское товарищество “АдамантЪ”, с. 143–147.
- Сиротенко О. Д., Павлова В. Н., 2003.** Оценка влияния изменений климата на сельское хозяйство методом пространственно-временных аналогов, *Метеорология и гидрология*, № 8, с. 89–99.
- Сиротенко О. Д., Абашина Е. В., Романенков В. А., 2005.** Моделирование влияния изменений климата на динамику органического углерода в пахотных почвах, эмиссию CO₂ и продуктивность агроэкосистем, *Метеорология и гидрология*, № 8, с. 83–95.
- Соломина О. Н., Абылмеизова Б., Грязнова В. В., Ершова И. В., 2007.** Реконструкция гидротермического коэффициента в 1680–2005 гг. по дендрохронологическим данным в Прииссык-

- кулье, Тянь-Шань, Республика Кыргызстан, в кн.: Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем, т. XXI, СПб, Гидрометеоздат, с. 183–202.
- Цельникер Ю. Л., Корзухин М. Д., Суворова Г. Г., Янькова Л. С., Копыгова Л. Д., Филиппова А. К., 2007.** Анализ влияния факторов среды на фотосинтез хвойных Предбайкалья, в кн.: Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем, СПб, Гидрометеоздат, т. XXI, с. 265–292.
- Цыпленков Е. П., 1970.** Вредные саранчовые насекомые в СССР, Л., Колос, 272 с.
- Шашко Д. И., 1985.** Агроклиматические ресурсы СССР, Л., Гидрометеоздат, 247 с.
- Шерстюков Б. Г., 2003.** Метеорологические факторы горимости леса, засушливости погоды во второй половине XX века и экстремальные условия 2002 года в Московском регионе. Анализ климатической изменчивости и оценки возможных изменений климата, Труды ВНИИГМИ-МЦД, вып. 171, с. 79–88.
- Шигалев А. А., Шиманюк А. П., 1949.** Сезонное развитие природы Европейской части СССР, М., Географгиз, 240 с.
- Шикломанов И. А., Георгиевский В. Ю., 1995.** Влияние антропогенных факторов на сток рек бывшего СССР, в кн.: Географические направления в гидрологии, М., РАН, с. 96–107.
- Шикломанов И. А., Георгиевский В. Ю., 2002.** Влияние антропогенных изменений климата на гидрологический режим и водные ресурсы, в кн.: Изменения климата и их последствия, СПб, Наука, с. 152–164.
- Шикломанов И. А., Георгиевский В. Ю., 2003.** Влияние климатических изменений на водные ресурсы и водный режим рек России, Тезисы докладов Всемирной конференции по изменению климата, Москва, 29 сентября — 3 октября 2003 г., М., ИГКЭ, с. 250.
- Шикломанов И. А., Георгиевский В. Ю., 2004.** Изменение стока рек России при глобальном потеплении климата, Тезисы докладов VI Всероссийского гидрологического съезда, Санкт-Петербург, 28 сентября — 1 октября 2004 г., СПб, Гидрометеоздат, секция 3, с. 200–201.
- Шишов В. В., Наурызбаев М. М., Ваганов Е. А., Ивановский А. Б., Корец М. А., 2007.** Анализ изменчивости радиального прироста древесных растений на территории севера Евразии в последние десятилетия, Известия РАН, сер. географ., № 3, с. 49–58.
- Школьник И. М., Мелешко В. П., Павлова Т. В., 2000.** Региональная гидродинамическая модель атмосферы для исследования климата на территории России, Метеорология и гидрология, № 4, с. 32–49.
- Школьник И. М., Мелешко В. П., Гаврилина В. М., 2005.** Валидация региональной климатической модели ГГО, Метеорология и гидрология, № 1, с. 14–27.
- Школьник И. М., Мелешко В. П., Катцов В. М., 2006.** Возможные изменения климата на Европейской части России и сопредельных территориях к концу XXI века: расчет с региональной моделью ГГО, Метеорология и гидрология, № 3, с. 5–16.
- Ясюкевич В. В., Попова Е. Н., Гельвер Е. С., Ривкин Л. Е., 2007.** Влияние климатических факторов на формирование ареала колорадского жука (*Leptinotarsa decemlineata* Say), в кн.: Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем, т. 21, СПб, Гидрометеоздат, с. 348–379.
- Alfaro A., 1943.** Un ciclo de desarrollo en el escarabajo de la patata, Bol. pathol. veget. y entomol. agric, No. 12, pp. 9–30.
- Alfaro A., 1949.** Algunos aspectos de la biologia del escarabajo de la patata (*Leptinotarsa decemlineata* Say), Bol. pathol. veget. y entomol. agric, No. 16, pp. 91–104.
- Allen M. R. and Ingram W. J., 2002.** Constraints on future changes in climate and the hydrological cycle, Nature, vol. 415, pp. 224–232.
- Anisimov O. A., Shiklomanov N. I., and Nelson F. E., 2002.** Variability of seasonal thaw depth in permafrost regions: A stochastic modeling approach, Ecological Modeling, vol. 153, No. 3, pp. 217–227.
- Beaubien E. G. and Johnson D. L., 1994.** Flowering plant phenology and weather in Alberta, Canada, Int. J. Biometeorol., vol. 38, pp. 23–27.
- Budyko M. I., 1974.** Climate and Life, New York, Academic Press, 508 p.
- Budyko M. I., 1986.** The Evolution of the Biosphere, Dordrecht, D. Reidel Publishing Company, 423 p.
- Climate Change 2001, 2001.** Synthesis Report. Contributions of Working Group I, II and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change, Watson R. T. and the Core Writing Team (eds.), Cambridge University Press, 397 p.
- Climate Change 2001, 2001a.** The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change, Houghton J. T., Ding Y., Griggs D. J., et al. (eds.), Cambridge University Press, 881 p.
- Climate Change 2001, 2001b.** Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change, McCarthy J. J. et al. (eds.), Cambridge University Press, 1032 p.
- Climate Change 2007, 2007.** The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Solomon S. D., Qin M., Manning Z., Chen M., Marquis K. B., Averyt M.,

- Tignor M., and Miller H. L. (eds.), Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, Cambridge University Press, 996 p.
- Dyurgerov M. B., 2001.** Mountain glaciers at the end of the twentieth century: Global analysis in relation to climate and water cycle, *Polar Geography*, vol. 25, pp. 241–336.
- Evans M. N., Reichert B. K., Kaplan A., Anchukaitis K. J., Vaganov E. A., Hughes M. K., and Cane M. A., 2006.** A forward modeling approach to paleoclimatic interpretation of tree-ring data, *J. Geophys. Res., Biogeosciences*, vol. 111, No. 63, G03008, doi:10.1029/2006JG000166.
- Frolov I. E., Gudkovich Z. M., and Karklin V. P., 2007a.** Long-term variability of sea ice in the Eurasian Arctic, in: *Remote Sensing of Sea Ice in the Northern Sea Route*, sec. 7.1, Chichester, UK, Praxis Publishing Ltd., pp. 398–409.
- Frolov I. E., Gudkovich Z. M., and Karklin V. P., 2007b.** 21st century sea ice scenarios: Statistical modeling, in: *Remote Sensing of Sea Ice in the Northern Sea Route*, sec. 7.3, Chichester, UK, Praxis Publishing Ltd., pp. 418–420.
- Israel Yu. A. and Semenov S. M., 2006.** Critical levels of greenhouse gases, stabilization scenarios, and implications for the global decisions, in: *Avoiding Dangerous Climate Change*, Schellnhuber J. S., Cramer W., Nakicénović N., Wigley T. M. L., and Yohe G. (eds.), Cambridge, Cambridge University Press, pp. 73–79.
- Lappalainen H., 1994.** Examples of plant phenological events in Finland and their relation to temperature, *Memoranda Soc. Fauna Flora Fennica*, vol. 70, pp. 105–121.
- Lieshout van M., Kovats R. S., Livermore M. T. J., and Martens P., 2004.** Climate change and malaria: Analysis of the SRES climate and socio-economic scenarios, *Global Environmental Change*, vol. 14, pp. 87–99.
- Lindsay R. W. and Zhang J., 2005.** The thinning of Arctic seam ice: Have we passed a tipping point? *Bull. Amer. Meteorol. Soc.*, vol. 86, No. 3, pp. 325–326.
- Lobell D. and Field C. B., 2007.** Global scale climate-crop yield relationships and the impacts of recent warming, *Environ. Res. Lett.*, No. 2, pp. 1–7.
- McAvaney B. J., Covey C., Joussaume S., et al., 2001.** Model evaluation, in: *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Houghton J. T., Ding Y., et al. (eds.), Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, Cambridge University Press, pp. 471–523.
- McFarlane N. A., Boer G. J., Blanchet J.-P., and Lazare M., 1992.** The Canadian Climate Centre second-generation general circulation model and its equilibrium climate, *J. Climate*, vol. 5, pp. 1013–1044.
- Milly P. C. B., Wetherald R. T., Dunne K. A., and Delworth T. L., 2002.** Increasing risk of great floods in a changing climate, *Nature*, vol. 415, pp. 514–517.
- Monserud R. A., Tchebakova N. M., and Leemans R., 1993a.** Global vegetation change predicted by the modified Budyko model, *Climatic Change*, vol. 25, pp. 59–83.
- Monserud R. A., Denissenko O. V., and Tchebakova N. M., 1993b.** Comparison of Siberian paleovegetation to current and future vegetation under climate change, *Climate Res.*, vol. 3, pp. 143–159.
- Nelson F. E., Anisimov O. A., and Shiklomanov N. I., 2001.** Subsidence risk from thawing permafrost, *Nature*, vol. 410, pp. 889–890.
- Nelson F. E., Anisimov O. A., and Shiklomanov N. I., 2002.** Climate change and hazard zonation in the circum-Arctic permafrost regions, *Natural Hazards*, vol. 26, No. 3, pp. 203–225.
- Palmer T. N. and Rätsänen J., 2002.** Quantifying the risk of extreme seasonal precipitation events in a changing climate, *Nature*, vol. 415, pp. 512–514.
- Pope V. D., Gallani M. L., Rowntree P. R., and Stratton R. A., 2000.** The impact of new physical parametrizations in the Hadley Centre climate model — HadAM3, *Climate Dynamics*, vol. 16, pp. 123–146.
- Roegner E., Arpe K., Bengtsson L., Christoph M., Claussen M., Dümenil L., Esch M., Giorgetta M., Schlese U., and Schulzweida U., 1996.** The atmospheric general circulation model ECHAM-4: Model description and simulation of present-day climate, Max Planck Institute for Meteorology, Hamburg, Germany, Rep. No. 218, 90 p.
- Special Report on Emission Scenarios (N. Nakicénović et al. (eds.)), 2000.** A Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, 599 p.
- Tchebakova N. M., Monserud R. A., Leemans R., and Golovanov S., 1993.** A global vegetation model based on the climatological approach of Budyko, *J. Biogeography*, No. 20, pp. 129–144.
- Vaganov E. A., Hughes M. K., and Shashkin A. V., 2006.** Growth Dynamics of Conifer Tree Rings: Images of Past and Future Environments, Springer, Ecol. Studies Ser., vol. 183, 354 p.
- Weller G. and Lange M. (eds.), 1999.** Impacts of Global Climate Change in the Arctic Regions. Report from a Workshop on the Impacts of Global Climate Change, 25–26 April 1999, Tromsø, Norway, International Arctic Science Committee, Oslo, 59 p.
- Wigley T. M. L., Richels R., and Edmonds J., 1996.** Economic and environmental choices in the stabilization of atmospheric CO₂ concentration, *Nature*, vol. 379, p. 242.
- Wigley T. M. L., 2004.** Choosing a stabilization target for CO₂, *Climatic Change*, vol. 67, pp. 1–11.

3.2. СОСТОЯНИЕ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ, ОТОПИТЕЛЬНЫЙ ПЕРИОД, ТРАНСПОРТ

Ведущие авторы: Н. В. Кобышева, О. А. Анисимов, Б. Г. Шерстюков

Автор: М. Л. Марков

Редактор-рецензент: А. Ф. Яковлев

3.2.1. Тепловой режим зданий и сооружений

Перспективные оценки последствий потепления в XXI веке для зданий и технических сооружений были впервые получены с использованием сценариев изменения климата, основанных на палеоаналогах (Ефимова и др., 1992; Ефимова, Байкова, 1994), на прогнозах изменения температуры воздуха на период до 2010–2015 гг. с помощью эмпирико-статистической модели (Материалы к стратегическому прогнозу..., 2005; Александрова, 2006) и на результатах расчетов по ряду моделей общей циркуляции атмосферы (Анисимов, 1999; Instanes et al., 2005). Полученные перспективные оценки зависят от используемого сценария изменения климата и заметно различаются между собой региональными деталями.

Все сценарии изменения климата дают довольно схожую картину изменений температуры воздуха в ближайшее десятилетие. Согласно оценкам Росгидромета (Материалы к стратегическому прогнозу..., 2005), к 2015 г. наибольшее повышение температуры холодных суток составит от 0,7–1,2°C на севере России и до 0,3–0,5°C на юге. На основании этого в работе (Александрова, 2006) сделан вывод об уменьшении продолжительности отопительного периода в России к 2015 г. на 1–4 суток. В этой же работе показано, что в предположении о повышении к концу XXI столетия температуры наиболее холодной пятидневки на северо-западе России на 2–3°C следует ожидать сокращения отопительного периода в этом регионе на 20–50 суток.

Перспективные оценки последствий изменения климата на более длительный период времени — до конца первой четверти и до середины XXI века — заметно различаются между собой, существенно зависят от выбранного сценария антропогенного воздействия на глобальный климат.

В работах (Ефимова и др., 1992; Ефимова, Байкова, 1994) на основе палеоаналоговых сценариев были построены карты, характеризующие сокращение продолжительности отопительного периода и дефицита тепла в Северном полушарии для конца первой четверти и до середины XXI века. Палеоаналоговые сценарии предполагали повышение к середине XXI века средней годовой глобально осредненной температуры воздуха в приповерхностном слое атмосферы по сравнению с 1990 г. на 2°C. Современные данные показывают, однако, что эти изменения едва ли превзойдут

величину 1,0–1,2°C. Таким образом, упомянутые выше оценки сокращения потребности в отоплении помещений являются несколько завышенными.

Более точные оценки могут быть получены с использованием современных сценариев антропогенного воздействия на глобальный климат и расчетов соответствующих изменений глобального климата с помощью моделей общей циркуляции атмосферы.

В Докладе по оценке последствий изменений климата в Арктике (Instanes et al., 2005) были получены оценки изменения продолжительности отопительного периода и дефицита тепла (см. определения показателей в разделе 2.1.2) для 2025, 2050 и 2080 гг. для сценария В2. При этом климат будущего рассчитывался с помощью пяти различных климатических моделей: CGCM2, HadCM3, ECHAM4, GFDL_R30 и CSM_1.4. Результаты расчетов для середины XXI века показаны на рис. 3.2.1 (для продолжительности отопительного периода) и 3.2.2 (для дефицита тепла). Оценки даны в процентах по отношению в норме за период 1961–1990 г.

В работе (Шерстюков, 2007) для оценки изменения продолжительности отопительного периода и дефицита тепла на территории России до 2025 и 2050 гг. по сравнению с нормой 1961–1990 гг. были использованы сценарные изменения климата, полученные в результате осреднения расчетов по трем моделям общей циркуляции: CGCM2, HadCM3 и ECHAM4. Во всех расчетах был использован сценарий эмиссии парниковых газов А2. Расчет двух исследуемых показателей, исходя из результатов моделирования климата будущего, проводился в соответствии с методикой, принятой Б. Г. Шерстюковым (см. раздел 2.1.2), которая отличается от использованной в работе (Instanes et al., 2005), в особенности в отношении затрат на отопление помещений. Результаты этих оценок представлены для продолжительности отопительного периода на рис. 3.2.3 и 3.2.4, а для затрат на отопление помещений — на рис. 3.2.5 и 3.2.6.

Сравнение результатов модельных оценок отопительного изменения продолжительности отопительного периода и затрат на отопление помещений в XXI веке, приведенных на рис. 3.2.1 и 3.2.2, указывают на существенную зависимость результатов оценки от климатической модели, с помощью которой проводился расчет будущего климата при принятом сценарии антропогенного воздействия на глобальный климат. На рисунках для одинаковых моментов времени в будущем видны явные различия не только в региональных деталях, но и в доминирующих тенденциях.

3. ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XXI В.

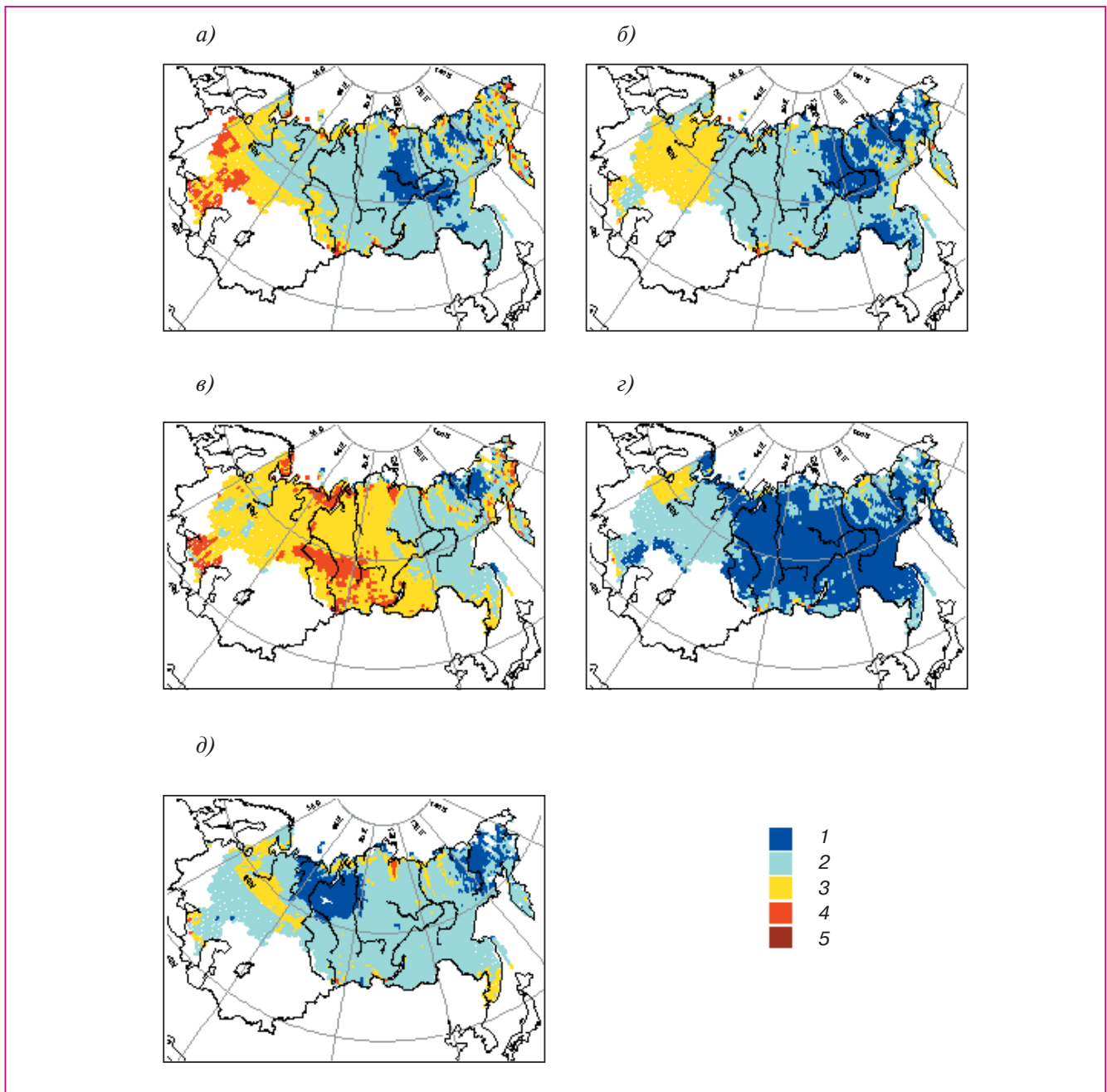


Рис. 3.2.1. Прогнозируемое изменение (%) продолжительности отопительного периода к 2050 г. по сравнению с нормой 1961–1990 г. (Instanes et al., 2005, с дополнениями О. А. Анисимова). а) модель CGCM2; б) HadCM3; в) ECHAM4; г) CSM_1.4; д) GFDLR30; 1) 1–5%; 2) 5–10%; 3) 10–15%; 4) 15–20%; 5) 20–100%.

Осредненные оценки, полученные с использованием мультимодельного среднего климата будущего (рис. 3.2.3–3.2.6), дают менее изменчивую в пространстве картину, обладающую меньшей мозаичностью. Эти результаты можно суммировать следующим образом. По сравнению с нормой 1961–1990 гг. на большей части территории России продолжительность отопительного периода

сократится не более чем на 5% к 2025 г. и на 5–10% к середине XXI века. На юге и западе Европейской территории России, в некоторых северных и дальневосточных районах (например, на Камчатке, Чукотке) ожидается уменьшение продолжительности отопительного периода в 1,5–2 раза больше, чем в среднем по стране. Прогнозируемые относительные изменения затрат на

3. ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XXI В.

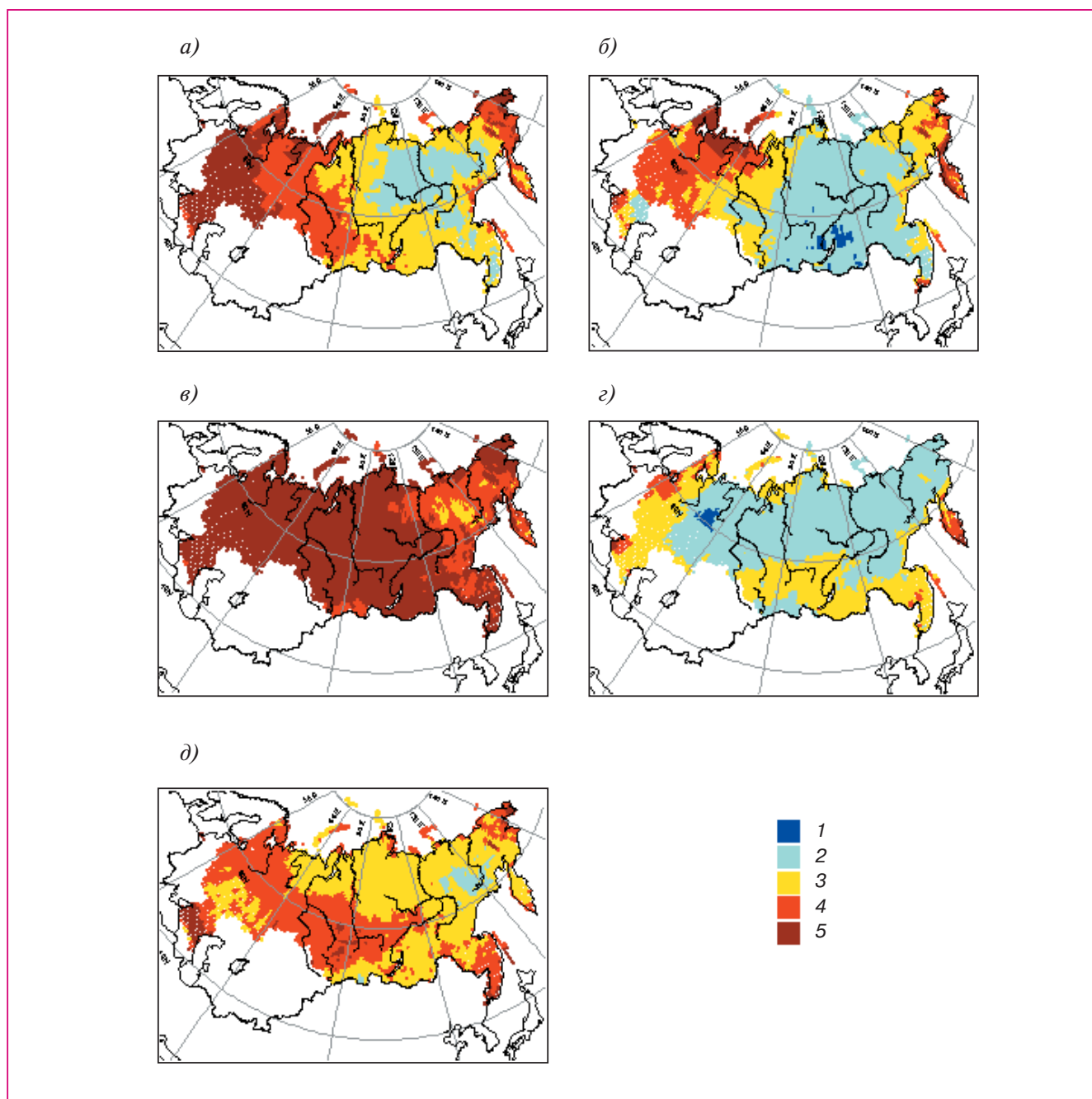


Рис. 3.2.2. Прогнозируемое изменение (%) дефицита тепла к 2050 г. по сравнению с нормой 1961–1990 г. (Instanes et al., 2005, с дополнениями О. А. Анисимова). Пояснения те же, что на рис. 3.2.1.

отопление помещений (индекс потребления топлива) имеют те же пространственные закономерности, но характеризуются приблизительно вдвое большими значениями.

Помимо отопительного сезона, который характеризует период низкой температуры, важную роль играет период наиболее высокой температуры. Она отрицательно влияет на здоровье людей, и кондиционирование помещений с целью пони-

жения температуры требует определенных затрат. Согласно оценкам А. А. Александровой (2006), к 2015 г. на территории России температура наиболее жарких суток календарного года заметно повысится, что приведет к увеличению затрат на кондиционирование (главным образом промышленных предприятий). Продолжительность периодов наиболее высокой температуры увеличится (рис. 3.2.7).

3. ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XXI В.

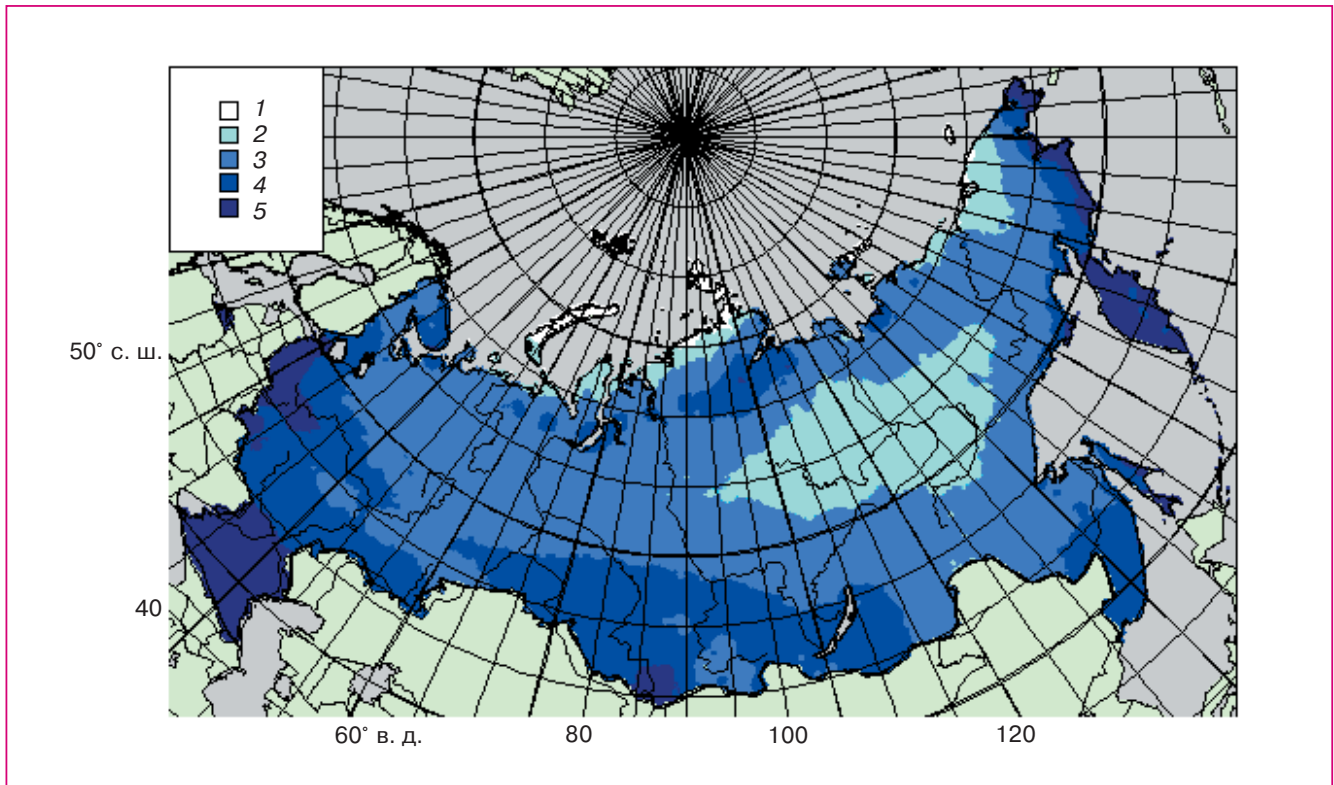


Рис. 3.2.3. Изменение (%) продолжительности отопительного периода на территории России к 2025 г. по сравнению с нормой 1961–1990 г. (Шерстюков, 2007). 1) 0...–1,9; 2) –2...–3,9; 3) –4...–5,9; 4) –6...–7,9; 5) –8...–10.

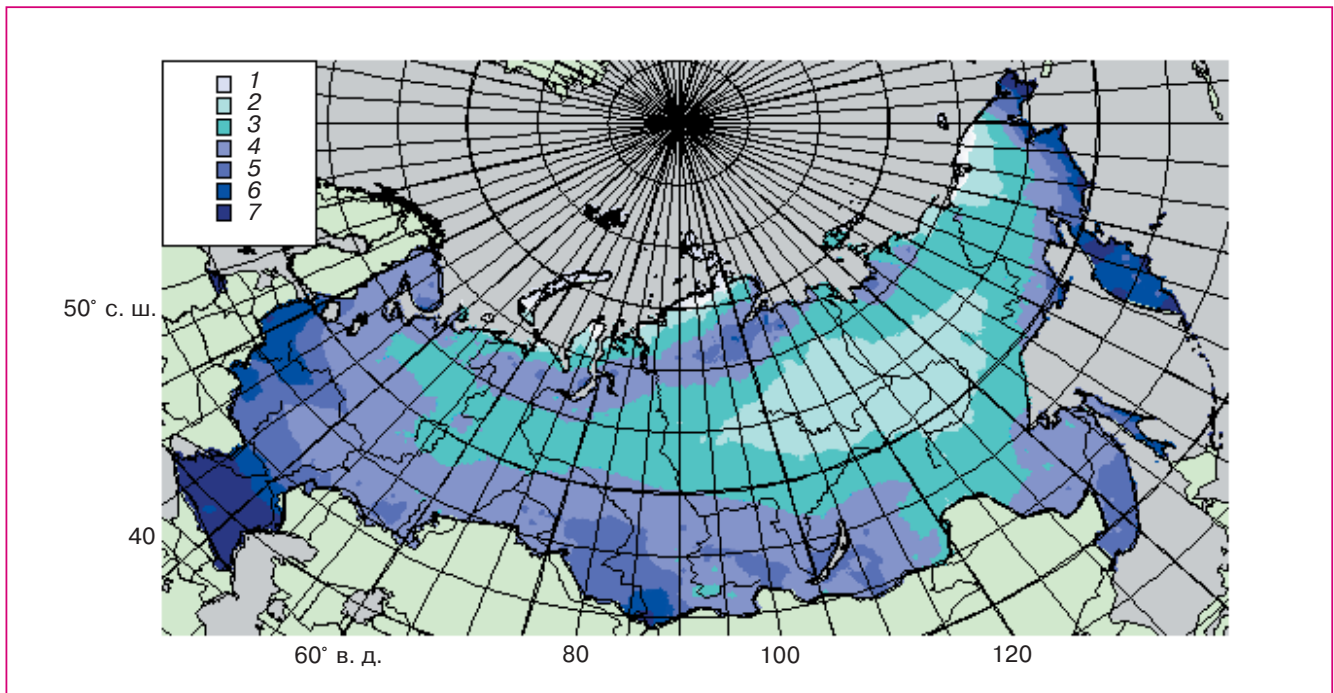


Рис. 3.2.4. Изменение (%) продолжительности отопительного периода на территории России к 2050 г. по сравнению с нормой 1961–1990 г. (Шерстюков, 2007). 1) 0...–3,9; 2) –4...–5,9; 3) –6...–7,9; 4) –8...–9; 5) –10...–11,9; 6) –12...–13,9; 7) –12...–14.

3. ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XXI В.

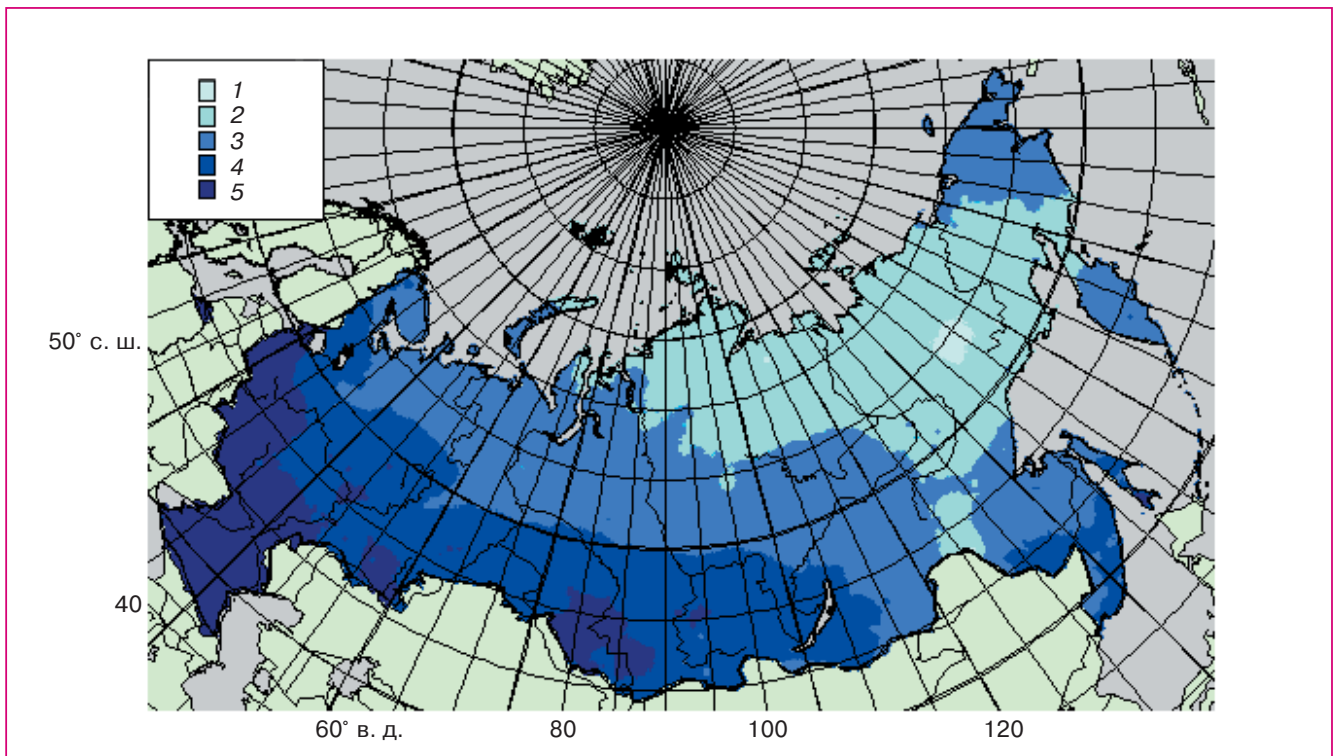


Рис. 3.2.5. Изменение (%) индекса потребления топлива на территории России к 2025 г. по сравнению с нормой 1961–1990 г. (Шерстюков, 2007). 1) –4...–5,9; 2) –6...–7,9; 3) –8...–9,9; 4) –10...–11,9; 5) –12...–14.

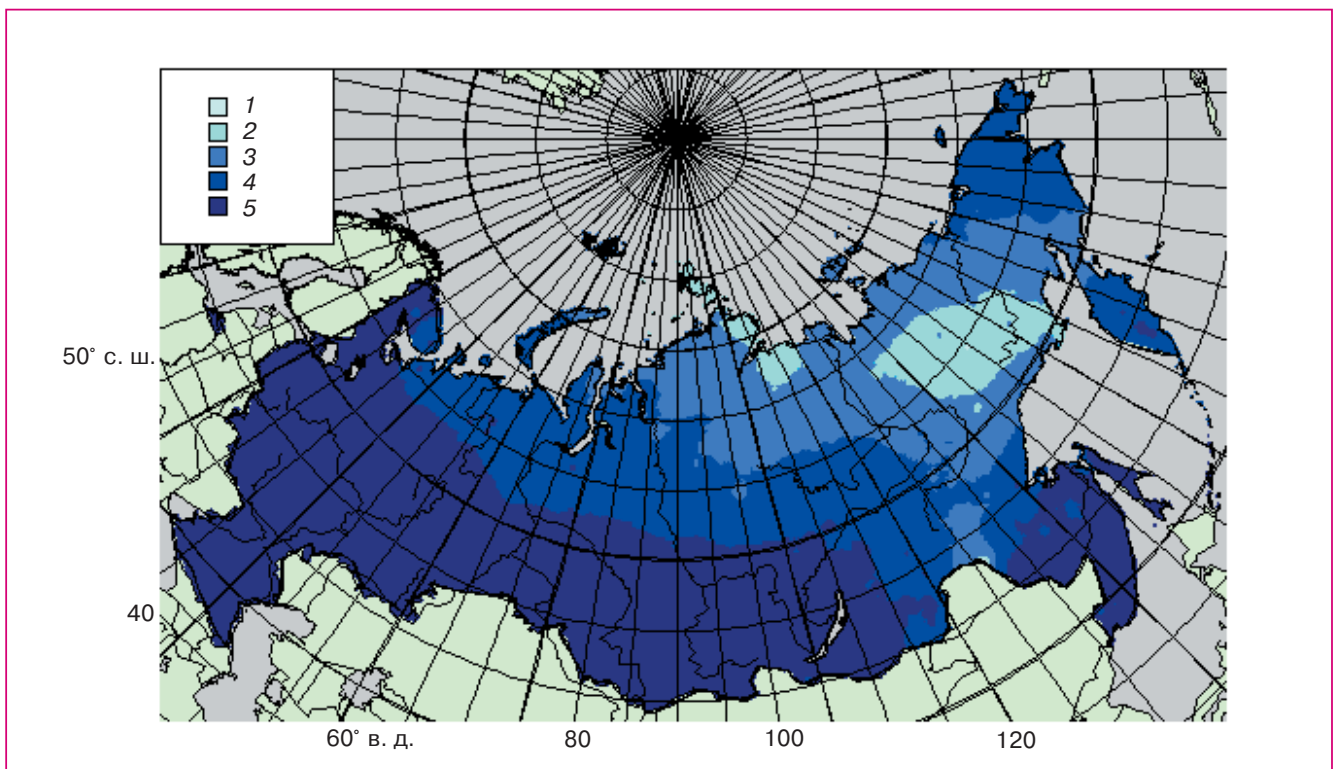


Рис. 3.2.6. Изменение (%) индекса потребления топлива на территории России к 2050 г. по сравнению с нормой 1961–1990 гг. (Шерстюков, 2007). 1) –6...–7,9; 2) –8...–9,9; 3) –10...–11,9; 4) –12...–13; 5) –14...–16.

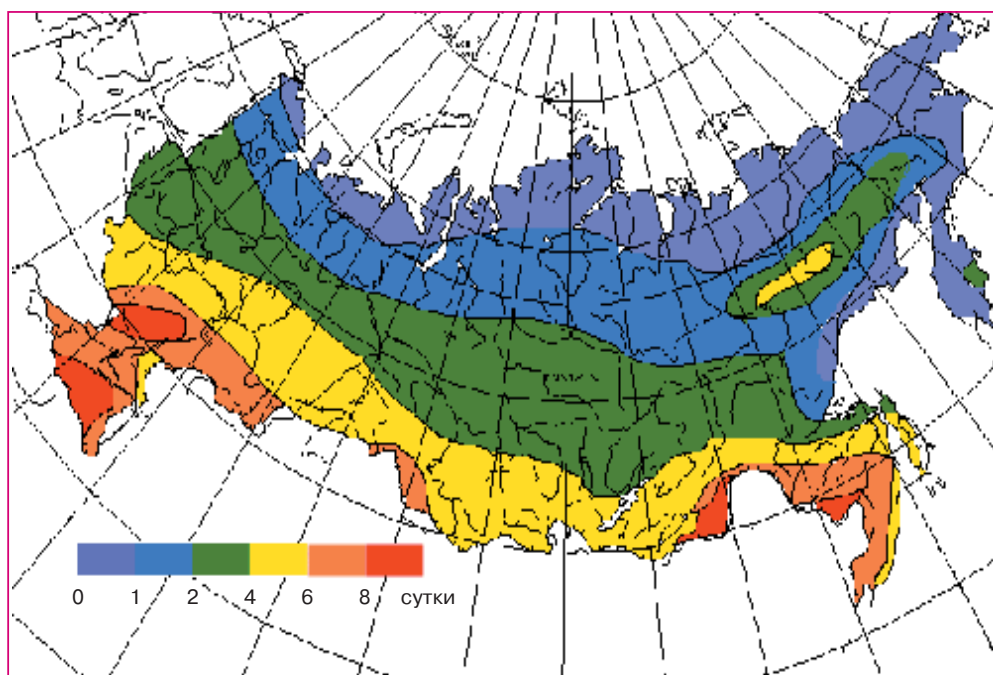


Рис. 3.2.7. Ожидаемое к 2015 г. увеличение максимальной продолжительности (сутки) периодов года с температурой выше 25°C (Материалы к стратегическому прогнозу..., 2005).

3.2.2. Механические воздействия на здания и сооружения

Увеличение повторяемости оттепелей и появление оттепелей в районах, где они ранее не наблюдались, приведет к сокращению долговечности зданий в северных районах в 2 раза (Кузнецов, Кобышева, 2004).

Вследствие изменения режима осадков и температуры воздуха в приповерхностном слое атмосферы существенно изменится режим накопления и таяния снега. Снеговые нагрузки должны существенно увеличиться на северной части территории России. Увеличение нагрузок, превышающих предусмотренные проектом, приведет к дополнительному риску разрушения зданий и сооружений.

Гололедные нагрузки в Северо-Западном федеральном округе увеличатся незначительно, так как здесь преобладает кристаллическая изморозь, и, хотя при потеплении повторяемость более плотных отложений увеличится, уменьшение скорости ветра не будет благоприятствовать росту плотных отложений. Аналогичная картина будет наблюдаться в Центральном, Уральском и в Сибирском федеральных округах. Гололедная нагрузка должна значительно увеличиться в Южном, Приволжском и Дальневосточном федеральных округах. На Дальнем Востоке произойдет увеличение отложения мокрого снега, и поэтому здесь возможно увеличение гололедной нагрузки, особенно значительное в прибрежных районах.

Ветровые нагрузки будут почти повсеместно уменьшаться. Судя по тенденциям уменьшения средних скоростей ветра последнего десятилетия XX века, увеличение ветровых нагрузок возможно лишь в некоторых районах Восточной Сибири (рис. 3.2.8).

Увеличение межлетних расходов и уровней воды в реках в условиях уменьшения промерзания почвогрунтов будет способствовать повышению уровня грунтовых вод и подтоплению равнинных территорий Европейского севера, северо-запада и Верхней Волги, что приведет к серьезным негативным последствиям, в частности к ускорению деформации и разрушению фундаментов разного рода зданий и технических сооружений.

Главная опасность подтоплений состоит в воздействии на фундаменты и ослаблении несущей способности окружающих их грунтов, что со временем может вызывать деформацию зданий и технических сооружений (вплоть до разрушения). Заметим, что от подтопления серьезно страдают ценнейшие исторические памятники и архитектурные ансамбли Русского севера и Золотого кольца (Государственный доклад..., 2006).

Водонасыщение грунтов негативно скажется на их технических свойствах, что затруднит производство строительных работ и эксплуатацию сооружений, приведет в конечном итоге к существенному росту эксплуатационных расходов. Подтопление городов, расположенных на лессовых породах, вызовет просадки. В лессах они

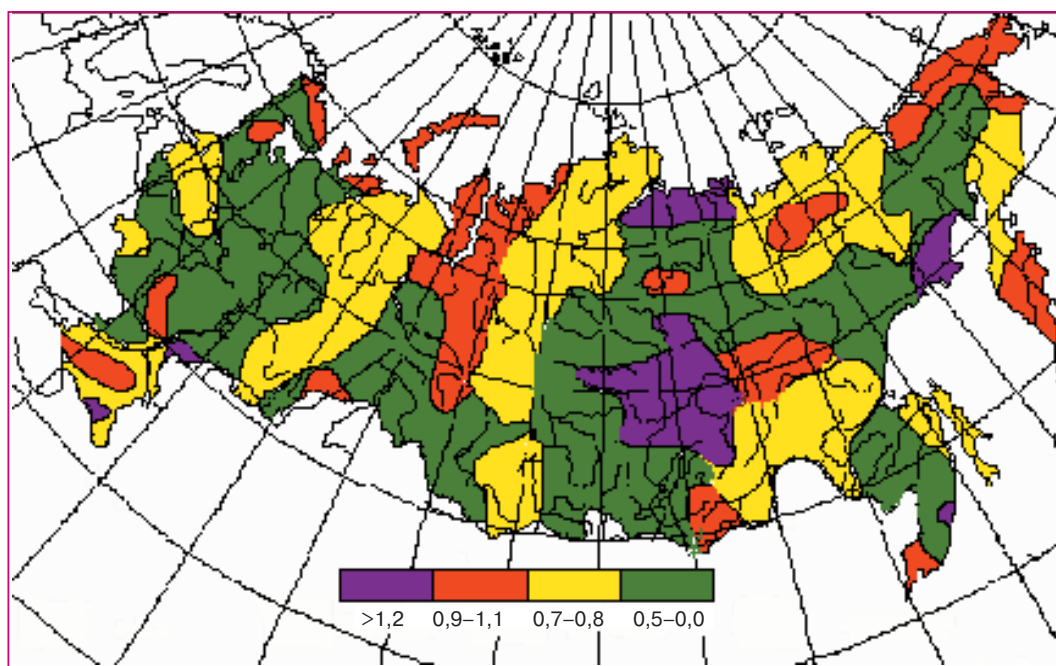


Рис. 3.2.8. Отношение ветровой нагрузки за последнее десятилетие XX века к ее среднему многолетнему значению в 1961–2000 гг. (Материалы к стратегическому прогнозу..., 2005).

возникают даже при незначительном (2–5%) увеличении влажности. Их величина может меняться в широких пределах — от 0,1 до 2,5–3 м. Просадки лессовых грунтов, оседание поверхности земли вызывают деформацию зданий и технических сооружений и последующее их разрушение. Такие тенденции уже наметились. Так, в Запорожье от просадок лессов уже деформировано 900 зданий.

Изменение гидрогеологических условий в связи с подтоплением приводит к трансформации карстовых процессов. Техногенный карст отличается от природного меньшей глубиной и площадью распространения, большей скоростью развития и интенсивностью проявления карстовых форм. Он может возникать там, где раньше не проявлялся, но где имеются растворимые горные породы. Формы проявления техногенного карста самые различные — от повышенной трещиноватости и квернозности до возникновения провалов.

В России проложено около 50 тыс. км нефтепроводов и около 150 тыс. км газопроводов, пересекающих многие сотни и тысячи рек. Безаварийная эксплуатация переходов трубопроводов через реки во многом определяется деформациями дна и берегов реки, которые в свою очередь зависят от режима речного стока. Ожидаемые в связи с изменением климата увеличение годового и сезонного стоков, изменение ледового режима могут интенсифицировать размыв русел и приве-

сти к более раннему наступлению аварийных ситуаций на подводных участках трубопроводов, к созданию предпосылок экологических катастроф при разрыве трубопроводов и разливе нефти и выбросе газа. Ситуация обостряется тем, что многие трубопроводы построены еще до 1980-х годов, и проектный срок их эксплуатации, рассчитанный для условий стационарного климата, практически заканчивается.

Места наиболее проблемных подводных переходов трубопроводов расположены в Приволжском федеральном округе в бассейнах Верхней и Средней Волги, на малых и средних реках (области Нижегородская, Оренбургская, Самарская, Саратовская, Ульяновская, Пермский край, Республики Башкортостан, Марий Эл, Мордовия, Татарстан, Удмуртия и Чувашия); во всех субъектах Российской Федерации Южного федерального округа; в Тюменской области Уральского федерального округа; в Красноярском крае, в областях Новосибирская, Омская, Томская, Иркутская Сибирского федерального округа; в Хабаровском крае и в Сахалинской области Дальневосточного федерального округа.

3.2.3. Сухопутный транспорт

В связи с дальнейшим потеплением при участии заморозков и оттепелей увеличится повторяемость гололедицы на дорогах. Прежде всего, это относится к большей части территории Севе-

3. ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XXI В.

ро-Западного, Центрального, Уральского и Приволжского федеральных округов, а также к центральным частям Сибирского и Дальневосточного федеральных округов.

В высоких широтах в отдельные месяцы начала и конца зимы могут таять “зимники”, создавая опасность для движения по дорогам.

На юге Уральского и Сибирского федеральных округов возможно увеличение повторяемости пыльных бурь, а также схода снежных лавин, что также увеличивает риски для наземного транспорта.

3.2.4. Состояние зданий и сооружений в районах многолетней мерзлоты

В связи с ожидаемым потеплением на территории России в XXI веке серьезную опасность может представлять дальнейшее уменьшение прочности и ослабление несущей способности фундаментов из-за деградации многолетнемерзлых грунтов (далее называемых многолетней мерзлотой). Так, по данным работы (Weller and Lange, 1999), их несущая способность будет заметно уменьшаться при увеличении температуры воздуха в приповерхностном слое атмосферы в диапазоне от 0,5

до 2,0°C по отношению к значениям конца XX века. Это приведет, в частности, к уменьшению ресурса фундаментов зданий и сооружений в некоторых районах Крайнего Севера (табл. 3.2.1).

Оценка возможных региональных проявлений этой тенденции выполнена с помощью индекса геокриологической опасности I_r (см. раздел 3.1.2). При расчете индекса геокриологической опасности были использованы данные о современных месячных нормах температуры воздуха и осадков, данные о процентном содержании льда в мерзлом грунте (один из входных параметров для оценки) в узлах регулярной сетки с шагом $0,5 \times 0,5^\circ$, а также перспективные оценки изменения температуры и осадков для середины XXI века, полученные по нескольким климатическим моделям. Методика расчетов, исходные данные и результаты описаны в ряде публикаций (Nelson et al., 2001, 2002; Анисимов, Белолуцкая, 2002; Анисимов, Лавров, 2004). Данные о процентном содержании льда в мерзлом грунте представляют собой электронный вариант геокриологической карты Международной ассоциации мерзлотоведения (Brown et al., 1997).

На рис. 3.2.9 приведена перспективная оценка геокриологической опасности, связанной с таяни-

Таблица 3.2.1. Уменьшение ресурса фундаментов строений в зависимости от года постройки по данным Л. Н. Хрусталева, опубликованным в работе (Weller and Lange, 1999)

Год постройки	Доля построек, выработавших свой ресурс прочности, %				
	1990	2000	2010	2020	2030
Воркута					
1950	10	18	39	44	60
1960	9	17	31	43	60
1970	7	15	29	42	59
1980	3	12	26	40	57
1990	0	9	24	38	56
Тикси					
1950	9	23	63	90	98
1960	7	20	62	90	98
1970	4	18	61	90	98
1980	2	16	60	90	98
1990	0	14	60	90	98
Якутск					
1950	8	28	72	94	100
1960	6	27	72	94	100
1970	4	25	71	94	100
1980	2	24	71	94	100
1990	0	22	70	94	100

3. ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XXI В.

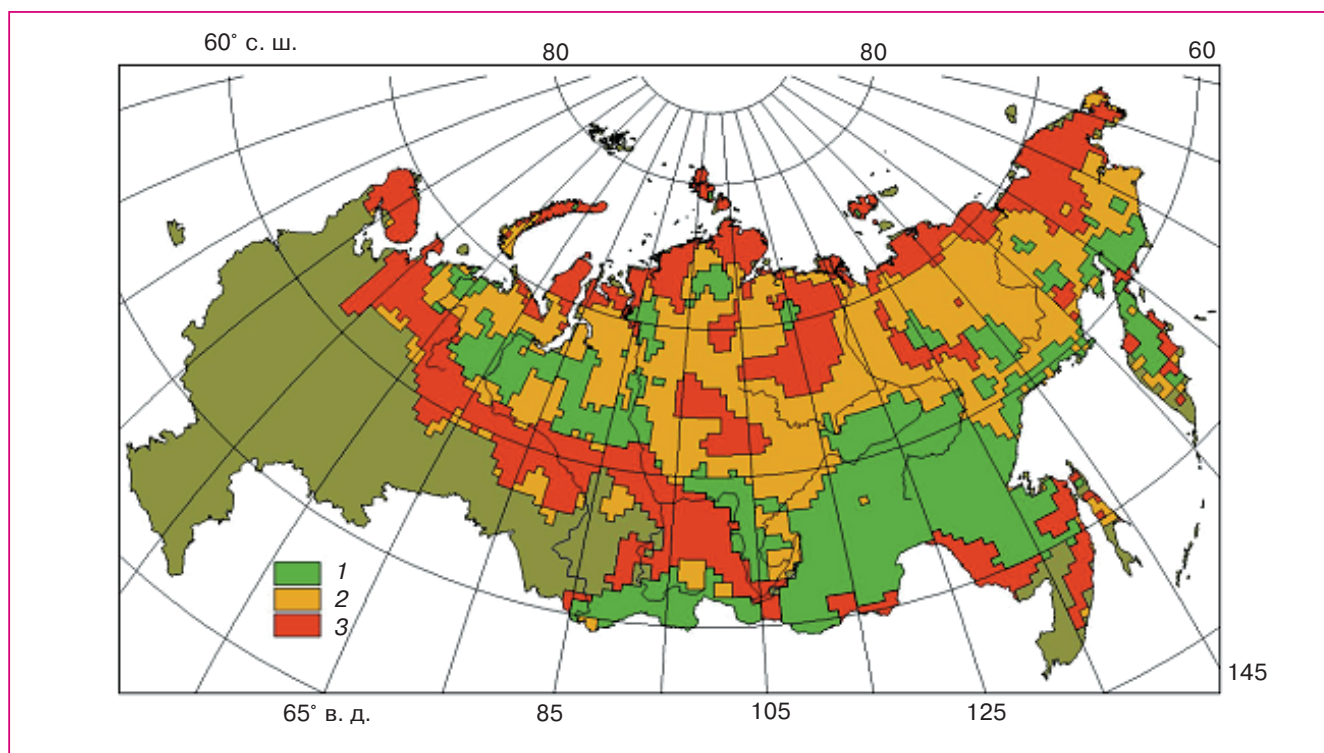


Рис. 3.2.9. Перспективная оценка геокриологической опасности, связанной с таянием многолетней мерзлоты, для середины XXI века; использованы сценарий В1 и климатическая модель GFDL. 1 — устойчивая область, 2 — зона умеренных рисков, 3 — зона высокой геокриологической опасности.

ем многолетней мерзлоты и угрозой повреждения стоящих на ней зданий и сооружений. Расчет для середины XXI века проводился с использованием сценария В1 и модели GFDL. При использовании других известных сценариев антропогенного воздействия на глобальный климат и моделей получаются близкие результаты.

В область наибольших значений индекса геокриологического риска попадают Чукотка, бассейны верхнего течения Индигирки и Колымы, юго-восточная часть Якутии, значительная часть Западно-Сибирской равнины, побережье Карского моря, Новая Земля, а также часть островной мерзлоты на севере европейской территории. В этих районах имеется развитая инфраструктура, в частности газо- и нефтедобывающие комплексы, система трубопроводов Надым — Пур — Таз на северо-западе Сибири, Билибинская атомная станция и связанные с ней линии электропередач от Черского на Колыме до Певека на побережье Восточно-Сибирского моря.

Деградация многолетней мерзлоты на побережье Карского моря может привести к значительному усилению береговой эрозии, в результате которой в настоящее время берег ежегодно отступает (см. раздел 2.8). Особую опасность представляет ослабление многолетней мерзлоты на Новой Зем-

ле в зонах расположения хранилищ радиоактивных отходов. В то же время на обширных территориях Якутии и Западной Сибири запас надежности инженерных сооружений и построек на многолетней мерзлоте, рассчитанных на эксплуатацию в современных климатических условиях, уменьшится незначительно.

В северной части зоны высокого риска наибольшую опасность представляет возможное повреждение фундаментов домов и сооружений на многолетней мерзлоте из-за уменьшения ее несущей способности.

В южной части зоны высоких рисков потенциальные опасности связаны главным образом с возможными неравномерными просадками грунта за счет таяния льда и выносом протаивающего материала с образованием термокарстовых просадочных воронок. Наибольшую опасность это представляет для линейных сооружений (дорог, взлетно-посадочных полос, трубопроводов), пересекающих участки с интенсивным развитием термокарста.

Все сказанное относится также и к районам умеренной геокриологической опасности, при этом интенсивность и пространственные масштабы деструктивных процессов в них будут меньше.

3.2.5. Литература

- Александрова А. А., 2006. Климатологическое обеспечение теплового режима зданий на северо-западе Европейской территории России, Автореферат на соискание ученой степени кандидата географических наук, СПб, 25 с.
- Анисимов О. А., 1999. Влияние антропогенного изменения климата на обогрев и кондиционирование зданий, Метеорология и гидрология, № 6, с. 10–17.
- Анисимов О. А., Белолуцкая М. А., 2002. Оценка влияния изменения климата и деградации вечной мерзлоты на инфраструктуру в северных регионах России, Метеорология и гидрология, № 6, с. 15–22.
- Анисимов О. А., Лавров С. А., 2004. Глобальное потепление и таяние вечной мерзлоты: оценка рисков для производственных объектов ТЭК, Технологии ТЭК, № 3, с. 78–83.
- Государственный доклад “О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2005 году”, 2006. М., АНО “Центр международных проектов”, 500 с.
- Ефимова Н. А., Байкова И. М., Лаперье В. С., 1992. Влияние потепления климата на режим отопления зданий, Метеорология и гидрология, № 12, с. 95–98.
- Ефимова Н. А., Байкова И. М., 1994. Влияние потепления зимних сезонов на расход топлива, Метеорология и гидрология, № 5, с. 91–93.
- Кузнецов Е. П., Кобышева Н. В., 2004. Качество теплоснабжения городов, СПб, ПЭИПК, 293 с.
- Материалы к стратегическому прогнозу изменений климата Российской Федерации на период до 2010–2015 гг. и их влияние на отрасли экономики России, 2005. М., Росгидромет, 28 с.
- Шерстюков Б. Г., 2007. Климатические условия отопительного периода в России в XX и XXI веках, Труды ГУ ВНИИГМИ-МЦД, вып. 173, с. 163–170.
- Brown J., Ferrians O. J., Heginbottom J. A., and Melnikov E. S., 1997. Circum-Arctic map of permafrost and ground ice conditions, Circum-Pacific Map Series.
- Instanes A., Anisimov O., Brigham L., Goering D., Ladanyi B., Larsen J. O., and Khrestalev L. N., 2005. Infrastructure: Buildings, support systems, and industrial facilities, in: Arctic Climate Impact Assessment, ACIA, Ch. 16, Cambridge, Cambridge University Press.
- Nelson F. E., Anisimov O. A., and Shiklomanov N. I., 2001. Subsidence risk from thawing permafrost, Nature, No. 410, pp. 889–890.
- Nelson F. E., Anisimov O. A., and Shiklomanov N. I., 2002. Climate change and hazard zonation in the circum-Arctic permafrost regions, Natural Hazards, vol., 26, No. 3, pp. 203–225.
- Weller G. and Lange M. (eds.), 1999. Impacts of global climate change in the Arctic regions, Report from a Workshop on the Impacts of Global Change, Center for Global Change and Arctic System Research, University of Alaska, Fairbanks, Tromse, Norway, 59 p.

3.3. СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО

Ведущий автор: О. Д. Сиротенко

Авторы: Е. В. Абашина, В. Н. Павлова, Е. Н. Попова, В. А. Романенков

Редактор-рецензент: А. И. Страшная

3.3.1. Общие замечания

Вопрос об оценке изменений климата для сельского хозяйства был поставлен еще в середине 1970 г. по инициативе М. И. Будыко и Ю. А. Израэля. В этой связи Г. В. Менжулиным (1984) и другими исследователями выполнен цикл методических и оценочных исследований, опирающихся на палеоклиматические сценарии изменения климата, которые не потеряли своего значения и в настоящее время (Будыко, Израэль, 1987; Будыко и др., 1991). В дальнейшем использовались главным образом сценарии, рассчитанные по моделям теории климата, а также привлекались динамические модели “Погода — урожай”, с помощью которых получены перспективные оценки влияния изменений климата на сельское хозяйство России (Сиротенко и др., 1990; Сиротенко, Абашина, 1994;

Сиротенко, Павлова, 1994; Сиротенко и др., 1995; Сиротенко, Абашина, 1998; Сиротенко, 2005).

Наиболее полной глобальной сводкой результатов исследований по проблеме является Третий оценочный доклад МГЭИК, вклад Рабочей группы II (Climate Change 2001, 2001). Имеющиеся там оценки развиты и уточнены во вкладе Рабочей группы II в Четвертый оценочный доклад МГЭИК (Climate Change, 2007, 2007a, 2007b). В последнее время появились также новые значительные оригинальные работы в этой области — по оценке влияния изменений климата на мировое сельское хозяйство (Lobell and Field, 2007) и для стран Европы и США (Александров, 2006).

3.3.2. Ожидаемые изменения агроклиматических ресурсов и продуктивности сельского хозяйства

Детальные данные о возможных изменениях агроклиматических условий на Европейской территории России к 2030 г. при реализации сценария

3. ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XXI В.

рия A1FI, предполагающего быстрое увеличение содержания CO₂ в атмосфере в результате интенсивного использования ископаемых видов топлива, представлены в табл. 3.3.1. Для расчета агроклиматических показателей, соответствующих этому сценарию, использовалась климатическая модель HadCM3. При реализации сценария A1FI ожидается существенное увеличение температуры воздуха как зимой, так и летом в приповерхностном слое атмосферы — на 3,7–3,8°C к 2030 г. Континентальность климата при этом практически не изменится. Содержание CO₂ в атмосфере к 2030 г. увеличится на 29% от уровня начала XXI века. Увеличение испарения за теплый период года значительно превысит рост осадков. Увеличение испаряемости приведет к значительному росту дефицита испарения (разности между потенциальным испарением и фактическим испарением).

В рамках рассматриваемого сценария увеличится повторяемость засух на ЕТР к 2030 г., о чем свидетельствует практически повсеместное уменьшение значений гидротермического коэффициента (ГТК). Это будет сопровождаться уменьшением влагозапасов почвы в теплый период года (см. табл. 3.3.1). Тем не менее ожидаемое уменьшение влагозапасов не затронет, по-видимому, засушли-

вых районов Поволжья, о чем свидетельствует некоторое увеличение минимальных влагозапасов почвы в этом регионе в июле.

Ожидаются следующие значимые для сельского хозяйства изменения агроклиматических показателей в среднем для ЕТР: продолжительность вегетационного периода увеличится на 26 суток, сумма температур больше 10°C за календарный год повысится на 778°C, годовая сумма осадков увеличится на 26 мм, увеличение фактического испарения составит 40 мм, а испаряемости — 140 мм за вегетационный период (см. табл. 3.3.1).

Рассмотренные выше изменения климата на ЕТР, описываемые моделью HadCM3, можно охарактеризовать как потепление аридного типа.

Однако на ЕТР возможно также изменение климата иного характера — потепление гумидного типа. Оно описывается региональной моделью климата ГГО (Школьник и др., 2006). Следует отметить, что наблюдаемые до настоящего времени изменения климата на территории России более соответствуют такому типу потепления. В табл. 3.3.2 приведены характеристики климата ЕТР в 2040 г., соответствующие потеплению аридного и гумидного типов. Приращение средней температуры воздуха в январе в обоих случаях отличается

Таблица 3.3.1. Изменения агроклиматических условий на ЕТР к 2030 г. — отклонения от условий последнего десятилетия XX века — при реализации сценария A1FI; климатическая модель — HadCM3 (Сиротенко, Грингоф, 2006)

Регион	Агроклиматические показатели								
	средняя температура воздуха, °С		сумма среднесуточных температур больше 10°C, °С	продолжительность вегетационного периода, сутки	сумма осадков за год, мм	испарение, мм		ГТК, мм/°С	влагозапасы почвы в июле, мм
	июль	январь				фактическое	потенциальное		
Северный	3,2	4,3	684	29	46	94	198	-0,42	-29
Северо-Западный	3,0	3,9	724	31	88	136	206	-0,28	-26
Калининградский	2,8	3,2	806	39	85	102	206	-0,34	-45
Центральный	3,4	3,9	748	29	48	43	157	-0,32	-25
Волго-Вятский	3,6	4,1	719	25	32	40	158	-0,22	-17
Центрально-Черноземный	3,9	3,9	841	27	53	6	104	-0,28	-10
Поволжье, север	3,9	3,9	788	24	30	12	104	-0,25	3
Поволжье, юг	3,8	3,8	837	22	36	15	74	-0,13	3
Северо-Кавказский	4,1	3,4	913	26	26	20	73	-0,11	-6
Уральский	3,9	3,8	759	24	21	34	165	-0,28	-15
ЕТР в целом	3,7	3,8	778	26	37	40	141	-0,25	-14

3. ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XXI В.

лишь на 0,4°C, тогда как повышение средней июльской температуры при аридном потеплении составляет 5,1°C, а при гумидном — 1,3°C. Гумидное потепление, предполагающее значительное уменьшение континентальности климата, гораздо более благоприятно для сельского хозяйства России, чем аридное (табл. 3.3.2).

Перспективные оценки возможных изменений урожайности зерновых и кормовых культур в XXI веке для разных вариантов гумидного и аридного потепления с учетом прямого влияния роста содержания CO₂ в атмосфере на продуктивность агроэкосистем представлены в табл. 3.3.3 и 3.3.4. Данные табл. 3.3.3 получены в рамках сценария удвоения концентрации CO₂ к концу XXI века по сравнению с уровнем конца XX века (для расчета климата будущего использована климатическая модель GFDL). Данные табл. 3.3.4 получены в рамках сценариев A1FI и B2 (в обоих случаях расчетная климатическая модель — HadCM3). Первые из этих данных можно рассматривать как верхние, а полученные в рамках сценария A1FI — как нижние границы ожидаемых изменений продуктивности растениеводства в соответствующих регионах.

При реализации потепления гумидного типа, благоприятного для сельского хозяйства России, следует ожидать роста урожайности, по крайней мере, до середины текущего столетия (Израэль, Сиротенко, 2003). В дальнейшем климатические условия для производства зерна, особенно на территории Черноземной зоны, по-видимому, будут ухудшаться. Климатообусловленная урожайность зерновых к концу столетия по сравнению с его серединой может снизиться до современного уровня или ниже. При этом урожайность зерновых на территории Нечерноземной зоны превысит современную на 11–29%, тогда как урожайность на территории Черноземной зоны будет ниже современного уровня на 10–13%, т. е. ожидается перераспределение урожайности в пользу Нечерноземной зоны. Наиболее значительным при этом ожидает-

ся снижение урожайности зерновых культур на юге Сибири — на 23–24%.

Потепление климата, оцениваемое как аридное, менее благоприятно для сельского хозяйства России. При реализации таких сценариев, как A1FI и B2, уже к 2010 г. (см. табл. 3.3.4) можно ожидать уменьшения климатообусловленной урожайности зерновых культур на 20–25% на Северном Кавказе и на 10–15% в Поволжье и на Урале. При этом (в отличие от гумидного потепления) в будущем не ожидается заметного климатообусловленного роста урожайности в целом на ЕТР. К 2010 г. дефицит производства зерна в России, равный 7–8%, будет только увеличиваться и к 2050 г. достигнет 16–17%. Обращает на себя внимание возможное значительное падение урожайности зерновых в основных зонах производства товарного зерна уже к 2010 г.

Для получения перспективных оценок влияния изменений климата на сельское хозяйство возможно также использовать метод агроклиматических аналогов (Сиротенко, Павлова, 2003), который применялся ранее для обоснования интродукции новых видов растений. В нем будущие климатические условия задаются в соответствии с результатами расчетов с помощью глобальных климатических моделей (HadCM3 и GFDL), на вход которых подаются определенные сценарии антропогенного воздействия на состав атмосферы. Агроклиматические условия характеризуются суммой температур больше 10°C за календарный год, дефицитом испарения за теплый период года и средней температурой самого холодного месяца. С помощью этих величин установлены современные агроклиматические аналоги для разных территорий с климатом 2020–2030 гг. и климатом 2050–2060 гг. Обнаружено, что современные аналоги рассматриваемых сценариев изменения климата “смещаются” с юго-запада на северо-восток Русской равнины.

В табл. 3.3.5 представлены агроклиматические аналоги областей и республик Российской Феде-

Таблица 3.3.2. Сравнительные оценки изменений климата при двух типах потепления

Тип потепления	Средняя температура воздуха, °C		Сумма среднесуточных температур больше 10°C, °C	Продолжительность вегетационного периода, сутки
	июль	январь		
Аридный (сценарий A1FI, климатическая модель HadCM3)	5,1	5,2	1094	34
Гумидный (региональная модель ГГО)	1,3	4,8	266	13

3. ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XXI В.

Таблица 3.3.3. Изменение урожайности сельскохозяйственных культур (% уровня последнего десятилетия XX века) при возможном увеличении содержания CO₂ в атмосфере и изменении климата (Израэль, Сиротенко, 2003)

Экономический район	XXI век, годы					
	30–40	60–70	90–100	30–40	60–70	90–100
	Зерновые культуры			Кормовые культуры		
Северный	26	24	13	22	32	31
Северо-Западный	22	12	22	21	24	30
Калининградский	34	25	29	22	22	20
Центральный	27	25	13	19	24	17
Волго-Вятский	20	26	11	21	30	19
Центрально-Черноземный	15	15	-7	20	24	7
Поволжье, север	16	19	-10	24	30	8
Поволжье, юг	7	30	20	5	14	1
Северо-Кавказский	-6	-7	-13	2	3	-7
Уральский	11	16	-7	14	28	17
Западно-Сибирский	-7	-1	-23	6	19	1
Восточно-Сибирский	-12	-18	-24	0	0	-4
Дальневосточный	10	12	5	6	13	7
Россия в целом	11	14	-1	13	21	11

Таблица 3.3.4. Изменение урожайности сельскохозяйственных культур (% уровня последнего десятилетия XX века) в первую половину XXI века при реализации сценариев A1FI и B2, модель HadCM3 (Сиротенко, Грингоф, 2006)

Регион ЕТР	Зерновые культуры					Кормовые культуры				
	2010	2020	2030	2040	2050	2010	2020	2030	2040	2050
Сценарий A1FI										
Северный	4,8	7,1	6,6	6,3	9,1	5,6	6,0	14,5	18,4	17,9
Северо-Западный	4,0	7,9	8,2	10,5	9,2	8,1	13,3	17,4	21,6	22,9
Центральный	-1,9	-0,8	0,2	-1,3	-6,7	1,0	3,4	5,0	4,6	-0,7
Волго-Вятский	-5,6	-6,8	-5,2	-8,2	-13,0	0,9	2,8	4,1	3,2	-0,9
Центрально-Черноземный	-6,9	-14,1	-19,1	-26,9	-34,0	-7,2	-7,5	-12,4	-19,3	-24,9
Поволжье, север	-12,9	-13,3	-13,9	-27,4	-40,0	-1,5	-2,6	-4,1	-9,6	-22,9
Поволжье, юг	-3,0	-1,3	2,2	1,0	3,1	-8,0	-8,7	-9,0	-11,5	-12,5
Северо-Кавказский	-22,1	-23,8	-26,4	-25,9	-19,0	-12,7	-14,4	-17,1	-21,3	-24,9
Уральский	-14,2	-15,9	-19,0	-26,4	-32,0	-1,5	-0,4	0,5	-1,5	-10,1
ЕТР в целом	-8,1	-8,6	-9,3	-13,2	-17,0	-2,0	-1,0	-0,4	-2,1	-7,4
Сценарий B2										
Северный	5,3	3,6	3,6	2,1	4,5	4,6	5,0	11,0	12,1	11,9
Северо-Западный	3,8	4,1	2,6	3,1	6,0	8,8	11,9	13,2	15,3	16,4
Центральный	-1,5	-1,8	-3,8	-4,8	-4,8	1,3	2,1	0,8	1,2	0,0
Волго-Вятский	-4,2	-9,4	-10,0	-11,4	-11,0	1,2	-0,9	-1,5	-1,3	-0,6
Центрально-Черноземный	-7,6	-13,8	-20,4	-24,4	-28,0	-7,4	-11,2	-16,0	-20,4	-24,0
Поволжье, север	-12,3	-12,4	-17,6	-26,4	-33,0	-2,8	-4,9	-8,4	-10,9	-15,0
Поволжье, юг	-4,6	-1,4	-2,3	-3,1	0,2	-8,5	-10,2	-14,1	-14,1	-14,0
Северный Кавказ	-19,6	-24,8	-28,1	-27,3	-26,0	-13,0	-16,9	-20,6	-23,2	-26,8
Уральский	-13,8	-17,9	-22,0	-26,2	-31,0	-1,3	-2,6	-4,4	-4,9	-6,3
ЕТР в целом	-7,7	-10,0	-12,8	-15,2	-16,0	-2,0	-3,2	-4,9	-5,4	-6,7

3. ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XXI В.

рации при изменении климата к 2020–2030 гг. (расчетная климатическая модель — HadCM3; сценарий существенного значения не имеет из-за “краткосрочности” перспективной оценки). Показатель K характеризует степень близости агроклиматических условий по указанным выше показателям. Из данных работы (Сиротенко, Павлова, 2003) следует, что при установлении климатических аналогов, согласно табл. 3.3.5, биоклиматический потенциал территории Нечерноземной зоны ЕТР увеличится в среднем на 23%. Максимальное увеличение продуктивности ожидается в Ленинградской области — на 36% при реализации там современного климата Ивано-Франковской области (Украина), наименьшее (на 10%) — в Тамбовской области при реализации там современных агроклиматических условий, характерных для Черкасской области (Украина).

Пространственно-временные аналоги будущих агроклиматических условий могут давать такую информацию о влиянии климата на сельское хозяйство, которую трудно или невозможно получить другими методами. Вместе с тем рассмотренный подход имеет ряд ограничений. Аналог по определению не полностью адекватен оригиналу, степень их отличия оценивается коэффициентом K . Поэтому при интерпретации полученных этим методом результатов необходимо проявлять опре-

деленную осторожность. Найденные пространственные аналоги будущих агроклиматических условий могут значительно отличаться от оригиналов по почвенным условиям, во многом определяющим эффективность современного сельскохозяйственного производства России, но влияние различий почвенных условий уменьшится по мере интенсификации земледелия.

3.3.3. Возможные изменения размещения сельскохозяйственных культур

При развитии глобального потепления создаются условия для изменения физико-географической зональности территории России (Сиротенко, Абашина, 1998). При дальнейшем глобальном потеплении (сценарий — удвоение концентрации CO_2 за XXI век, модели — GFDL и CCC) северная граница земледелия на ЕТР (определяется изолинией 1000°C для суммы среднесуточных значений температуры воздуха больше 10°C за календарный год) к середине XXI столетия приблизится к Арктическому побережью; оценка получена в предположении об удвоении концентрации CO_2 за XXI век. При этом площадь земледельческой зоны России увеличится на 4,7–4,8 млн. км², т. е. примерно в 1,5 раза. Изолиния 2200°C для суммы температур больше 10°C определяет северную грани-

Таблица 3.3.5. Агроклиматические аналоги областей и республик Российской Федерации при изменении климата к 2020–2030 гг., модель HadCM3 (Сиротенко, Павлова, 2003)

Область, республика	Агроклиматический аналог							K
	будущие условия			Область, республика	современные условия ³			
	$\sum T_{T > 10^\circ\text{C}}, ^\circ\text{C}$	$\Delta E, \text{ мм}$	$T_{\text{min}}, ^\circ\text{C}$		$\sum T_{T > 10^\circ\text{C}}, ^\circ\text{C}$	$\Delta E, \text{ мм}$	$T_{\text{min}}, ^\circ\text{C}$	
Ленинградская	2054	61	-5,8	Ивано-Франковская	2134	66	-5,3	6,9
Новгородская	2247	94	-7,0	Могилевская	2214	97	-7,5	3,7
Ярославская	2228	131	-9,0	Брянская	2287	102	-8,1	14,3
Ивановская	2276	168	-9,9	Орловская	2241	252	-9,4	13,4
Московская	2411	189	-8,7	Курская*	2380	293	-8,8	12,6
Калужская	2512	142	-6,9	Черниговская	2480	142	-7,8	1,0
Рязанская	2711	340	-9,3	Липецкая	2427	325	-10,1	8,7
Марий Эл	2373	284	-11,6	Мордовия	2246	302	-12,0	5,0
Тамбовская	3010	417	-9,5	Волгоградская*	2966	586	-9,5	10,1
Пензенская	2733	399	-10,4	Тамбовская	2429	388	-11,1	7,2
Татарстан	2547	397	-11,6	Тамбовская	2429	388	-11,1	3,9
Башкортостан (север)	2523	441	-13,6	Самарская	2474	482	-13,6	3,3

Примечание. * — второй аналог: Орловская область, $\Delta E = 252$ мм; ** — второй аналог: Белгородская область, $\Delta E = 430$ мм. $\sum T_{T > 10^\circ\text{C}}$ — сумма среднесуточных значений температуры воздуха больше 10°C ; ΔE — дефицит испарения; T_{min} — температура самого холодного месяца года.

3. ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XXI В.

цу той территории, где в 90% лет могут созревать ранние сорта кукурузы, т. е. возможно интенсивное земледелие. В России площадь таких земель значительно меньше, чем в США, например. При удвоении содержания CO_2 в атмосфере за XXI век площадь земель с суммой температур больше 10°C от 2000 до 3000°C увеличится с 1,5 до 7,2 млн. km^2 , т. е. почти в 5 раз. Более того, на территории России появится зона (площадью не менее 1 млн. km^2), где сумма температур больше 10°C превысит $3400\text{--}3600^\circ\text{C}$. Здесь может быть создана база субтропического земледелия (как в Узбекистане и Азербайджане).

Уже к 2010 г. граница территории, где по климатическим условиям можно выращивать средне-спелые сорта кукурузы на зерно и позднеспелые сорта подсолнечника, продвинется к северу до широты Москва — Владимир — Йошкар-Ола — Челябинск, что соответствует положению изолинии 2500°C для суммы температур больше 10°C . Окажется возможным расширение посевов сахарной свеклы до линии Иваново — Ижевск — Курган. Увеличение тепловых ресурсов на Северном Кавказе к 2010 г. создаст предпосылки для промышленного возделывания хлопчатника, позднеспелых сортов винограда, арахиса, а также ряда ценных технических эфиромасличных культур.

При удвоении содержания CO_2 в XXI веке площадь земледельческой зоны России увеличится примерно в 1,5 раза, а площадь земель, пригодных для высокопродуктивного земледелия (которых в России значительно меньше, чем в США, например), увеличится в несколько раз. Таким образом, дальнейшее глобальное потепление может благоприятно сказаться на возможностях производства продовольствия в России.

В России сосредоточено 8% мировых площадей посевов зерновых культур, однако производство зерна составляет 4% мирового производства, что связано с низкой урожайностью зерновых культур — она в 1,7 раза ниже среднемирового уровня, в 3 раза ниже, чем в США. Вместе с тем сельское хозяйство России по нереализованной доле своего современного биоклиматического потенциала превосходит страны Европейского Союза в 2–3 раза. Особенно велика доля неиспользованных климатических ресурсов в сельском хозяйстве Нечерноземной зоны России.

3.3.4. Ожидаемые изменения биоклиматического потенциала и углеродного режима пахотных почв

Моделирование углеродного режима пахотных почв в рамках имитационной системы “Климат — почва — урожай” позволило оценить влияние ожидаемых изменений климата на углеродный ба-

ланс пахотных почв Нечерноземной зоны России (Сиротенко и др., 2005).

Из четырех групп сценариев антропогенного воздействия на будущий климат — A1, A2, B1 и B2, рекомендуемых МГЭИК (Special Report on Emission Scenarios, 2000; Climate Change 2001, 2001), выбрана сюжетная линия A1FI, предполагающая быстрое увеличение содержания CO_2 в атмосфере — до 567 млн^{-1} в 2050 г., что превышает уровень 1990 г. на 61%. Характеристики будущих климатов, соответствующих этим сценариям, были рассчитаны с помощью модели HadCM3.

Рассчитанные для этих условий изменения биоклиматического потенциала (БКП, характеризует первичную биологическую продуктивность агроэкосистем) и коэффициента увлажнения Чиркова (КУ) для Нечерноземной зоны России приведены в табл. 3.3.6. Результаты этих расчетов указывают на рост обусловленной климатом продуктивности сельского хозяйства Нечерноземной зоны России. Увеличение БКП к 2050 г. может составить 30–45% уровня 1990 г. для значительной части территории Нечерноземной зоны. Уменьшение БКП до 5–7% ожидается лишь на южных и юго-восточных ее границах.

Как показывают данные табл. 3.3.6, увеличение БКП будет сопровождаться некоторым уменьшением влажности почвы. Особенно сильно это проявится на территории Северного и Северо-Западного экономических районов, где часто наблюдается переувлажнение пахотных земель. Уменьшение увлажненности улучшит условия сельскохозяйственного производства практически на всей территории региона.

Изменение климата, ожидаемое в рамках рассматриваемого сценария, увеличит приходную и уменьшит расходную составляющие углеродного баланса пахотных почв Нечерноземной зоны. Увеличение приходной составляющей ожидается в результате увеличения биологической продуктивности, а уменьшение расходной — как следствие уменьшения влажности почвы и замедления в связи с этим процессов разложения гумуса и других органических веществ в почве.

В табл. 3.3.7 представлены необходимые доли посевов многолетних трав в севооборотах и дозы органических удобрений, обеспечивающие бездефицитный баланс органического углерода как для современного климата (1990 г.), так и для условий 2010, 2030 и 2050 гг. При потеплении климата (сценарий A1FI, расчетная климатическая модель HadCM3) снижается уровень насыщенности севооборотов многолетними травами, который необходим для поддержания стационарного состояния (в частности состава) пахотных почв. Особенно значительные изменения условий сохранения плодородия почв ожидаются на территории

3. ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XXI В.

Таблица 3.3.6. Изменение биоклиматического потенциала и увлажнения территории Нечерноземной зоны России при изменении климата в XXI веке, сценарий A1FI, модель HadCM3 (Сиротенко и др., 2005)

Субъект Российской Федерации	Изменение БКП, %			Изменение коэффициента увлажнения КУ, мм/°С			
	Годы						
	2010	2030	2050	1990	2010	2030	2050
Калининградская	110	118	127	0,89	0,84	0,76	0,75
Ленинградская	114	130	145	0,72	0,62	0,62	0,58
Псковская	115	124	134	0,76	0,69	0,69	0,63
Новгородская	110	120	133	0,76	0,69	0,67	0,65
Вологодская, восток	117	122	138	0,74	0,62	0,58	0,59
Вологодская, запад	116	128	143	0,75	0,64	0,61	0,61
Калининская	112	120	132	0,72	0,64	0,61	0,61
Ярославская	111	125	132	0,70	0,60	0,59	0,60
Костромская, восток	117	127	135	0,71	0,60	0,58	0,59
Костромская, запад	115	125	133	0,67	0,59	0,56	0,59
Ивановская	111	123	127	0,60	0,54	0,52	0,57
Смоленская	110	120	124	0,72	0,65	0,65	0,62
Московская	109	116	120	0,62	0,54	0,54	0,55
Владимирская	109	115	116	0,54	0,48	0,48	0,50
Калужская	108	116	118	0,67	0,60	0,61	0,59
Тульская	110	113	107	0,50	0,46	0,47	0,48
Рязанская	100	110	95	0,44	0,43	0,43	0,45
Брянская	107	112	110	0,56	0,55	0,55	0,53
Орловская	103	106	95	0,50	0,49	0,48	0,49
Кировская, север	112	124	138	0,68	0,58	0,53	0,54
Кировская, юг	115	121	120	0,54	0,48	0,47	0,49
Нижегородская, север	107	116	120	0,56	0,50	0,49	0,51
Нижегородская, юг	106	113	100	0,49	0,47	0,46	0,47
Марий Эл	108	108	109	0,50	0,45	0,45	0,46
Чувашская	103	110	98	0,46	0,43	0,41	0,46
Мордовская	98	100	93	0,45	0,43	0,44	0,45
Удмуртская	109	111	104	0,50	0,45	0,44	0,45
Пермский край, север	113	128	135	0,68	0,59	0,54	0,53
Пермский край, юг	117	120	125	0,58	0,50	0,48	0,50
В среднем	110	118	121	0,62	0,56	0,54	0,55

Калининградской области. Необходимая насыщенность севооборотов многолетними травами на территории этой области может уменьшиться почти в 2 раза — с 45% в 1990 г. до 24% в 2050 г. По сравнению с 1990 г. к 2050 г. в Московской и Ленинградской областях необходимая для поддержания плодородия почв доля посева многолетних трав в севообороте в результате изменений климата может быть снижена с 57 и 53% до 40 и 44% соответственно. Из данных табл. 3.3.7 также видно, что при дальнейшем глобальном потеплении дозы органических удобрений, необходимые для поддержания бездефицитного баланса органического углерода почвы и нулевого нетто-потока CO₂ из почвы в атмосферу, уменьшатся в среднем в два раза.

Полученные в этом разделе оценки позволяют сделать следующие выводы:

— пахотные почвы Нечерноземной зоны России при интенсивном земледелии могут быть трансформированы из источника в сток атмосферного углерода. Для достижения нулевого нетто-потока CO₂ из пахотных почв в атмосферу необходимо увеличить насыщенность севооборотов многолетними травами, снизив соответственно долю пропашных культур;

— увеличение теплообеспеченности и уменьшение переувлажненности Нечерноземной зоны приведет к улучшению условий сельскохозяйственного производства. Ожидается повышение обусловленной климатом продуктивности пахотных земель Нечерноземной зоны в среднем

3. ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XXI В.

Таблица 3.3.7. Условия бездефицитного баланса органического углерода в почве и нулевого нетто-потока CO_2 из почвы в атмосферу для пахотных почв Нечерноземной зоны России при изменении климата в XXI веке, сценарий A1FI, модель HadCM3 (Сиротенко и др., 2005)

Субъект Российской Федерации	Необходимая доля посева многолетних трав в севообороте, %				Необходимая доза органических удобрений, т/га в год			
	1990	2010	2030	2050	1990	2010	2030	2050
Калининградская	45	39	33	24	4	2	1	0
Ленинградская	57	52	46	40	15	8	4	2
Псковская	53	47	42	37	9	4	3	1
Новгородская	53	49	45	39	9	6	4	2
Вологодская, восток	59	53	51	46	18	9	7	4
Вологодская, запад	58	53	48	42	16	8	5	3
Калининская	54	49	46	40	10	6	4	2
Ярославская	56	52	46	43	12	8	4	3
Костромская, восток	59	53	50	47	18	9	6	4
Костромская, запад	59	53	50	47	17	9	6	4
Ивановская	56	52	48	46	13	8	5	4
Смоленская	51	46	41	39	7	4	2	2
Московская	53	49	46	44	8	5	4	3
Владимирская	54	50	48	47	9	6	5	5
Калужская	49	46	42	41	6	4	3	2
Тульская	52	48	47	49	8	5	4	6
Рязанская	52	52	48	54	8	8	5	10
Брянская	47	44	41	42	5	3	2	2
Орловская	49	47	46	51	6	5	4	7
Кировская, север	60	56	52	47	20	12	8	5
Кировская, юг	58	53	51	51	16	8	7	7
Нижегородская, север	54	51	48	46	10	7	5	4
Нижегородская, юг	54	51	48	54	9	7	5	9
Марий Эл	55	52	51	51	11	8	7	7
Чувашская	53	52	49	54	9	8	6	10
Мордовия	53	53	53	56	9	9	8	12
Удмуртская	56	53	52	55	13	9	8	11
Пермский край, север	63	58	53	51	27	16	9	7
Пермский край, юг	59	53	52	50	17	9	8	6
В среднем	54,5	50,6	47,4	46,0	11,7	7,3	5,1	5,0

на 10, 18 и 21% к 2010, 2030 и 2050 гг. соответственно;

— ожидаемые изменения климатических условий будут способствовать увеличению приходной части углеродного баланса пахотных почв (в результате увеличения продуктивности агроэкосистем) и уменьшению расходной составляющей (в результате уменьшения влажности почвы и замедления процессов разложения органических веществ). В результате этого устойчивое развитие сельского хозяйства, которому соответствует бездефицитный баланс органического углерода и нулевой нетто-поток CO_2 из почвы в атмосферу, будет достигаться при меньших экономических затратах.

3.3.5. Воздействие ожидаемых изменений климата на вредителей сельскохозяйственных растений

В предыдущих разделах обсуждалось влияние ожидаемых изменений климата на продукцию растениеводства в России, которое оказалось в основном положительным. Однако это касается воздействия меняющегося климата на первичную продукцию агроэкосистем, которой человек вынужден “делиться” с консументами-фитофагами, в том числе с насекомыми-фитофагами. Многие из них являются существенно климатозависимыми организмами, и если изменения климата в будущем окажутся для них благоприятными, то увеличение первичной продукции агроэкосистем мо-

3. ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XXI В.

жет не привести к приросту урожаев или же этот прирост окажется меньше ожидаемого вследствие того, что насекомые-вредители потребят больше продукции биомассы растений. Учет этого фактора — сложная проблема. В данном разделе будут кратко рассмотрены лишь два частных, но важных вопроса — влияние ожидаемых изменений климата на саранчовых и на колорадского жука.

3.3.5.1. Изменения климата и распространение саранчовых

Миграция и массовое размножение саранчовых — процессы, существенно зависящие от погоды. Тем самым их ареал, долговременный уровень численности, цикличность вспышек массового размножения и депрессий в значительной степени определяются климатом и меняются вместе с ним. Проблема погода — состояние популяций саранчовых детально изучалась отечественными специалистами (Предтеченский, 1930; Рубцов, 1935; Винокуров, 1949; Цыпленков, 1970; Сафарова, 1987; Ермаков, 1998; Столяров, 2000, 2005).

Потепление климата во многих обширных регионах Палеарктики, в том числе и в России, особенно проявившееся в конце XX века и ожидаемое в XXI веке в соответствии со многими сценариями, способствует резким изменениям характера атмосферной циркуляции, резким колебаниям температуры и суммы осадков, способствует увеличению частоты и продолжительности экстремальных метеорологических явлений (Climate Change 2007, 2007a, 2007b).

И при аридном, и при гумидном потеплении на территории России в XXI веке темпы опустынивания (сейчас площадь пустынь ежегодно увеличивается на 6 млн. га) могут не снизиться, как и продолжительность и интенсивность засух (Столяров, 2000, 2005; Золотокрылин, 2003, 2005). При сохранении подобных тенденций будет нарастать риск массовых размножений многих теплолюбивых аридных животных, в том числе и саранчовых. К тому же на юге России в ближайшее время вряд ли существенно уменьшится количество земель, выведенных из севооборота, а значит и площадь вторичных очагов обитания стадных саранчовых в агроландшафтах существенно не уменьшится. При сохранении этих тенденций можно ожидать, что в последующее десятилетие риск для растениеводства, связанный с саранчовыми, не исчезнет. Существует также вероятность изменения характера циклов в динамике их численности: увеличение продолжительности периодов массового размножения и сокращение периодов депрессии между вспышками; при таком развитии событий особое значение приобретает постоянный и качественный мониторинг (Столяров, 1998, 2000, 2005).

Имеющиеся предпосылки позволяют ожидать дальнейшего распространения и укоренения саранчовых не только в Ставропольском крае, Калмыкии, Волгоградской, Астраханской, Саратовской и Ростовской областях, но и в Омской и Читинской областях, Краснодарском и Красноярском краях, республиках Саха (Якутия) и Тыва, а также в ряде других регионов России (Ермаков, 1998).

3.3.5.2. Возможные изменения климата и ареал колорадского жука

Для оценки возможных изменений урожая картофеля при тех или иных изменениях условий среды, в частности климатических условий, используются модели агроэкосистемы культура — вредитель — среда обитания. Они применяются при программировании урожая и выработке рекомендаций по совершенствованию технологии возделывания картофеля в условиях конкретного хозяйства (Брежнев, Малинина, 1984; Малинина, 1984) и требуют значительного объема информации о свойствах местообитания. В основу этих моделей положены представления о популяциях как о динамических системах, развивающихся под воздействием внутренних и внешних факторов (Полуэктов и др., 1981).

Моделирование влияния агрометеорологических условий на развитие колорадского жука в разных почвенно-климатических условиях выполнено в работе (Вольвач, 1987). Результатом этой работы была, в частности, количественная оценка средних многолетних значений коэффициента размножения и границ периода активности колорадского жука для конкретных областей СССР.

В работе (Ясюкевич и др., 2007) получена оценка потенциального ареала колорадского жука на территории стран СНГ и Балтии в XX веке, исходя из простого биоклиматического критерия (Trouvelot, 1936): изотерма среднегодовой температуры 0°C ограничивает его потенциальный ареал на севере и востоке, а изотерма среднемесячной температуры июля 27°C на юге. По данным Trouvelot (1936), именно эти изотермы ограничивают границы ареала колорадского жука на севере и юге Американского континента, где его формирование считается завершенным.

На рис. 3.3.1 изображены потенциальный ареал колорадского жука на территории стран СНГ и Балтии в 1936–1965 гг. (ограниченный изотермами среднегодовой температуры 0°C и среднемесячной температуры июля 27°C) и его изменение в 1966–1995 гг. по сравнению с 1936–1965 гг. Картограмма ареала построена с помощью имитационно-картографической системы, описанной в работе (Семенов и др., 2006).



Рис. 3.3.1. Потенциальный ареал колорадского жука на территории стран СНГ и Балтии в XX веке и его изменения в 1966–1995 гг. по сравнению с 1936–1965 гг. (Ясюкевич и др., 2007). 0 — в ареал не входят в оба периода времени, 1 — сокращение ареала, 2 — приращение ареала, 3 — входит в ареал в оба периода времени.

Если принять инерционный сценарий изменения климата, т. е. предположить, что климат 1996–2025 гг. будет так же отличаться от климата 1966–1995 гг., как последний от климата 1936–1965 гг., то доминирующей тенденцией на территории стран СНГ и Балтии останется потепление, в частности увеличение среднегодовой температуры воздуха. Именно так было в 1966–1995 гг. по сравнению с периодом 1936–1965 гг. — исключение составляли северо-запад и северо-восток России в полярных широтах (Семенов, Гельвер, 2002). Следовательно, в условиях изменения климата за период 1996–2025 гг. можно ожидать дальнейшее продвижение северной границы ареала колорадского жука на север. Однако это не окажет существенно влияния на производство картофеля, поскольку данные изменения будут происходить вне основных картофелеводческих районов страны.

3.3.6. Литература

- Александров В. А., 2006.** Колебания и изменения климата и их влияние на экосистемы Юго-Восточной и Центральной Европы, а также юго-восточных районов США, Диссертация на соискание ученой степени доктора физико-математических наук, СПб, 98 с.
- Брежнев А. И., Малинина В. Г., 1984.** Математическое моделирование экологических взаимодействий в агроэкосистеме картофеля — вре-

- дитель — среда обитания, в кн.: Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем, Л., Гидрометеиздат, т. 7, с. 51–69.
- Будыко М. И., Израэль Ю. А., 1987.** Антропогенные изменения климата, Л., Гидрометеиздат, 406 с.
- Будыко М. И., Израэль Ю. А., Маккракен М. С., Хекта А. Д., 1991.** Предстоящие изменения климата, Л., Гидрометеиздат, 272 с.
- Винокуров Г. М., 1949.** Метод прогноза начала отрождения вредных саранчовых Сибири, Труды Алтайской станции защиты растений, т. 1, Барнаул.
- Вольвач В. В., 1987.** Моделирование влияния агрометеорологических условий на развитие колорадского жука, Л., Гидрометеиздат, 240 с.
- Ермаков А. В., 1998.** Будет ли саранча в 1998 году? Защита и карантин растений, № 3, с. 18–19.
- Золотокрылин А. Н., 2003.** Климатическое опустынивание, отв. ред. А. Н. Кренке, М., Наука, 246 с.
- Золотокрылин А. Н. 2005.** Мониторинг климатической составляющей опустынивания, в кн.: Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем, т. 20, СПб, Гидрометеиздат, с. 105–123.
- Израэль Ю. А., Сиротенко О. Д., 2003.** Моделирование влияния изменений климата на продуктивность сельского хозяйства России, Метеорология и гидрология, № 6, с. 5–17.

3. ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XXI В.

- Малинина В. Г., 1984.** Математическая модель агроэкосистемы картофель — вредитель — среда обитания, Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук, Л., 19 с.
- Менжулин Г. В., 1984.** Влияние современных изменений климата и содержания углекислого газа на продуктивность сельскохозяйственных растений, *Метеорология и гидрология*, № 4, с. 95–101.
- Полуэктов Р. А., Пых Ю. А., Швытов Н. А., 1981.** Динамические модели экологических систем, Л., Гидрометеиздат, 286 с.
- Предтеченский С. А., 1930.** Практические результаты экологического изучения саранчи в Средней России, *Труды по защите растений*, сер. энтомология, т. 1, вып. 1.
- Рубцов И. А., 1935.** Районирование резерваций саранчовых Сибири и прогноз массовых размножений по коэффициентам увлажнения, в кн.: *Вредители и болезни сельскохозяйственных растений Восточной Сибири*.
- Сафарова И. Л., 1987.** Особенности эмбрионального развития итальянской саранчи, в сб.: *Саранчовые — экология и меры борьбы*, Л., ВАСХНИЛ, ВНИИ защиты растений, с. 75–83.
- Семенов С. М., Гельвер Е. С., 2002.** Изменение годового хода среднесуточной температуры воздуха на территории России в XX веке, *Доклады РАН*, сер. геофиз, т. 386, № 3, с. 389–394.
- Семенов С. М., Ясюкевич В. В., Гельвер Е. С., 2006.** Выявление климатогенных изменений, М., Издательский центр “Метеорология и гидрология”, 324 с.
- Сиротенко О. Д., 2005.** Усовершенствованная методика расчета оценок климатообусловленного риска для сельского хозяйства с учетом текущих изменений климата, в сб.: *Климатические ресурсы и методы их представления для прикладных целей*, СПб, Гидрометеиздат, с. 131–145.
- Сиротенко О. Д., Абашина Е. В., 1994.** Влияние глобального потепления на агроклиматические ресурсы и продуктивность сельского хозяйства России, *Метеорология и гидрология*, № 4, с. 101–112.
- Сиротенко О. Д., Абашина Е. В., 1998.** Агроклиматические ресурсы и физико-географическая зональность территории России при глобальном потеплении, *Метеорология и гидрология*, № 3, с. 92–103.
- Сиротенко О. Д., Абашина Е. В., Павлова В. Н., 1995.** Чувствительность сельского хозяйства России к изменениям климата, химического состава атмосферы и плодородия почв, *Метеорология и гидрология*, № 4, с. 107–114.
- Сиротенко О. Д., Абашина Е. В., Романенков В. А., 2005.** Моделирование влияния изменений климата на динамику органического углерода в пахотных почвах, эмиссию CO₂ и продуктивность агроэкосистем, *Метеорология и гидрология*, № 8, с. 83–95.
- Сиротенко О. Д., Величко А. А., Долгий-Трач В. А., Климанов В. А., 1990.** К оценке агроклиматических ресурсов Русской равнины в связи с глобальным потеплением климата, *Известия АН СССР*, сер. географ., с. 29–38.
- Сиротенко О. Д., Грингоф И. Г., 2006.** Оценки влияния ожидаемых изменений климата на сельское хозяйство Российской Федерации, *Метеорология и гидрология*, № 8, с. 92–101.
- Сиротенко О. Д., Павлова В. Н., 1994.** Парниковый эффект и продовольственная проблема России, *Метеорология и гидрология*, № 7, с. 5–16.
- Сиротенко О. Д., Павлова В. Н., 2003.** Оценка влияния изменений климата на сельское хозяйство методом пространственно-временных аналогов, *Метеорология и гидрология*, № 8, с. 89–99.
- Столяров М. В., 1998.** Саранча на юге России, *Защита и карантин растений*, № 3, с. 16–17.
- Столяров М. В., 2000.** Проблема массовых размножений стадных саранчовых на юге России на рубеже столетий, в кн.: *Актуальные вопросы биологизации защиты растений*, под ред. М. С. Соколова и Е. П. Угрюмова, Пушкино, с. 94–100.
- Столяров М. В., 2005.** Некоторые особенности прогнозирования динамики численности стадных саранчовых. Надолго ли затихает их размножение?, *Защита и карантин растений*, № 1, с. 38–41.
- Цыпленков Е. П., 1970.** Вредные саранчовые насекомые в СССР, Л., Колос, 272 с.
- Школьник И. М., Мелешко В. П., Катцов В. М., 2006.** Возможные изменения климата на Европейской части России и сопредельных территориях к концу XXI века: расчет с региональной моделью ГГО, *Метеорология и гидрология*, № 3, с. 5–16.
- Ясюкевич В. В., Попова Е. Н., Гельвер Е. С., Ривкин Л. Е., 2007.** Влияние климатических факторов на формирование ареала колорадского жука (*Leptinotarsa decemlineata* Say), в кн.: *Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем*, т. 21, СПб, Гидрометеиздат, с. 348–379.
- Alcamo J., 2003.** Will Climate Change Affect Food and Water Security in Russia?, Summary Report to the International Project on Global Environmental Change and its Threat to Food and Water Security in Russia, Draft 13.
- Climate Change 2001, 2001.** Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the

Intergovernmental Panel of Climate Change (eds.), Cambridge, Cambridge University Press, 1032 p.

Climate Change 2007, 2007a. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Solomon S. D., Qin M., Manning Z., Chen M., Marquis K. B., Averyt M., Tignor M., and Miller H. L. (eds.), Cambridge, Cambridge University Press, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 p.

Climate Change 2007, 2007b. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Inter-

governmental Panel on Climate Change, Parry M. L., Canziani O. F., Palutikof J. P., van der Linden P. J., and Hanson C. E. (eds.), Cambridge, Cambridge University Press, UK, 976 p.

Lobell D. B. and Field C. B., 2007. Global scale climate-crop yield relationships and the impacts of recent warming, *Environ. Res. Lett.*, IOP Publishing, pp. 1–7.

Special Report on Emission Scenarios (N. Nakicenović et al.), 2000. A Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge, Cambridge University Press, 599 p.

Trouvelot B., 1936. Le doryphore de pomme de terre en Amérique du Nord, *Ann. Epiphyt.*, N. S., vol. 1, pp. 277–336.

3.4. ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ

Ведущий автор: И. А. Шикломанов

Авторы: В. Ю. Георгиевский, Ж. А. Балонишников, Т. П. Гронская

Редактор-рецензент: Н. И. Коронкевич

3.4.1. Региональные изменения водных ресурсов и водообеспеченности

Приведенные ниже перспективные оценки стока российских рек на 2010–2039 гг. получены по результатам расчетов с помощью модели HadCM3 в рамках сценария A2 (Шикломанов, Георгиевский, 1995, 2002, 2003, 2004).

На Европейской территории России наибольшее увеличение стока ожидается на Волге и Урале (9–10%), а также на северных реках (4–8%). На реках бассейна Балтийского моря увеличение стока будет незначительным. Уменьшение стока до 3% ожидается на реках бассейна Азовского моря. Для внутригодового распределения стока характерно повсеместное увеличение стока зимой, а также смещение пика половодья с мая на апрель.

На Азиатской территории России годовой сток рек, впадающих в Северный Ледовитый океан, увеличится на 3–11%. Наибольшее относительное увеличение стока ожидается на Лене и Индигирке, а наименьшее — на Оби. В среднем по рекам Сибири ожидается увеличение стока на 7%. Во внутригодовом распределении стока сибирских рек можно отметить в первую очередь повсеместное увеличение зимнего стока, хотя его доля в годовом как в настоящее время, так и в перспективе очень незначительна. На реках Восточной Сибири ожидается увеличение стока весеннего половодья. Вместе с тем очевидно, что характер внутригодового распределения стока по сравнению с современными условиями не претерпит каких-либо принципиальных изменений. Для рек степной и лесостепной частей

бассейна Оби будет типично более раннее начало весеннего половодья.

В целом для территории России ожидается увеличение возобновляемых водных ресурсов на 8–10%. При этом водообеспеченность на одного жителя увеличится на 12–14%. Увеличение ожидается на большей части территории России: на севере и северо-западе ЕТР, в Поволжье, в Нечерноземном центре, на Урале, на большей части Сибири и Дальнего Востока, т. е. в регионах, где формируется более 95% водных ресурсов страны (Георгиевский и др., 1996а, 1996б; 1997; Шикломанов, 1994).

Вместе с тем в ряде густонаселенных регионов — на территориях черноземных областей Центрального и Южного федеральных округов, а также на юго-западной части Сибирского федерального округа, которые и в современных условиях имеют довольно ограниченные водные ресурсы, следует ожидать уменьшения водных ресурсов от 5 до 15% и увеличения нагрузки на них от 5 до 25% вследствие изменений климата и увеличения водопотребления. Таким образом, главная негативная особенность российских водных ресурсов — их крайне неравномерное распределение по территории, не согласующееся с потребностями в них, — в перспективе станет еще более выраженной. В целом ряде южных регионов проблемы водообеспечения станут особенно острыми, что потребует принятия специального комплекса мер по их решению.

Потепление климата окажет особенно большое влияние на изменение сезонного стока рек; эти процессы уже происходят практически на всей территории России, и ожидается их усиление в перспективе. Наиболее значительные изменения зимнего стока ожидаются на реках Центрального, Приволжского и в юго-западной части Северо-Западного федеральных округов. В этих регионах зимний сток может увеличиться на 60–90%, а лет-

ний — на 20–50%. На остальной территории страны увеличение зимнего и летнего стока будет находиться в пределах от 5 до 40%.

3.4.2. *Возможные последствия для хозяйственной деятельности*

Ожидаемое дальнейшее потепление будет иметь заметные последствия для хозяйственной деятельности, связанной с водопотреблением и эксплуатацией водных объектов. Приведенные ниже оценки изменения даны по отношению к уровню конца XX века.

Прогнозируемое изменение стока рек скажется на притоке воды к крупным водохранилищам. Ожидается увеличение на 5–15% среднегодового притока к водохранилищам Волжско-Камского каскада, на 5–10% — к водохранилищам Северо-Западного федерального округа, примерно на 10% увеличится приток к Ангаро-Енисейским водохранилищам, а также к водохранилищам на реках Вилюй, Колыма, Зeya. Вместе с тем следует ожидать уменьшения притока в пределах от 5 до 10% к Цимлянскому и Краснодарскому водохранилищам.

В условиях потепления климата изменятся ледовые явления на водных объектах. В частности, следует ожидать сокращения периода ледостава на 15–27 суток, при этом максимальная толщина льда уменьшится на 20–40%; произойдут значительные изменения в процессах замерзания и вскрытия рек и водоемов.

Анализ ожидаемых изменений климата и стока рек позволяет оценить возможные последствия изменений водных ресурсов для экономики и жизнеобеспечения, а также обозначить регионы с особо неблагоприятными последствиями.

В результате изменения климата значительное уменьшение водных ресурсов (на 10–20%) и увеличение нагрузки на водные ресурсы (до 25%) ожидается в черноземных областях Центрального федерального округа (Белгородская, Воронежская, Курская, Липецкая, Орловская, Тамбовская), в ряде субъектов Российской Федерации, расположенных в Южном федеральном округе (Республика Калмыкия, Краснодарский и Ставропольский края, Ростовская область), а также в верховьях Оби и Иртыша в юго-западной части Сибирского федерального округа (Алтайский край, области Кемеровская, Новосибирская, Омская и Томская).

В маловодные годы водообеспеченность населения Белгородской и Курской областей, Ставропольского края и Республики Калмыкия может стать близкой к 1000–1500 м³ в год на одного человека и даже меньше, что по международной классификации рассматривается как очень низкая или критически низкая. В других перечисленных

выше субъектах Российской Федерации Центрального и Южного федеральных округов водообеспеченность также ожидается довольно низкая, в пределах 2000–4000 м³ в год на одного жителя.

В субъектах Российской Федерации юго-западной части Сибирского федерального округа уменьшение водных ресурсов не приведет к низким значениям водообеспеченности и высокой нагрузке на водные ресурсы. Однако в маловодные периоды уже имеющиеся весьма серьезные водные проблемы могут приобрести особую остроту. Это связано прежде всего с большой изменчивостью водных ресурсов как во времени, так и по территории, а также с интенсивным использованием стока трансграничных рек в Китае и в Казахстане.

Прогнозируемый повышенный приток воды к основным водохранилищам крупных ГЭС России в целом благоприятно скажется на выработке электроэнергии в стране. Значительное увеличение притока воды в зимний период благоприятно для выработки электроэнергии, но потребует пересмотра режима работы отдельных водохранилищ и каскадов для создания оптимальных условий регулирования стока с учетом запросов всех водопользователей при минимизации возможных неблагоприятных экологических и социальных последствий. К таким последствиям относятся: возможное затопление и подтопление населенных пунктов, увеличение длины полыньи в нижних бьефах, что вызовет ухудшение климатических условий в береговой зоне (увеличение влажности воздуха, повторяемости туманов, ухудшение видимости и т. п.); возможно также повышенное образование шуги и развитие зажорных явлений на участках рек ниже полыньи, появление трещин и разводов на льду водохранилищ.

Прогнозируемое сокращение периода ледостава на реках и водоемах в бассейне Камы и в Сибири на 20–27 суток и уменьшение максимальной толщины льда на 20–40%, с одной стороны, способствуют заметному продлению времени речного судоходства, а с другой — сокращают период доставки грузов в труднодоступные районы по зимним автомобильным трассам, проложенным по замерзшим руслам больших рек (Гронская, Лемешко, 2004). Такие изменения в режиме рек и водоемов имеют как положительные, так и негативные последствия для жизнедеятельности многих субъектов Российской Федерации Сибирского и Дальневосточного федеральных округов, особенно для Республики Саха (Якутия) и Магаданской области, где основной объем грузов доставляется по рекам — летом судами, а зимой — автомобильным транспортом.

Ожидаемое при дальнейшем изменении климата увеличение годового и межлетнего стока и изменение продолжительности и сроков навига-

ции практически для всех крупных рек России потенциально может благоприятствовать развитию речного судоходства и увеличению объема грузоперевозок по рекам и водоемам. Лимитирующим фактором при использовании этих ресурсов может стать недостаточный объем русловыправительных и дноуглубительных работ.

3.4.3. Литература

- Георгиевский В. Ю., Ежов А. В., Шалыгин А. Л., Шикломанов И. А., Шикломанов А. И., 1996а. Оценка влияния возможных изменений климата на гидрологический режим и водные ресурсы рек территории бывшего СССР, Метеорология и гидрология, № 11, с. 89–99.
- Георгиевский В. Ю., Ежов А. В., Шикломанов И. А., Шерешевский А. И., 1996б. Возможные изменения ресурсов и водного режима в бассейне Днепра при различных сценариях потепления климата, Материалы научно-технической конференции “Водные ресурсы и устойчивое развитие экономики Беларуси”, Минск, т. 1, с. 21–23.
- Георгиевский В. Ю., Ежов А. В., Шалыгин А. Л., 1997. Оценка изменений стока рек под влиянием хозяйственной деятельности и глобального потепления климата, Доклады международного симпозиума “Расчеты речного стока”, ЮНЕСКО, с. 75–81.

- Гронская Т. П., Лемешко Н. А., 2004. Гидрологический режим крупнейших озер России при современных изменениях климата, Тезисы докладов Всесоюзного гидрологического съезда, секция 3, СПб, Гидрометеиздат, с. 238–239.
- Шикломанов А. И., 1994. Влияние антропогенных изменений глобального климата на сток р. Енисей, Метеорология и гидрология, № 2, с. 84–93.
- Шикломанов И. А., Георгиевский В. Ю., 1995. Влияние антропогенных факторов на сток рек бывшего СССР, в кн.: Географические направления в гидрологии, М., РАН, с. 96–107.
- Шикломанов И. А., Георгиевский В. Ю., 2002. Влияние антропогенных изменений климата на гидрологический режим и водные ресурсы, в кн.: Изменения климата и их последствия, СПб, Наука, с. 152–164.
- Шикломанов И. А., Георгиевский В. Ю., 2003. Влияние климатических изменений на водные ресурсы и водный режим рек России, Тезисы докладов Всемирной конференции по изменению климата, Москва, 29 сентября — 3 октября 2003 г., М., ИГКЭ, 250 с.
- Шикломанов И. А., Георгиевский В. Ю., 2004. Изменение стока рек России при глобальном потеплении климата, Тезисы доклада VI Всероссийского гидрологического съезда, Санкт-Петербург, 28 сентября — 1 октября 2004 г., СПб, Гидрометеиздат, секция 3, с. 200–201.

3.5. ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ

Ведущие авторы: Б. А. Ревич, В. В. Ясюкевич
Автор: Е. С. Гельвер
Редактор-рецензент: С. Ю. Чайка

3.5.1. Общая характеристика

Ожидаемые в будущем изменения климата в сочетании с действием природных, социально-экономических и демографических факторов могут приводить в некоторых регионах мира к увеличению рисков для здоровья населения. МГЭИК в Четвертом оценочном докладе (Climate Change, 2007, 2007b) указывает на следующие возможные негативные последствия изменения климата в XXI веке для здоровья населения:

— недостаточное питание (из-за уменьшения объемов продукции сельского хозяйства в регионе вследствие изменения климата), вызывающее расстройство здоровья с последствиями для роста и развития детей;

— увеличение случаев смерти, заболевания или же ранения вследствие учащения экстремальных гидрометеорологических явлений — волн тепла, наводнений, штормов, пожаров, засух и т. д.;

— учащение случаев заболеваний, связанных с расстройством пищеварительной системы (диарея), — следствие потепления, ухудшения качества воды и усиления дефицита воды для бытовых нужд, особенно на фоне недостаточного медицинского обслуживания;

— изменение в пространственном распределении некоторых переносчиков инфекционных болезней.

Если первое из этих явлений характерно в основном для развивающихся стран с низким уровнем жизни населения, то последние три могут иметь место и в некоторых регионах России (см. также разделы 3.4 и 3.10, в которых даны перспективные оценки водных ресурсов и экстремальных метеорологических явлений, имеющих широко-масштабные последствия).

3.5.2. Экстремально высокие температуры (волны тепла)

В будущем волны тепла — периоды экстремально высоких значений температуры — будут наблюдаться чаще (Climate Change 2007, 2007a). Это будет сказываться негативно на здоровье людей, особенно в странах, где есть недостаток ресурсов на адаптацию и где уровень медицинского обслуживания низок. Группами риска, как и в настоящем, будут дети младшего возраста, люди пенсионного возраста, лица, профессиональная деятельность которых связана с пребыванием на открытом воздухе, люди, проживающие в городских условиях, где плотная многоэтажная застройка и недостаточность зеленых насаждений способствуют установлению особенно высокой температуры в жаркую погоду (“острова тепла”).

Необходимо отметить, что даже если температура в будущем будут поддерживаться на современном уровне, в тех странах и регионах, где наблюдается старение населения, число заболеваний, связанных с волнами тепла, будет увеличиваться из-за высокой чувствительности лиц пожилого возраста к действию термического фактора. Это относится и к России. Так, доля лиц старше 59 лет (одной из групп риска) к 2025 г. достигнет 27,6%, а к 2050 г. — 36,1%, т. е. будет в 2 раза больше, чем в 1989 г. (18,5%) (Население России..., 2002). Вследствие этого будет увеличиваться число обращений лиц этой возрастной группы за медицинской помощью и госпитализаций по поводу сердечно-сосудистых заболеваний из-за действия термического фактора. Возможна также дополнительная смертность в группах риска, упомянутых выше. На основе данных о зависимости показателей смертности от температуры воздуха установлено, что повышение температуры воздуха в июле может быть причиной до от 4,7 до 8,5 тыс. дополнительных случаев смерти среди городского населения России (Ревич, Шапошников, 2004, 2006).

Сочетание волн тепла с повышенным загрязнением атмосферного воздуха из-за неблагоприятных метеорологических условий может стать причиной дополнительных случаев госпитализации и смерти. При этом наибольшая дополнительная смертность возможна при сценарии, предусматривающем существенное повышение доли угля в производстве тепловой и электрической энергии (Авалиани и др., 2004).

3.5.3. Влияние изменения состояния многолетней мерзлоты и водных ресурсов

Ожидаемые в XXI веке климатогенные изменения состояния многолетней мерзлоты (см. раздел 3.7) могут иметь негативные последствия для

здоровья населения. Увеличение глубины сезонного протаивания многолетнемерзлых грунтов, изменение их термического режима вообще, не предусмотренные проектами зданий, технических сооружений и дорог, могут привести к увеличению аварийности и, как следствие, к дополнительным рискам для здоровья людей (Вартанова, 1998; Николаев, 1999; Weller and Lange, 1999).

В результате изменения климата проблемы обеспечения населения водой могут обостриться в некоторых регионах, где в маловодные годы по международной классификации этот показатель водообеспеченности может достигать низких и критически низких значений (см. раздел 3.4). Возможно ухудшение ситуации и с качеством воды. Уже в настоящее время в таких южных регионах России, как Калмыкия, Дагестан, Карачаево-Черкесия, качество воды некоторых поверхностных водоисточников централизованного питьевого водоснабжения не соответствует гигиеническим нормативам (Государственный доклад..., 2005).

3.5.4. Перспективные оценки распространения инфекционных и паразитарных заболеваний

Представленные в научной литературе перспективные оценки изменения характера распространения инфекционных заболеваний в XXI веке вследствие ожидаемых изменений климата обычно имеют качественный характер.

Ожидается, что потепление климата скажется на состоянии природных очагов облигатно-трансмиссивных с не исключительно трансмиссивным путем передачи (чума), факультативно-трансмиссивных (туляремия) и несколько более — нетрансмиссивных (лептоспирозы, сальмонеллез) инфекций. Еще в большей степени потепление повлияет на возбудителей сапронозов, естественных сочленов почвенных (псевдотуберкулез, листериоз) и водных (легионеллез, холера, мелиоидоз) экосистем (Литвин и др., 1998).

Согласно оценкам МГЭИК, в Северном полушарии потенциальный ареал малярии в XXI веке при потеплении климата расширится в основном к северу (Climate Change 1995, 1996). На территориях, где малярия человека эндемична, увеличится длительность сезона передачи. Значительно увеличится число людей, проживающих в зонах с большим риском заражения малярией. Если сейчас на территориях, где потенциально существует возможность заражения малярией, проживает 2400 млн. человек, что составляет около 40% населения земного шара, то к 2080 г. это число увеличится, по разным оценкам, еще на 220–400 млн. человек; новые риски, как и во многих других случаях, коснутся в первую очередь стран с низким уровнем

жизни (Хайнес и др., 2004; Martens et al., 1999; Climate Change 2001, 2001; Lieshout et al., 2004).

Северные границы ареалов малярийных комаров сдвинутся к северу, возможно замещение северных популяций южными (Сергиев и др., 2004). На Европейской территории России вследствие уменьшения континентальности климата возможно расширение ареалов *An. atroparvus* и *An. maculipennis*, которые являются более эффективными переносчиками малярии, чем *An. beklemishevi* и *An. messeae* (Сергиев и др., 2004).

Возможно укоренение экзотических видов переносчиков, например, *Aedes albopictus* и *Ae. aegypti* на побережье Черного моря (Россия, Грузия, Украина), являющихся важнейшими переносчиками желтой лихорадки и лихорадки Денге (Сергиев и др., 2004; Беэр, Эльпинер, 2004). Для территории России и соседних стран некоторая информация по ареалам возбудителей малярии человека имеется и в количественной форме, что обсуждается в разделе 2.5.

Улучшение вследствие потепления климата в России условий обитания местных видов комаров, являющихся переносчиками арбовирусов, будет способствовать формированию новых природных очагов комариных лихорадок и энцефалитов (Алексеев, 2004, 2006; Ревич, Малеев, 2003). Так, считается вероятным возникновение природных очагов и проявление клинических случаев лихорадки Западного Нила в Саратовской, Самарской, Оренбургской, Воронежской, Курской, Белгородской, Омской и Новосибирской областях, Алтайском крае (Платонов, 2006; Платонов и др., 2004; Платонова и др., 2006).

Смещение границ ареалов иксодовых клещей к северо-востоку будет способствовать увеличению заболеваемости клещевым энцефалитом, боррелиозами и риккетсиозами. В то же время вследствие повышения аридности в южных регионах России южная граница распространения *Ixodes ricinus* и *I. persulcatus* может сдвинуться к северу (Алексеев, 2004, 2006).

Для большинства членистоногих переносчиков болезней человека ожидается расширение периода активности, т. е. более ранний выход из зимовки весной и более поздний уход в диапаузу осенью (Алексеев, 2004, 2006).

Паразитарные системы представляют собой сложные многокомпонентные сбалансированные комплексы. В простейшем случае такая система состоит из двух компонентов — паразита и хозяина. В случае малярии система состоит из трех сочленов: возбудителя (споровика рода *Plasmodium*), переносчика (комара рода *Anopheles*, являющегося по сути основным хозяином паразита, так как в его организме происходит половой процесс возбудителя) и позвоночного хозяина (человека, являю-

щегося промежуточным хозяином, в организме которого обитают бесполое формы паразита). Известны и более сложные паразитарные системы, где паразит, прежде чем попасть в основного хозяина, меняет двух и более промежуточных хозяев. Одним из последствий изменения климата может быть нарушение взаимодействия между компонентами паразитарной системы, снижающее ее эффективность, несмотря на то, что для каждого отдельно взятого компонента эти изменения могут быть благоприятны (Алексеев, 2004, 2006; Бернштейн и др., 2004; Беэр, Эльпинер, 2004; Коренберг, 2004; Литвин и др., 1998; Платонов, 2006; Платонов и др., 2004; Сергиев и др., 2004; Ревич, Малеев, 2003; Хайнес и др., 2004). Это — существенный источник неопределенности в оценках влияния ожидаемых в XXI веке изменений климата на распространение паразитарных заболеваний человека.

Представленные выше качественные оценки влияния изменения климата на распространение инфекционных болезней человека, выполненные в основном экспертным путем на основе метода аналогий, необходимо дополнять результатами расчетных оценок, позволяющими выявить климатический сигнал в количественной форме. Такие исследования сейчас начали развиваться. Ниже приведены результаты расчетной перспективной оценки влияния изменения климата на потенциальный ареал, определяемый фактором температуры (*T*-ареал), для трехдневной малярии *P. vivax* на территории стран СНГ в XXI веке. Соответствующие методы изложены в разделах 2.1.5 и 3.1.5. Перспективная оценка выполнялась при двух сценарных предположениях о характере изменения температуры на рассматриваемой территории:

а) долговременное (30 лет и более) увеличение средней температуры воздуха на 1 и 2°C по сравнению с нормой 1966–1995 гг. произойдет при сохранении ее естественной изменчивости, характерной для этого базового периода. На рис. 3.5.1 представлены результаты соответствующих оценок в картографической форме (Семенов и др., 2006).

На рис. 3.5.1 видно, что граница ареала в обоих случаях сдвигается сходным образом, в основном к северу, а в восточной части — к востоку. Типичный пространственный масштаб сдвига к северу — около 100–200 км. Возможное значительное продвижение границы ареала к востоку в регионах Восточной Сибири и Дальнего Востока подлежит более детальному анализу, в частности, учитывая рельеф этой территории (высотный аспект);

б) предполагалось, что в 1996–2025 гг. по сравнению с 1966–1995 гг. воздействие изменения климата на воспроизводство возбудителя малярии человека в организме переносчика изменится так же, как оно менялось в 1966–1995 гг. по сравнению с 1936–1965 гг. Таким образом, рассматрива-

3. ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XXI В.

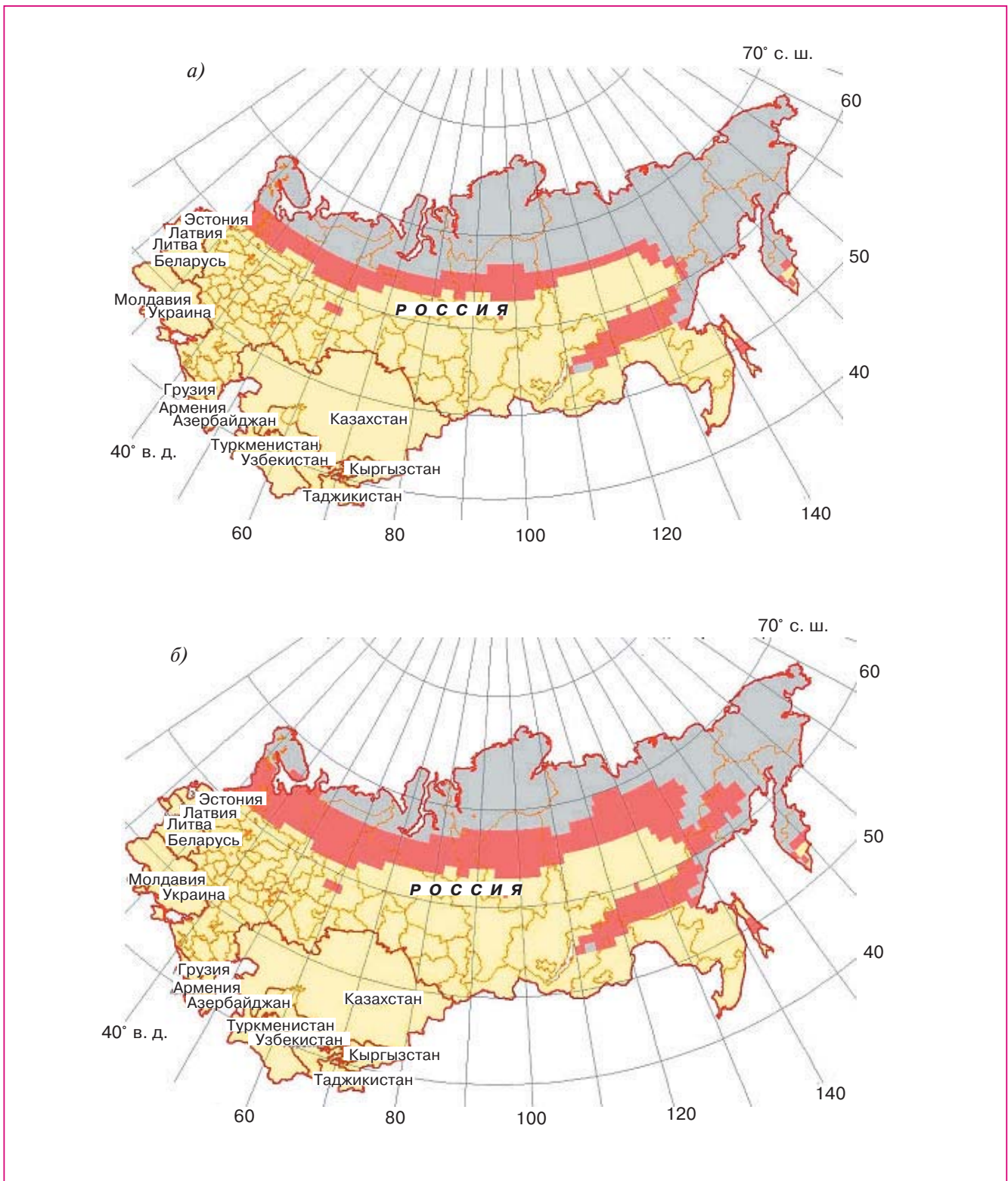


Рис. 3.5.1. Расширение *T*-ареала возбудителя трехдневной малярии *P. vivax* за период 1996–2025 гг. при увеличении температуры на 1 (а) и 2°С (б) по сравнению с нормой 1966–1995 гг. и сохранении характера естественной изменчивости температуры. Точка в оба периода времени не входила в ареал — серый цвет; точка не входила в ареал в 1966–1995 гг., а в 1996–2025 гг. вошла — красный цвет; точка входила в ареал в оба периода — желтый цвет.

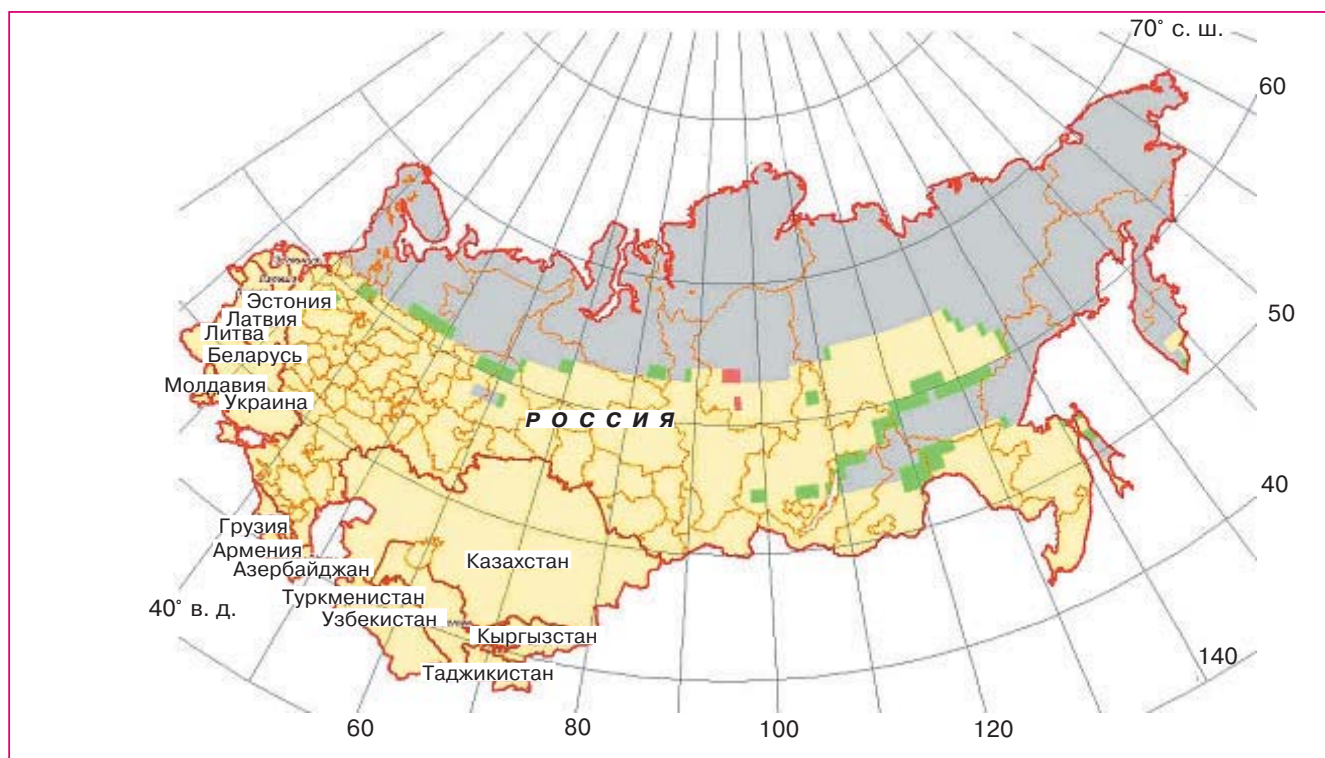


Рис. 3.5.2. Перспективная оценка изменения T -ареала *P. vivax* в 1996–2025 гг. по сравнению с 1966–1995 гг.: точка в оба периода времени не входила в ареал — серый цвет; точка входила в ареал в 1966–1995 гг., а в 1996–2025 гг. не вошла — зеленый цвет; точка не входила в ареал в 1966–1995 гг., а в 1996–2025 гг. вошла — красный цвет; точка входила в ареал в оба периода времени — желтый цвет.

ется разновидность инерционного сценария. При построении перспективной оценки T -ареала трехдневной малярии использовался прикладной климатический индекс — сумма эффективных температур (см. раздел 2.1.5). Результаты такой перспективной оценки представлены на рис. 3.5.2.

Представленные на рис. 3.5.2 изменения ареала можно охарактеризовать следующим образом: произошло сокращение ареала вдоль северной и восточной его границ; незначительное расширение ареала в центральной части Средней Сибири (Ясюкевич, Гельвер, 2003а, 2003б; Ясюкевич, 2004).

Из сравнения рис. 3.5.1 и рис. 3.5.2 видно, что предположения *a* и *б*, приводят к совершенно разным выводам о возможном движении северной и восточной границ T -ареала трехдневной малярии. Это связано с тем, что в рамках предположения *a* меняются лишь средние значения температуры, а предположение *б* неявно учитывает как изменение средней температуры, так и изменение характера годового хода среднесуточной температуры. Перспективные оценки, получаемые в рамках предположения *б* — экстраполяционные, а закономерности изменения температуры в XX веке указывают на одновременное изменение и средних значений температуры, и характеристик го-

дового хода (см. раздел 2.5). В этом плане предположение *б* следует признать более реалистичным для получения перспективных оценок.

На основании инерционного сценария (предположение *б*) можно сделать заключение, что эпидемиологическая ситуация по малярии на территории России, по крайней мере до 2025 г., под воздействием только климатических факторов ухудшаться не будет (Семенов и др., 2006).

3.5.5. Литература

- Авалиани С. Л., Буштуева К. А., Голуб А. А., 2004.** Медико-демографическая оценка выгод от снижения выбросов парниковых газов, в кн.: Изменение климата и здоровье России в XXI веке. Сборник материалов международного семинара (5–6 апреля 2004 г.), под ред. Н. Ф. Измерова, Б. А. Ревича, Э. И. Коренберга, М., Издательское товарищество «АдамантЪ», с. 185–194.
- Алексеев А. Н., 2004.** Возможные последствия вероятного глобального потепления климата для распространения кровососущих эктопаразитов и передаваемых ими патогенов, в кн.: Изменение климата и здоровье России в XXI веке. Сборник материалов международного семинара (5–6 апреля 2004 г.), под ред. Н. Ф. Измерова

3. ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XXI В.

- ва, Б. А. Ревича, Э. И. Коренберга, М., Издательское товарищество “АдамантЪ”, с. 67–79.
- Алексеев А. Н., 2006.** Влияние глобального изменения климата на кровососущих эктопаразитов и передаваемых ими возбудителей болезней, Вестник РАМН, № 3, с. 21–25.
- Бернштейн А. Д., Апекина Н. С., Коротков Ю. С., Демина В. Т., Хворенков А. В., 2004.** Геморрагическая лихорадка с почечным синдромом: экологические предпосылки активизации европейских лесных очагов, в кн.: Изменение климата и здоровье России в XXI веке. Сборник материалов международного семинара (5–6 апреля 2004 г.), под ред. Н. Ф. Измерова, Б. А. Ревича, Э. И. Коренберга, М., Издательское товарищество “АдамантЪ”, с. 105–113.
- Бэрр С. А., Эльпинер Л. И., 2004.** Паразитарные системы и заболеваемость паразитозами в связи с изменением климата, в кн.: Изменение климата и здоровье России в XXI веке. Сборник материалов международного семинара (5–6 апреля 2004 г.), под ред. Н. Ф. Измерова, Б. А. Ревича, Э. И. Коренберга, М., Издательское товарищество “АдамантЪ”, с. 157–166.
- Варганова О. В., 1998.** Методические подходы к оценке надежности и экологической безопасности промысловых трубопроводов, Нефтяное хозяйство, № 11, с. 47–48.
- Государственный доклад “О санитарно-эпидемиологической обстановке в Российской Федерации в 2004 году”, 2005.** М., Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 269 с.
- Коренберг Э. И., 2004.** Экологические предпосылки возможного влияния изменений климата на природные очаги и их эпидемическое проявление, в кн.: Изменение климата и здоровье России в XXI веке. Сборник материалов международного семинара (5–6 апреля 2004 г.), под ред. Н. Ф. Измерова, Б. А. Ревича, Э. И. Коренберга, М., Издательское товарищество “АдамантЪ”, с. 54–67.
- Литвин Ю. В., Гинцбург А. Л., Пушкарева В. И., Романова В. М., Боев Б. В., 1998.** Экологические аспекты экологии бактерий, М., Фармуспринт, 256 с.
- Население России, 2001.** Девятый ежегодный демографический доклад, 2002. Под ред. А. Г. Вишневого, М., Книжный дом “Университет”, 216 с.
- Николаев Н. Н., 1999.** Основные причины возникновения аварийных отказов на магистральных трубопроводах, Нефть и газ, Известия вузов, Тюменский государственный университет, № 2, с. 77–81.
- Платонов А. Е., 2006.** Влияние погодных условий на эпидемиологию трансмиссивных инфекций (на примере лихорадки Западного Нила в России), Вестник РАМН, № 2, с. 25–29.
- Платонов А. Е., Рудникова Н. А., Лазоренко В. В., Журавлев В. И., 2004.** Влияние погодных условий на эпидемиологию лихорадки Западного Нила в южных регионах России, в кн.: Изменение климата и здоровье России в XXI веке. Сборник материалов международного семинара (5–6 апреля 2004 г.), под ред. Н. Ф. Измерова, Б. А. Ревича, Э. И. Коренберга, М., Издательское товарищество “АдамантЪ”, с. 113–121.
- Платонова Л. В., Михеев В. Н., Локтев В. Б., Кононова Ю. В., Шестопалов А. М., Дупал Т. А., 2006.** О первых результатах эпидемиологического мониторинга лихорадки Западного Нила в Новосибирской области, Новосибирск, Сибирь-Восток, № 3, с. 45–48.
- Ревич Б. А., Малеев В. В., 2003.** Потепление климата — возможные последствия для здоровья населения, в кн.: Климатические изменения: взгляд из России, М., ТЕИС, с. 99–137.
- Ревич Б. А., Шапошников Д. А., 2004.** Высокие температуры воздуха в городах — реальная угроза здоровью населения, в кн.: Изменение климата и здоровье России в XXI веке. Сборник материалов международного семинара (5–6 апреля 2004 г.), под ред. Н. Ф. Измерова, Б. А. Ревича, Э. И. Коренберга, М., Издательское товарищество “АдамантЪ”, с. 175–184.
- Ревич Б. А., Шапошников Д. А., 2006.** Климатические условия, качество атмосферного воздуха и смертность населения Москвы в 2000–2006 годах, в кн.: Климат, качество атмосферного воздуха и здоровье москвичей, под ред. Б. А. Ревича, М., Издательское товарищество “АдамантЪ”, с. 102–140.
- Семенов С. М., Ясюкевич В. В., Гельвер Е. С., 2006.** Выявление климатогенных изменений, М., Метеорология и гидрология, 324 с.
- Сергиев В. П., Баранова А. М., Маркович Н. Я., Супряга В. Г., Ганушкина Л. А., 2004.** Возможное влияние изменения климата на распространение трансмиссивных болезней на территории России, в кн.: Изменение климата и здоровье России в XXI веке. Сборник материалов международного семинара (5–6 апреля 2004 г.), под ред. Н. Ф. Измерова, Б. А. Ревича, Э. И. Коренберга, М., Издательское товарищество “АдамантЪ”, с. 143–147.
- Хайнес А., Коватс Р. С., Кемпбелл-Лендрум Д., Корвалан К., 2004.** Изменение климата и здоровье человека — воздействия, уязвимость и адаптация, Труды Всемирной конференции по изменению климата, Москва, 29 сентября — 3 октября 2003 г., М., Новости, с. 307–322.
- Ясюкевич В. В., 2004.** Прогноз распространения малярии на территории России в первой четверти XXI века, Медицинская паразитология и паразитарные болезни, № 2, с. 31–33.

- Ясюкевич В. В., Гельвер Е. С., 2003а.** Потенциальный ареал малярии на территории России, определяемый фактором температуры: современные изменения, в кн.: Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем, т. 19, СПб, Гидрометеоиздат, с. 217–236.
- Ясюкевич В. В., Гельвер Е. С., 2003б.** Возможные климатогенные изменения ареала малярии на территории России, Тезисы докладов Всемирной конференции по изменению климата, Москва, Россия, 29 сентября — 3 октября 2003 г., М., ИГКЭ, с. 564.
- Climate Change 1995, 1996.** Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change. Scientific and Technical Analysis. Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change, Watson R. T., Zinyowera M. C., and Moss R. H. (eds.), Cambridge University Press, 879 p.
- Climate Change 2001, 2001.** Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change, McCarthy J. J. et al. (eds.), Cambridge University Press, 1032 p.
- Climate Change 2007, 2007a.** The Physical Science Basis. Summary for Policymakers. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, <http://www.ipcc.ch/>.
- Climate Change 2007, 2007b.** Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Parry M. L., Canziani O. F., Palutikof J. P., van der Linden P. J., Hanson C. E., eds., Cambridge, UK, Cambridge University Press, 976 p.
- Lieshout van M., Kovats R. S., Livermore M. T. J., and Martens P., 2004.** Climate change and malaria: Analysis of the SRES climate and socio-economic scenarios, Global Environmental Change, vol. 14, pp. 87–99.
- Martens P., Kovats R. S., Nijhof S., de Vries P., Livermore M. T. J., Bradley D. J., Cox J., and McMichael A. J., 1999.** Climate change and future populations at risk of malaria, Global Environmental Change, vol. 9, pp. 89–107.
- Weller G. and Lange M. (eds.), 1999.** Impacts of Global Climate Change in the Arctic Regions, Report from a Workshop on the Impacts of Global Change, Center for Global Change and Arctic System Research, University of Alaska, Fairbanks, Tromsø, Norway, 59 p.

3.6. ПРИРОДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ СУШИ

Ведущие авторы: Е. А. Ваганов, А. Н. Золотокрылин, А. В. Пчелкин

Авторы: А. А. Величко, М. В. Гаврило, А. А. Минин, Е. И. Парфенова, А. А. Романовская, Н. М. Чебакова

Редактор-рецензент: А. В. Голубев

3.6.1. Вводные замечания

В долговременном плане климат является одним из основных факторов, формирующих экосистему, т. е. определяющих видовой состав, согласованность процессов в разных звеньях, потоки вещества и энергии. Реакции биологических систем на изменение климата существенно зависят от масштаба времени.

Изменение значений гидрометеорологических величин в масштабах часов, суток и более оказывает немедленное влияние на физиологические процессы, происходящие в живых организмах, на их обмен веществом и энергией с внешней абиотической и биотической средой, в частности на процессы фотосинтеза и образования биологической продукции.

Годовой ход гидрометеорологических величин оказывает непосредственное воздействие на фенологические события в жизни растений и животных. Его изменения в масштабах года, десятиле-

тия и более приводят к сдвигам сроков фенологических явлений. В этих же временных масштабах изменчивость климата приводит к изменению численности популяций.

За десятилетие и большие периоды времени возможны изменения видовой структуры природных экосистем и порядка доминирования видов. Вначале климатогенные изменения структуры природных экосистем будут происходить в данной точке на уровне особей и популяций и сказываться в первую очередь на видовом составе экосистем, численности популяций и доминировании видов. При этом, поскольку продолжительность поколений у разных видов разная и неодинакова эффективность автономных адаптаций, существует вероятность рассогласования межвидовых взаимодействий, выработанных в ходе коэволюции. Впоследствии начнутся направленные миграционные процессы. Они могут иметь как активный, адаптивный характер, так и пассивный — особи, ранее погибавшие при попадании в “чужую” экосистему или потомство которых не выдерживало конкуренции с ее коренными обитателями, в условиях изменившегося климата успешно укореняются. Вследствие этого, в частности, происходит климатогенное движение границ биомов в масштабе столетия и далее. В ходе этих процессов могут исчезать виды, имеющие ограниченные воз-

3. ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XXI В.

возможности адаптации, например, узкоспециализированные, редкие, находящиеся под прессом иных, неклиматических факторов.

3.6.2. Состояние растений

К концу XXI века, согласно разным сценариям антропогенного воздействия на глобальный климат, ожидается существенное увеличение концентрации диоксида углерода в атмосфере и повышение средней глобальной температуры воздуха на 1,8–4,0°C по отношению к уровню конца XX века (Climate Change 2007, 2007).

Потепление климата приведет к более раннему началу вегетации северных растений. Продолжительность вегетационного периода увеличится, и это обусловит соответствующее увеличение продуктивности растений (Цельникер и др., 2002), а зависимость интенсивности фотосинтеза от концентрации CO₂ в атмосфере создаст более благоприятные условия для высших растений в результате более эффективного использования солнечной энергии и воды.

В то же время повышение температуры в приповерхностном слое атмосферы может сопровождаться увеличением частоты и продолжительности жарких периодов с дефицитом осадков (риск засухи и лесных пожаров при этом возрастает), нарушениями почвенно-гидрологического режима, изменениями термического режима многолетней мерзлоты (в том числе характеристик сезонного таяния) и другими неблагоприятными явлениями. Увеличение пожароопасности лесов будет наблюдаться повсеместно в XXI веке, в особенности на юге страны (см. раздел 3.10).

Ожидаемое в XXI веке дальнейшее потепление климата повлечет за собой, в частности, изменение сроков фенологических событий у растений. На рис. 3.6.1 в картографической форме представлено расчетное изменение времени начала зеленения у березы *Betula pendula* Roth. на территории России и соседних стран в 1996–2025 гг. Расчет выполнен с помощью суммы эффективных температур (см. разделы 2.1.6 и 3.1.6) для увеличения средней температуры на 1°C по сравнению с уровнем 1966–1995 гг. и при условии неизменности остальных показателей изменчивости климата. На рисунке видно, что типичный сдвиг времени начала зеленения березы в сторону более ранних дат — от 3 до 6 суток. Сдвиг в сторону более ранних дат является наиболее выраженным (6 суток и более) в некоторых субрегионах Северного Кавказа, Закавказья, Дальнего Востока (Приморье), Камчатки.

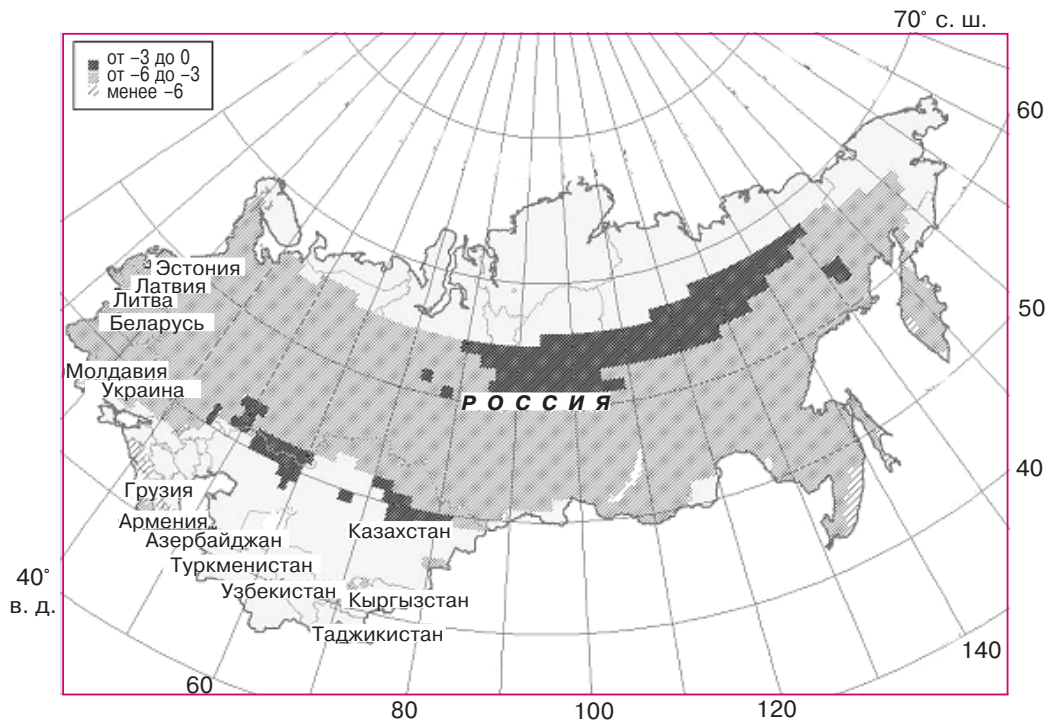


Рис. 3.6.1. Изменение расчетной даты зеленения березы *Betula pendula* Roth. на территории России и соседних стран (сутки) в 1996–2025 гг. исходя из предположения, что средняя температура повсеместно увеличилась на 1°C по сравнению с температурой в 1966–1995 гг., а характер изменчивости климата не менялся (Семенов и др., 2006).

3.6.3. Границы растительных зон и изменения биоразнообразия

Сдвиги границ растительных зон, ожидаемые в будущем в связи с изменением климата, можно оценивать либо методом палеоаналогий, либо с помощью моделей климат — растительность.

В табл. 3.6.1 приведены возможные изменения в сообществах растений при потеплении в XXI веке (Величко и др., 2002); характер изменений установлен с помощью метода палеоаналогий.

3.6.3.1. Европейская территория России

Оценки для *Европейской территории России*, выполненные на основе датированных по радиоуглероду остатков растений и органических остатков в Западной Европе (Huntly and Birks, 1983) и на ЕТР, показали, что в первой половине голоцена темп расселения большинства древесных пород составлял обычно 200–300 м/год, у березы и осины он достигал 500–1000 м/год. Поэтому изменения в составе растительности, обусловленные распространением растений за пределы их современных ареалов под влиянием изменения климата, неизбежно будут отставать от климатических изменений (Величко и др., 1991). Ожидаемые в XXI веке климатогенные изменения растительности Восточно-Европейской равнины для трех временных срезов, представленные в табл. 3.6.1, комментируются ниже, следуя работе (Величко и др., 2002). Характеристики изменения температуры и состояния растительных сообществ даются по сравнению со значениями последней четверти XX века.

В 2020–2030 гг. (предполагаемое изменение температуры 0,7–1°C) заметных сдвигов в положении экотонов не будет. Изменения коснутся внутренней структуры сообществ, причем в первую очередь они проявятся в составе подроста деревьев и кустарников и в составе трав. В зоне бореальных лесов, в подзоне темнохвойной тайги из-за угнетения более холодолюбивых видов в коренных ценозах в подросте увеличится численность березы и осины. В подзоне хвойно-широколиственных лесов климатические условия станут более благоприятными для широколиственных пород, в частности дуба черешчатого, и их участие в подросте увеличится. В коренных фитоценозах появятся береза и осина. Вблизи южной границы подзоны уменьшится ценотическая роль ели. В подзоне широколиственных лесов усилится возобновление широколиственных пород (дуба, липы, на западе — также граба). В лесостепи усиление возобновления этих пород приведет к увеличению их роли в растительном покрове. В центральных районах равнины (бассейн Верхней Волги, Среднерусская возвышенность) в связи с сокращением годовой суммы осадков возрастет роль

сосны, особенно на песчаных грунтах, и можно ожидать некоторого угнетения древесных пород в лесных сообществах лесостепи. На юге равнины, в зоне степей и полупустынь, возрастет роль мезофитных трав (за счет местного банка семян). В полупустыне возможно сокращение численности полыни.

В 2050-е годы (предполагаемое изменение температуры 1,7–1,8°C) увеличение температуры летом и особенно зимой достигнет такого уровня, что несмотря на повсеместное увеличение осадков на большей части Восточно-Европейской равнины, особенно к северу от 63–65° с. ш., испаряемость увеличится более чем на 100 мм в год. В связи с этим поверхностное увлажнение сократится даже в зоне тундры, и здесь следует ожидать более широкого распространения кустарниковых тундр в результате сокращения площади типичных моховых тундр. Вблизи границы с лесотундрой будет заметно продвижение древесных пород к северу по долинам рек, а возможно — и их выход на плакоры. Правда, учитывая малую скорость расселения древесных пород, надо полагать, что сдвиг границы леса к северу не превысит 20–30 км. В бореальной подзоне лесной зоны начнется проникновение более термофильных растений (преимущественно трав) на север. В подзоне хвойно-широколиственных лесов усилится роль широколиственных пород. На юге подзоны ель будет испытывать угнетение из-за повышения температуры зимой. В составе коренных лесных ценозов заметную роль будут играть береза и осина. В подзоне широколиственных лесов, возможно, начнется продвижение на восток (на несколько десятков километров) таких представителей более западных провинций, как граб, бук и их спутники, а в лесостепи увеличится площадь, занятая древесной растительностью (широколиственные породы, береза, осина). Древесные породы также будут проникать на юг в степную зону по речным долинам. Качественных изменений следует ожидать в зоне степей и особенно полупустынь, так как летние температуры здесь будут слабо отклоняться от современных, а количество осадков увеличится на 50%. В результате возникнут благоприятные условия для мезофильных трав; в Прикаспии полынь и другие полукустарники — эдификаторы полупустынных сообществ — будут замещаться злаками и мезофильными травами.

В последние десятилетия XXI века (предполагаемое изменение температуры 2–2,5°C) можно ожидать, что хотя северная граница леса фактически сдвинется к северу на расстояние лишь до 30–50 км, климатические условия, благоприятные для расселения деревьев, установятся до самого побережья Северного Ледовитого океана. Вследствие этого появление отдельных деревьев станет возможным на всей этой территории в результате

3. ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XXI В.

Таблица 3.6.1. Изменения растительных сообществ, возможные в условиях потепления климата в XXI веке (Величко и др., 2002)

Современная растительность	2020–2030-е годы	2050-е годы	Конец XXI века
Тундра	Увеличение численности кустарников и термофильных трав	Распространение кустарниковых тундр за счет моховых	Расселение древесных пород, сдвиг к северу границы леса
Березовая и еловая лесотундра	Увеличение численности деревьев за счет местного банка семян	Увеличение площади участков лесов и редколесий	Увеличение сомкнутости лесных сообществ, на юге — проникновение термофильных лесных элементов
Темнохвойная европейская тайга	Увеличение численности березы и осины в коренных ценозах	Увеличение роли термофильных элементов	На юге — иммиграция широколиственных пород
Хвойно-широколиственные леса	Увеличение численности термофильных трав, березы и осины в коренных ценозах, увеличение численности дуба и других широколиственных пород в подросте. Возможно снижение численности ели у южной границы ареала	Увеличение численности широколиственных пород. Постепенное сокращение численности ели вплоть до ее выпадения на юге ареала	Постепенное сокращение численности бореальных элементов и преобладание широколиственно-лесных видов трав, деревьев и кустарников
Широколиственные леса	Увеличение численности термофилов (трав, подростов деревьев и кустарников)	Продолжение процессов, начавшихся в 20–30-х годах	Иммиграция граба и бука со спутниками* на восток от их современных ареалов
Широколиственная лесостепь	Увеличение численности деревьев (за счет местного банка семян), расселение их на степных участках	Продолжение процессов, начавшихся в 20–30-х годах	Иммиграция граба со спутниками в центральные и восточные районы лесостепи
Степи	Расселение деревьев из речных долин и посадок, увеличение численности мезофильных трав	Продолжение процессов, начавшихся в 20–30-х годах	Иммиграция термофильных растений с запада
Полупустыня	Увеличение численности злаков и других мезофилов за счет местного банка семян. Сокращение ценотической роли полыни	Продолжение процессов, начавшихся в 20–30-х годах. Вблизи северной границы зоны — начало расселения мезофильных степных видов	Иммиграция степных видов
Пустыня	Увеличение численности злаков и других мезофилов за счет местного банка семян. Сокращение ценотической роли эдификаторов пустынных ценозов	Продолжение процессов, начавшихся в 20–30-х годах	Формирование мезофитных растительных сообществ видами местной флоры, на севере возможно участие иммигрантов

Примечание. * К числу спутников граба и бука, т. е. растений, постоянно встречающихся в грабовых лесах и в буковых лесах на равнинах и в нижнем горном поясе, относятся липа крупнолистная, клен явор, черешня, бересклет европейский, дерен красный.

дальнего переноса семян, в частности птицами. Существенные изменения будут происходить на юге темнохвойной тайги, где вследствие повышения температуры зимой до $-2...0^{\circ}\text{C}$ начнутся выпадение ели из состава лесов, замещение ее березой и местами сосной и проникновение широколиственных пород. Произойдет расширение подзоны широколиственных лесов не только к северу, но также к востоку и к югу, где она потенциально займет по меньшей мере территорию современной лесостепи. Последняя начнет смещаться на юг — к концу века сдвиг составит 50–70 км. В зоне степей создадутся благоприятные предпосылки для расселения деревьев и кустарников по долинам и балкам. В полупустыне и в пустыне растительный покров приобретет заметно более мезофитный характер (в некоторых районах — в том числе и за счет иммигрантов).

3.6.3.2. Сибирь

Для перспективной оценки влияния изменения климата на флористическое разнообразие используются методы нелинейной пошаговой регрессии, множественной нелинейной регрессии, кластерный и дискриминантный анализы. С помощью нелинейной регрессионной модели зависимости флористического разнообразия от параметров климата можно получать перспективные оценки его изменения в условиях меняющегося климата (Кожаринов, Минин, 2001).

Е. И. Парфенова и Н. М. Чебакова (2006) получили для Сибири зависимости флористического разнообразия 15 флористических районов, выделенных Л. И. Малышевым и др. (2000), от двух термических показателей — максимальной суммы температур выше 0°C , $(\Sigma T_0)_{\max}$, характеризующей возможные теплоресурсы в регионе, и разности между максимальными и минимальными суммами температуры выше 0°C , характеризующей уровень климатописического разнообразия по показателю теплообеспеченности, $\Delta = (\Sigma T_0)_{\max} - (\Sigma T_0)_{\min}$. Линейная регрессия, связывающая количество сосудистых видов (N) с указанными климатическими показателями, показывает, что флористическое богатство в регионе колеблется от 488 до 2535 видов и на 82% определяется энергетическими ресурсами.

Для территории Сибири была построена карта современного флористического разнообразия для территорий размером $5 \times 5^{\circ}$, что составляет в среднем около 100 000 км². Модельное флористическое разнообразие сосудистых растений изменяется от 100 на крайнем севере до 2500 на юге, что хорошо совпадает с картой Л. И. Малышева и др. (2000) для территорий такого же размера. Получение такой зависимости дает возможность прогнозировать

изменение флористического богатства при изменении климата. Например, для той же территории Сибири при потеплении климата по сценарию Центра климатических исследований Хэдли (HadCM3GGal) и при неограниченной влагообеспеченности прогнозируется к 2090 г. увеличение флористического разнообразия в полтора-два раза на большей части территории (рис. 3.6.2). Однако как показали Е. И. Парфенова и др. (2004) на примере флористического разнообразия степной растительности, флористическое разнообразие экспоненциально падает с увеличением засушливости климата. Поскольку увеличение засушливости климата моделируется по всем сценариям МОЦАО, следует ожидать потери флористического богатства на территориях, подверженных опустыниванию.

Ожидаемое в XXI веке изменение растительных зон в Сибири исследовалось с помощью имитационной модели — биоклиматической модели сибирской растительности. Эта модель растительности — усовершенствованная модель Будыко — является равновесной, статичной, т. е. она характеризует пространственное распределение сообществ растений по достижении равновесия в заданных климатических условиях.

В модели использованы три прикладных климатических индекса (см. раздел 3.1.6): сумма за календарный год среднесуточной температуры больше 5°C (характеризует обеспеченность теплом), отношение этой суммы к годовой сумме осадков (характеризует увлажнение) и сумма отрицательной температуры за календарный год (“холод”). Эти индексы определяют 11 типов зональной растительности Сибири. Биоклиматическая модель, собственно, указывает совокупность интервалов их значений, соответствующую каждому из типов.

Источником входной метеорологической информации для модели служили данные 200 сибирских метеостанций, которые интерполировались на географический континуум по методу М. Хатчинсона (Hutchinson, 2000) путем сопряжения с цифровой моделью рельефа с разрешением $30'$ в пикселе. Так были получены пространственные распределения трех упомянутых прикладных климатических индексов для современного климата. Для получения их пространственных распределений в 2090 г. использовался сценарий HadCM3GGal Центра климатических исследований Хэдли в Великобритании (Gordon et al., 2000). Полученные распределения климатических индексов были конвертированы с помощью биоклиматической модели (Чебакова и др., 2003) в соответствующие равновесные пространственные распределения растительности.

Распределение растительности в Сибири, соответствующее климату 2090 г., но без учета влия-

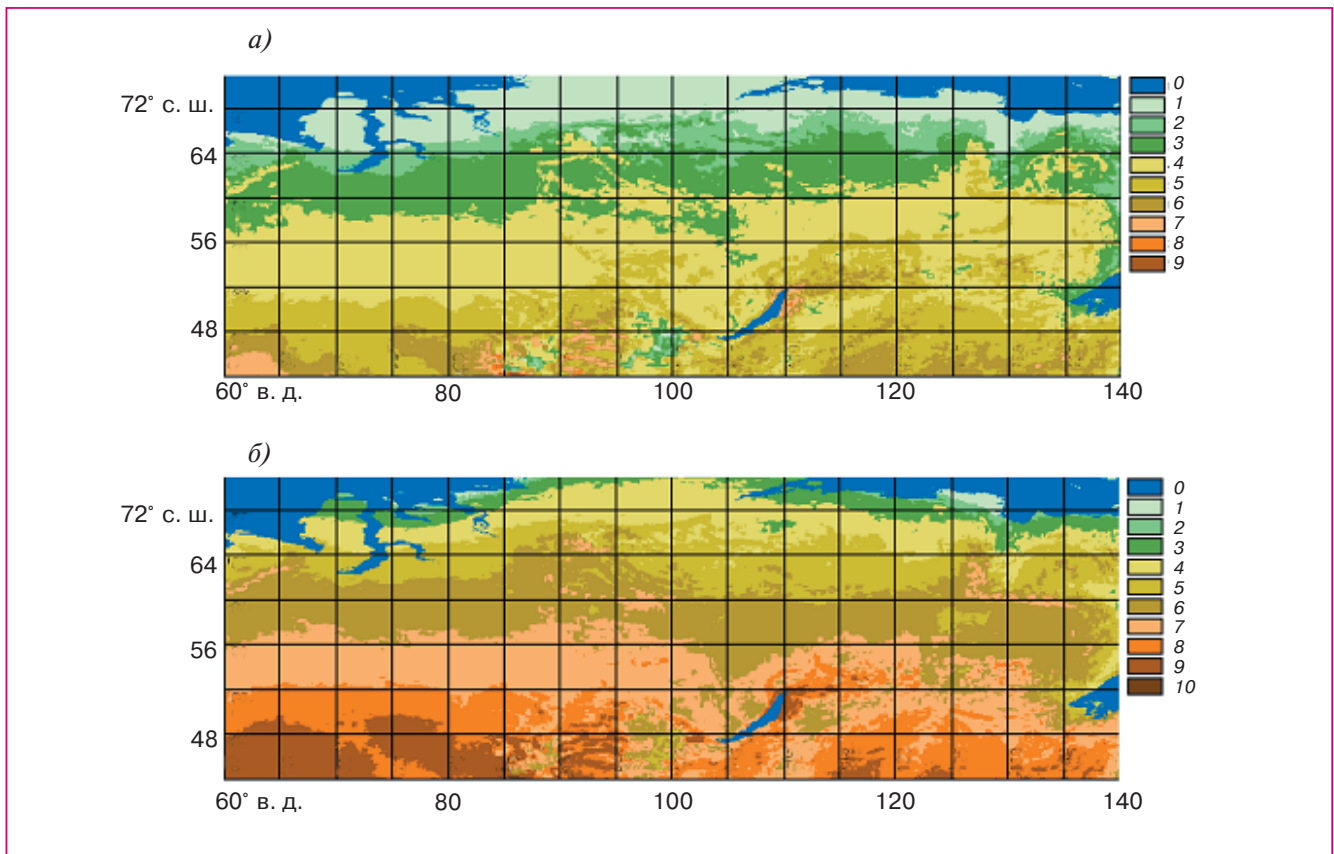


Рис. 3.6.2. Распределение современного (а) и в 2090 г. (б) флористического разнообразия (число видов в расчете на 100 000 км²) сосудистых растений в Сибири. 0 — вода, 1 — до 100, 2 — 100–300, 3 — 300–600, 4 — 600–900, 5 — 900–1200, 6 — 1200–1500, 7 — 1500–1800, 8 — 1800–2100, 9 — 2100–3000, 10 — 3000–4000 (Парфенова, Чебакова, 2006).

ния вечной мерзлоты, существенно отличается от современного, см. рис. 3.6.3 (Чебакова и др., 2003). В условиях более сухого, чем современный, климата площадь лесов сокращается в два раза. Граница между лесами и степью в Центральной Сибири сдвигается на 10° к северу по отношению к сегодняшней. Площадь степной зоны в Южной Сибири увеличивается на 30%, при этом площадь опустыненных степей увеличится в два раза. В измененном климате все климатипы (климатические экотипы) древесных видов *Larix sibirica* Ledeb. и *Pinus sylvestris* L. существенно перераспределяются в пространстве. Современные климатипы сдвигаются далеко на северо-восток и замещаются более продуктивными южными климатипами.

3.6.4. Климатическое опустынивание

Значение климатического фактора в опустынивании деградированных земель на ЕТР уменьшалось в конце XX века (см. раздел 2.6). Положительным следствием этого стало восстановление растительного покрова, ослабление аридной дену-

дации, рост частоты осадков, промывающих почву. Отрицательным — рост гидроморфного опустынивания вследствие повышения уровня грунтовых вод, увеличение роли пирогенного фактора. В то же время антропогенный фактор опустынивания (чрезмерная хозяйственная нагрузка), значение которого на ЕТР уменьшилось в 1990-х годах, вновь стал усиливаться в начале XXI века.

Вопрос, является ли ослабление аридности климата ЕТР в конце XX века кратковременной флуктуацией регионального климата или, напротив, устойчивым региональным проявлением глобального потепления климата — остается открытым. Модельные оценки показывают противоречивые результаты. Оценки изменений климата в будущем, полученные с учетом разных сценариев антропогенного воздействия на глобальный климат и с помощью разных расчетных климатических моделей, указывают на то, что в середине XXI века на юге России возможно как аридное, так и гумидное потепление (Alcamo J. et al., 2003; Школьник и др., 2006; Груза и др., 2006).

3. ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XXI В.

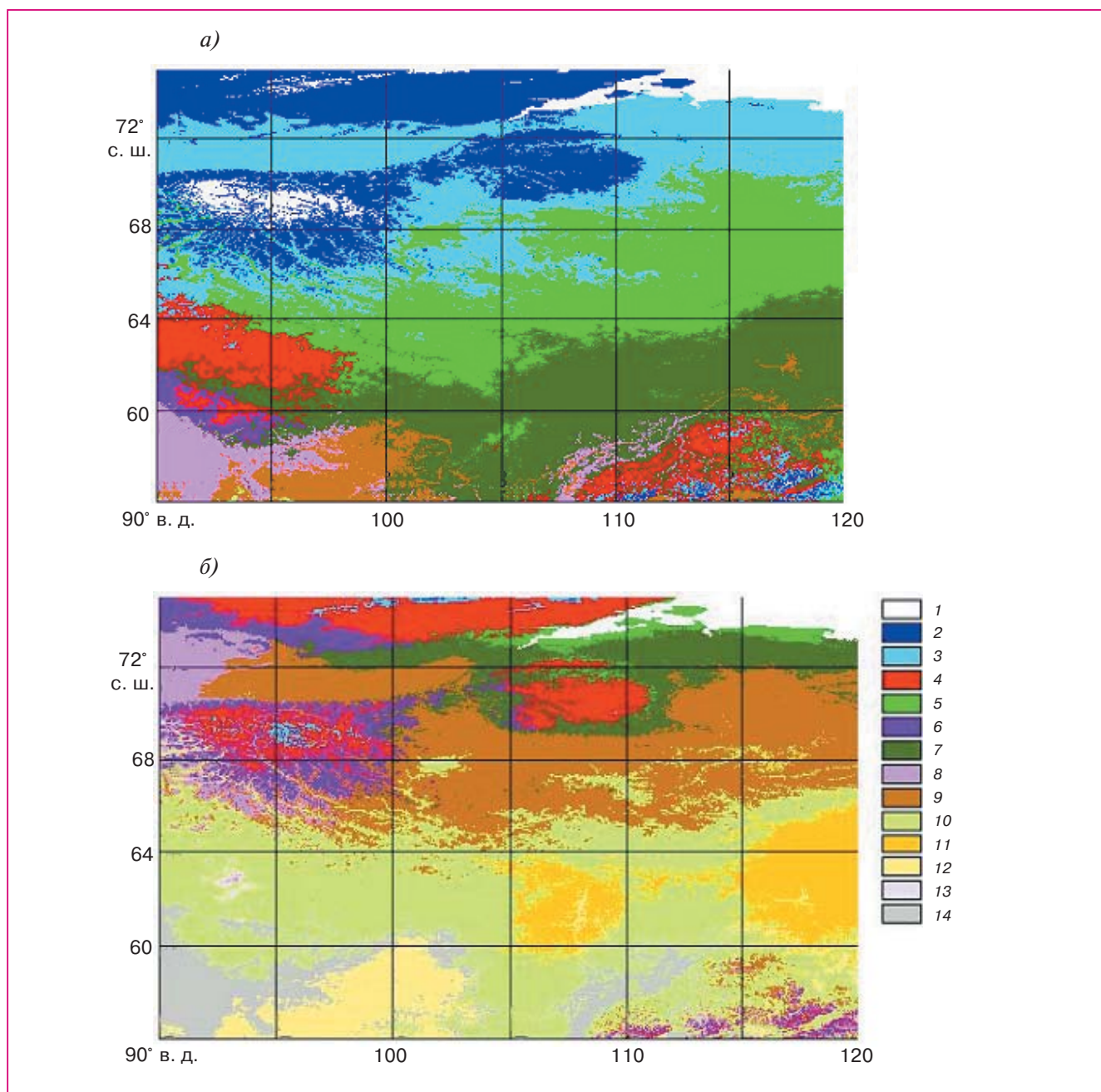


Рис. 3.6.3. Современное распределение растительности в Центральной Сибири (а) и равновесное состояние растительности, соответствующее климату 2090 г. (б) (Чебакова и др., 2003). 1 — вода, гольцы; 2 — тундра; 3 — лесотундра; 4 — темнохвойная северная тайга; 5 — светлохвойная северная тайга; 6 — темнохвойная средняя тайга; 7 — светлохвойная средняя тайга; 8 — темнохвойная южная тайга; 9 — светлохвойная южная тайга; 10 — лесостепь; 11 — степь; 12 — полупустыня; 13 — широколиственные леса; 14 — лесостепь умеренной зоны.

В то же время наблюдаемые до настоящего времени изменения климата юга ЕТР более соответствуют гумидному потеплению (Золотокрылин, Черенкова, 2006; Сиротенко, Грингоф, 2006; Золотокрылин, Виноградова, 2007). Перспективные оценки показателей аридности и опасных засух,

соответствующие гумидному потеплению, были получены в работе (Золотокрылин и др., 2007). При этом были использованы параметры климата XXI века, оцененные с помощью региональной климатической модели ГГО (Школьник и др., 2006).

3. ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XXI В.

Расчеты показали, что к середине XXI века дальнейшего ослабления аридности следует ожидать только в восточной части степных и лесостепных районов ЕТР. На остальной части ЕТР изменения аридности будут незначительными за исключением степных районов Краснодарского края, где вероятно усиление аридности. К концу XXI века аридность климата усилится на ЕТР в лесостепи, степи и полупустыне. Более сухими станут степи Краснодарского края и Ростовской области.

Площадь опасной атмосферной засухи несколько сократится к середине XXI века. Изменения частоты опасных засух будут носить локальный характер. Слабое увеличение этой частоты возможно к концу века. Изменения площади и частоты опасной почвенной засухи будут минимальными и в середине, и в конце XXI века.

Таким образом, к середине XXI века заметное изменение аридности климата юга ЕТР маловероятно. Однако это не исключает усиление антропогенной составляющей опустынивания вследствие роста хозяйственных нагрузок на экосистемы. В этих условиях тенденция увеличения аридности, которая может возникнуть к концу XXI века, создаст предпосылки для наступления катастрофического опустынивания на юге ЕТР.

3.6.5. Особо охраняемые природные территории

Ожидаемые изменения флоры и фауны заповедников под воздействием меняющегося климата важно оценивать, в частности, потому, что в их состоянии климатический сигнал проявляется наиболее заметно по отношению к изменениям, связанным с локальными антропогенными факторами — нагрузкой от них там минимальна.

Значительная часть заповедников, расположенных в лесной зоне, оказывается уязвимой при изменении климата вследствие, прежде всего, чувствительности сообществ растений. Повышение температуры на 1°C может заметно изменить их состав и функционирование фитоценоза (Биоразнообразие и изменение климата, 2006). Однако в особо уязвимом положении оказываются некоторые виды крупных животных, обитающие в лесах, и почти 9% всех известных видов деревьев, которые уже подвержены в той или иной степени риску исчезновения (Биоразнообразие и изменение климата, 2006). Дополнительное изменение климата может оказаться критическим для них.

В горных районах перемещение вверх альпийских видов в связи с потеплением ограничено высотой самих гор. Так, в Национальном парке “Таганай” в XX веке произошло резкое сокращение площади горно-тундровой растительности и

уменьшение биоразнообразия высокогорий. При продолжении столь быстрого продвижения верхней границы леса вверх в ближайшие 50 лет горно-тундровые сообщества могут практически полностью исчезнуть на территории парка (Шиятов и др., 2001).

На заповедных территориях Алтай-Саянского региона (Алтайский, Саяно-Шушенский и др. заповедники) существенно сократится площадь высокогорных сообществ, поскольку их продвижение вверх и формирование почвенного покрова на скальных поверхностях требуют длительного времени. Через 30–50 лет верхняя граница леса может существенно подняться (по разным оценкам и в разных местах — от 15 до 150 м). У большинства растений продолжительность вегетационного периода увеличится на 1–2 недели (преимущественно за счет весенних месяцев) (Алтай-Саянский экорегион, климатический паспорт, 2001).

В заповедных экосистемах бассейна Амура в XX веке происходило существенное направленное изменение климата, имеющее в целом черты современного глобального потепления. Если эта тенденция сохранится и в XXI веке, то это вызовет ответные, часто опосредованные и многоступенчатые реакции биоты. Они проявятся в смещении сроков наступления фенологических фаз, изменении численности и характере поведения животных, состоянии растительных сообществ (Минин, 2006).

Перспективная оценка реакции животных на изменение климата гораздо сложнее, чем для растений. Жизнь животных связана с климатом не столь непосредственно, как жизнь растений. Она опосредствованно проявляется через условия местообитания, наличие и доступность корма. Возможность активного перемещения и приспособления животных к меняющимся условиям среды смягчает потенциально негативные для них последствия ее изменений. Очевидно, этими причинами и обусловлено отсутствие у животных столь же четких, как и у большинства растений, тенденций изменения сроков фенологических событий в последние десятилетия (Минин, 2006).

Для разных видов животных ожидаемые в XXI веке изменения климата могут иметь как положительное, так и негативное значение (Заумыслова, 2006). Так, в Сихотэ-Алинском заповеднике следует ожидать продвижения на север ареалов амурского тигра и пятнистого оленя. Численность лося предположительно будет снижаться. Численность волка также будет снижаться одновременно с увеличением численности тигра, который вытесняет волка.

При увеличении продолжительности безморозного периода следует ожидать продвижение теплолюбивых видов рептилий и земноводных на север, в частности, дальневосточной жерлянки,

красноспинного полоза, тигрового ужа и др. (Маслова, 2006).

В Среднем Приамурье ожидается продвижение на север границ ареалов таких птиц, как чомга (или большая поганка), хохлатый осоед, грач, белокрылый погониш, индийская камышевка, ходулочник. Эти южные по происхождению виды определенно проявили в конце XX века положительные тенденции в состоянии популяций. Это произошло на всем пространстве их биогеографических ареалов и в четкой зависимости от характера изменения климата, что свидетельствует об общности факторов расселения и их климатогенном характере. Следует, однако, отметить, что для ряда видов прослеживаются отрицательные изменения состояния популяций (лысуха, древесная трясогузка, малый скворец) (Антонов, 2006).

В XXI веке изменения суммы осадков в осенне-зимний период и температурного режима могут привести к нарушению естественных сезонных миграционных процессов у ряда животных, например, у мигрирующей селемджинской популяции сибирской косули в Норском заповеднике или кабарги в других заповедниках (Подольский и др., 2006; Дарман и др., 2003).

В заповедниках Алтай-Саянского региона (Алтайский, Саяно-Шушенский заповедники и др.) многие ожидаемые в XXI веке изменения климата в целом неблагоприятны для животных (Алтай-Саянский экорегион, климатический паспорт, 2001). В краткосрочной перспективе, в ближайшие 15–20 лет, наиболее неблагоприятно будет существенное потепление весенне-зимних месяцев. Результатом этого может стать большая частота многоснежных зим и сильных паводков и наводнений, подобных тем, что были в 2001 г. Одновременно увеличится вероятность зимних оттепелей, пока нехарактерных для региона. Это может стать важным и принципиально новым фактором жизни животных. В северной половине региона ухудшатся зимние условия существования копытных и хищных млекопитающих, что приведет к большим сезонным миграциям. В отдельные годы обильные снегопады могут повлечь за собой массовую гибель животных, включая аргали, и уменьшение численности ирбиса. В результате оттепелей уплотнение снежного покрова и формирование в нем особо плотных слоев могут привести к гибели боровой дичи и мелких млекопитающих, зимующих под толщей снега. В южной, особенно юго-восточной, части региона зимние условия жизни млекопитающих несколько смягчатся, однако и там из-за усиления летнего засушливого периода копытные будут вынуждены больше времени проводить на высокогорных пастбищах. Может возрасти их конкуренция с домашним скотом. В более отдаленной перспективе все боль-

ше будет сказываться сужение отдельных природных зон, а также их “островная фрагментация”.

3.6.6. Северные экосистемы

В условиях повышения температуры, увеличения осадков и глубины активного слоя многолетней мерзлоты в зоне тундры возрастет роль влаголюбивых, относительно термофильных трав из числа местных тундровых видов; увеличится роль кустарничков (Величко и др., 2002). Вместе с тем следует ожидать нарушения растительного покрова вследствие усиления термокарстовых и солифлюкционных процессов. В зоне лесотундры возрастет роль древесной растительности, главным образом березы.

В северных районах продвижение леса и соответственно травяного покрова в тундру будет сопровождаться уменьшением площади ягельников — основной кормовой базы северных оленей. В то же время смягчение климата, возможно, будет благоприятно для молодняка — приведет к снижению смертности. При большем количестве снегопадов зимой в прибрежных районах у оленей могут возникнуть проблемы с добыванием корма. Негативные последствия ожидаются для песца, вытесняемого лисицей. Он будет вынужден мигрировать в самые дальние тундровые районы, а возможно, и совсем исчезнет (Чукотский экорегион, климатический паспорт, 2002; Региональные изменения климата..., 2002; Кольский экорегион, климатический паспорт, 2003).

В области арктических льдов для животных, стоящих на вершине трофической пирамиды, таких как белые медведи, потепление климата также может иметь как положительные (уменьшение смертности среди молодняка), так и отрицательные последствия (сокращение площади льдов и, следовательно, уменьшение потенциальной площади охоты на тюленей). Для белого медведя потепление является одной из главных угроз. Уменьшение площади и толщины льда, сокращение периода максимального развития сплошного льда и изменение его динамики и структуры негативно влияют на условия существования и репродукцию белых медведей и их жертв, в частности, кольчатой нерпы. Часть последних откочевывает в высокоширотные районы, менее благоприятные для размножения и нагула животных. В конечном счете это может привести к ухудшению состояния популяций видов жертв и, вслед за этим, белого медведя (Чукотский экорегион, климатический паспорт, 2002; Региональные изменения климата..., 2002; Кольский экорегион, климатический паспорт, 2003).

Экологически важной особенностью Таймырской части Арктики является наличие так назы-

ваемых заприпайных полыньей. Обычные полыньи образуются между льдом, примерзшим к берегу, — припаем, и льдом, свободно дрейфующим в море. Но в Таймырской части Арктики есть полыньи и далеко в море. Заприпайные полыньи образуют почти непрерывную полосу открытой воды разной ширины, которая идет параллельно побережью на расстоянии от нескольких десятков до сотен километров: Обь-Енисейская, Западно-Североземельская, Восточно-Североземельская, Таймырская, Ленская полыньи. В полыньях складываются благоприятные условия для многих видов животных, в том числе моржей, тюленей, белых медведей. Очевидно, что в связи с потеплением в ближайшие десятилетия арктическим полыньям не грозит исчезновение; вероятно, они даже станут шире, и там будет больше животных. Но эта оценка относится лишь к средней ситуации. Если на фоне потепления климата будут чаще повторяться годы с суровой зимой или (и) зимы станут суровее, то в полыньях не сможет выжить увеличившееся количество животных, и будет наблюдаться их массовая гибель (Региональные изменения климата..., 2003). На Таймыре летняя жара и засуха могут привести к резкому снижению численности лемминга и, как следствие, “переключению” песцов и хищных птиц на казарку, и к ряду других негативных последствий. Увеличение повторяемости таких лет может привести к подрыву популяции казарки. Для северных оленей и овцебыков, как и для всех копытных, наибольшую опасность представляет увеличение частоты и силы весенних и осенних оттепелей и заморозков, так как образующаяся на снегу ледяная корка не позволяет животным добраться до корма (Региональные изменения климата..., 2003).

Для Кольского региона экологические последствия ожидаемого в XXI веке изменения климата также неоднозначны — возможен целый ряд негативных эффектов и лишь немного — позитивных (Кольский экорегион, климатический паспорт, 2003). Влияние потепления будет не прямое, а скорее косвенное. Растения и животные могут страдать не непосредственно от повышения температуры, а от вторичных его проявлений.

При потеплении может расшириться нерестовый ареал мойвы, что благоприятно для морских птиц. Менее суровая зима с большим количеством полыней также позитивный фактор для гаги и других уток. Однако при изменении ледового покрова в Белом море гренландский тюлень может оказаться в сложном положении. Отсутствие подходящих для размножения льдов в традиционных районах приведет к образованию ценных залежек в иных, малопригодных для этой цели участках моря. В более теплые (равно как и в особо холодные) годы миграции гренландских тюленей первого года жизни носят принципиально иной, ано-

мальный характер. В этих случаях молодые тюлени вынуждены искать пищу по всей акватории Белого моря, что обычно приводит к гибели множества животных. Изменения климата могут привести к столь частым повторениям аномальных миграций гренландского тюленя, что его существование в регионе может оказаться под угрозой. Сокращение ледового периода, уменьшение площади и толщины льдов в Белом море также могут серьезно отразиться на кольчатой нерпе и морском зайце, ограничивая их репродуктивные возможности.

Район Чукотки богат редкими видами птиц и зверей, на которых также может сказаться потепление климата (Чукотский экорегион, климатический паспорт, 2002). Для овцебыков и северных оленей, как, впрочем, и для всех копытных, помимо высоты снежного покрова, наибольшую опасность представляет возможное увеличение частоты и интенсивности весенних и осенних гололедов (что особенно вероятно после ранних оттепелей), так как образующаяся на снегу ледяная корка не позволяет животным добраться до корма.

3.6.7. Наземные местообитания арктических животных

Ожидаемое в XXI веке дальнейшее потепление климата будет усиливать уже заметные изменения среды обитания биологических видов высших животных, обитающих в Арктике. Некоторые результаты в этом направлении были получены с помощью ГИС-картирования изменений растительного покрова (потенциальных местообитаний видов) и равновесной биогеографической модели MAPSS — Mapped Plant Soil System (Zokler and Lysenko, 1999).

Так, при значительном потеплении, ожидаемом в Арктике, по крайней мере, в некоторые периоды в XXI веке, для водных птиц, имеющих оптимум гнездовых ареалов в тундровой зоне, площадь пригодных местообитаний может значительно сократиться. В зависимости от вида и конкретного сценария изменения климата это сокращение значительно варьирует — от 5 до 95%.

В частности, для краснозобой казарки *Branta ruficollis* (гнездовой эндемик российских тундр, занесен в Красную книгу Российской Федерации) возможное сокращение ареала оценивается в 67% при умеренном сценарии потепления климата (рис. 3.6.4).

Дальнейшее потепление климата приведет к усилению действия многих уже имеющихся негативных факторов воздействия на окружающую среду и к увеличению существующих экологических рисков как естественного, так и антропогенного характера.

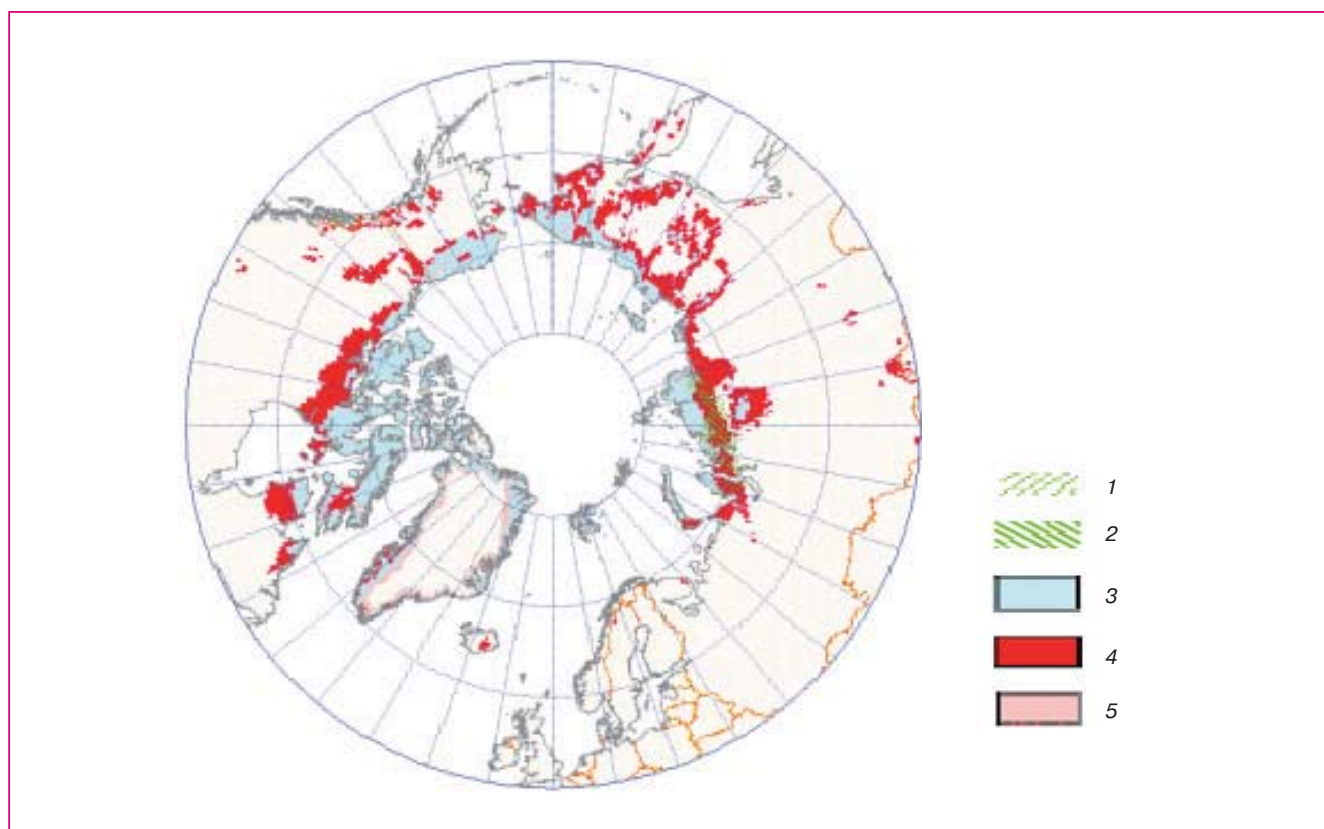


Рис. 3.6.4. Современный ареал краснозобой казарки *Branta ruficollis* и возможные изменения ее гнездовых местообитаний, соответствующие климату 2070–2099 гг. (ACIA, 2004). 1) гнездовой ареал; 2) гнездовой ареал с высокой плотностью гнездования; 3) часть тундры, остающаяся без изменения; 4) сокращение площади тундры; 5) увеличение площади тундры.

Возможное смещение ареала хозяйственной деятельности человека в более высокие широты в связи с потеплением приведет к возникновению новых угроз местным биологическим видам и экосистемам, с которыми они ранее не сталкивались. Так, например, воздействиям со стороны нефтегазового комплекса подвергнутся экосистемы высокоширотных островов и акваторий арктических морей России, где обитают многие виды, потенциально высоко уязвимые к нефтяным разливам (Gavrilov et al., 1998).

При потеплении климата инвазии чужеродных видов, вытеснение аборигенных арктических видов пришельцами из более южных природных зон, космополитными или синантропными формами усилятся в связи с улучшением условий для их обоснования в Арктике. Это представляет новый вид угрозы биоразнообразию местных экосистем, для которых в целом характерен невысокий уровень межвидовой конкуренции.

В интересах сохранения арктического биоразнообразия в условиях меняющегося климата должна быть пересмотрена концепция территориальной формы охраны биоразнообразия, которая до

сих пор признается одним из наиболее действенных методов сохранения малочисленных или находящихся под угрозой исчезновения популяций и видов. Ведь в условиях меняющегося климата динамические (сукцессионные) процессы на ограниченных и фиксированных в пространстве охраняемых территориях могут привести к исчезновению местообитаний, являвшихся ранее оптимальными для охраняемых видов, а также и сами сообщества — объекты охраны.

3.6.8. Депонирование углерода в почвах

Лиственничники северо-востока Евразии по площади составляют от 30 до 40% мировых хвойных лесов. Они расположены почти исключительно в зоне многолетней мерзлоты и подвержены довольно частым пожарам (раз в 50–150 лет в южной зоне). Ожидаемое потепление в континентальной Северной Азии в XXI веке может оказать как позитивное, так и негативное влияние на способность лесных экосистем региона к депонированию углерода, в том числе в биомассе деревьев (Venevsky, 2001, 2005). Деградация многолетней

мерзлоты в зоне тайги может изменить динамику активного слоя, оказывая регулирующее воздействие на влажность почвы, что в свою очередь влияет на количество воды, доступное растениям, и на влажность горючего древесного материала, что влечет за собой изменения режима пожаров. Динамика активного слоя имеет комплексную синергетическую природу и регулируется термофизическими и гидрологическими свойствами минерального компонента почвы, наземной растительностью, состоянием органического слоя и снежного покрова. Все это сказывается на способности экосистем депонировать углерод (Venevsky, 2001, 2005).

Изменение температуры существенно влияет на аккумуляцию углерода почвами. Как показывают глобальные оценки, выполненные с помощью моделей климата (Grace et al., 2006, 2007), увеличение среднегодовой температуры на $4,5^{\circ}\text{C}$ (сценарий IS92e МГЭИК) может приводить к усилению засушливости климата, снижению первичной продуктивности и к соответственным потерям почвенного углерода даже в тех регионах, в которых при потеплении на $1-1,5^{\circ}\text{C}$ наблюдается интенсивное накопление гумуса.

Общие запасы органического вещества в почвах России по оценкам, приведенным в работе (Орлов и др., 1996), составляли в конце XX века около 300 Гт. При этом на таежную зону приходится 38,5% из этих запасов и 20% — на горные почвы Сибири. Основные потоки углерода в почвах на территории России — поступление 4,4 Гт в год фотосинтетически связанного углерода с опадом растительной биомассы (Мокроносов, 1999) и эмиссия около 4,3 Гт в год — дыхание почв (Кудеяров, Курганова, 2005). Общий баланс почвенного углерода на территории России в настоящее время положительный. Однако в устойчивом виде в органической форме (в гумусе) депонируется не более 0,05 Гт С/год (Заварзин, 2001).

Увеличение продолжительности периода биологической активности почв в календарном году в результате потепления климата в среднем на 1°C по всем природным зонам на территории России приведет к некоторому увеличению запасов гумуса на большей ее части — в почвах северных регионов и в лесостепной зоне (Орлов, 1999). Для некоторых типов почв, например, дерново-подзолистых, это увеличение может составить до 30% от современных запасов. В почвах южных регионов может наблюдаться тенденция увеличения потерь почвенного органического углерода (до 15% современных запасов) из-за малой скорости гумусоаккумулятивного процесса. Следует отметить, что приведенные выше оценки отражают только воздействие температуры и не учитывают изменение количества осадков и первичной продуктивности

экосистем, которые, вообще говоря, необходимо учитывать при оценках изменений баланса углерода в почвах (Schlesinger, 1999; Grace et al., 2006). Так, можно предположить, что возможная аридизация климата южных регионов России приведет там к значительному уменьшению содержания углерода в почвах.

Таким образом, ожидается, что при умеренном потеплении преобладающая часть почв России сможет накапливать углерод при сохранении достаточного уровня увлажненности почв. Сильное потепление и увеличение аридных площадей на юге страны могут сместить общий баланс почвенного углерода в отрицательную область.

3.6.9. Литература

- Алтай-Саянский экорегион, климатический паспорт (Кокорин А. О., Кожаринов А. В., Минин А. А. (ред.)), 2001. М., Всемирный фонд дикой природы, Российское представительство, 24 с.
- Антонов А. И., 2006. Расселение новых видов птиц в Среднем Приамурье в конце XX века. Роль климатических факторов, в кн.: Влияние изменения климата на экосистемы бассейна реки Амур, М., WWF России, с. 68–75.
- Биоразнообразие и изменение климата, 2006. Convention of Biological Diversity, 46 с.
- Величко А. А., Борисова О. К., Зеликсон Э. М., Морозова Т. Д., 2002. К оценке изменений в состоянии растительного и почвенного покровов Восточно-Европейской равнины в XXI веке вследствие антропогенного изменения климата, в кн.: Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем, СПб, Гидрометеиздат, т. 18, с. 208–220.
- Величко А. А., Борисова О. К., Зеликсон Э. М., 1991. Растительность в изменяющемся климате, Вестник АН СССР, № 3, с. 82–94.
- Груза Г. В., Ранькова Э. Я., Аристова Л. Н., Клещенко Л. К., 2006. О неопределенности некоторых сценарных климатических прогнозов температуры воздуха и осадков на территории России, Метеорология и гидрология, № 10, с. 5–23.
- Дарман Ю. А., Титов Д. С., Колобаев Н. Н., 2003. Миграционная активность сибирской косули *Capreolus pygargus* Pall. в Норском заповеднике, Сборник статей к 5-летию Норского заповедника, Благовещенск — Февральск, с. 90–92.
- Заварзин Г. А., 2001. Роль биоты в глобальных изменениях климата, Физиология растений, т. 48, № 2, с. 306–314.
- Заумыслова О. Ю., 2006. Влияние изменения климата на динамику численности крупных млекопитающих на территории Сихотэ-Алинского заповедника, в кн.: Влияние климата на экосистемы бассейна реки Амур, М., WWF России, с. 76–81.

3. ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XXI В.

- Золотокрылин А. Н., Виноградова В. В., 2007.** Соотношение между климатическим и антропогенным факторами восстановления растительного покрова юго-востока Европейской России, Аридные экосистемы, т. 14, № 33–34, с. 20–33.
- Золотокрылин А. Н., Виноградова В. В., Черенкова Е. А., 2007.** Динамика засух в Европейской России в ситуации глобального потепления, Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем, т. XXI, с. 160–182.
- Золотокрылин А. Н., Черенкова Е. А., 2006.** Изменения индикаторов соотношения тепла и влаги, биопродуктивности в зональных равнинных ландшафтах России во второй половине XX в., Известия РАН, сер. географ., № 3, с. 19–28.
- Кожаринов А. В., Минин А. А., 2001.** Современные тенденции в состоянии природы Русской равнины, в кн.: Влияние изменения климата на экосистемы. Охраняемые природные территории России: анализ многолетних наблюдений, под ред. А. Кокорина, А. Кожаринова, А. Минина, М., ч. 1, с. 17–23.
- Кольский экорегион, климатический паспорт (Кокорин А. О., Минин А. А., Шепелева А. А. (ред.)), 2003.** М., Всемирный фонд дикой природы, Российское представительство, 24 с.
- Кудеяров В. Н., Курганова И. Н., 2005.** Дыхание почв России: анализ базы данных, многолетний мониторинг, общие оценки, Почвоведение, № 9, с. 1112–1121.
- Мальшев Л. И., Байков К. С., Доронькин В. М., 2000.** Флористическое деление Азиатской России на основе количественных признаков, *Krylovia*, Сибирский ботанический журнал, т. 2, № 1, с. 3–16.
- Маслова И. В., 2006.** Влияние климата на отдельные аспекты жизнедеятельности земноводных и пресмыкающихся, в кн.: Влияние климата на экосистемы бассейна реки Амур, М., WWF России, с. 110–119.
- Минин А. А., 2006.** Экосистемы бассейна Амура в условиях потепления: опыт заповедников, в кн.: Влияние климата на экосистемы бассейна реки Амур, М., WWF России, с. 17–21.
- Мокронос А. Т., 1999.** Глобальный фотосинтез и биоразнообразие растительности, в кн.: Глобальные изменения природной среды и климата, Круговорот углерода на территории России, М., Министерство общего и профессионального образования Российской Федерации, с. 19–62.
- Орлов Д. С., 1999.** Запасы, поступление и круговорот органического углерода в почвах России, в кн.: Глобальные изменения природной среды и климата, Круговорот углерода на территории России, М., Министерство общего и профессионального образования Российской Федерации, с. 271–299.
- Орлов Д. С., Бирюкова О. Н., Суханова Н. И., 1996.** Органическое вещество почв Российской Федерации, М., Наука, 256 с.
- Парфенова Е. И., Чебакова Н. М., 2006.** Представление климатописического разнообразия в ГИС и анализ его влияния на биоразнообразие различных уровней организации растительности, в кн.: Биоразнообразие и динамика экосистем, Информационные технологии и моделирование, Новосибирск, Изд-во Сибирского отделения РАН, вып. 7, с. 536–546.
- Парфенова Е. И., Чебакова Н. М., Власенко В. И., 2004.** Зависимости биоразнообразия растительного покрова разных уровней организации от климатических факторов (на примере Средней Сибири), Сибирский экологический журнал, № 5, с. 725–734.
- Подольский С. А., Кастрикин В. А., Красикова Е. К., Червова Л. В., Кремнев Д. М., 2006.** Естественные климатические и антропогенные факторы динамики численности и пространственного распределения кабарги в зоне влияния Зейского водохранилища, в кн.: Влияние климата на экосистемы бассейна реки Амур, М., WWF России, с. 82–91.
- Региональные изменения климата и угроза для экосистем, 2002.** Вып. 3, Кольский экорегион, М., WWF.
- Региональные изменения климата и угроза для экосистем, 2003.** Вып. 4, Таймырский регион, М., WWF.
- Семенов С. М., Ясюкевич В. В., Гельвер Е. С., 2006.** Выявление климатогенных изменений, М., Издательский центр “Метеорология и гидрология”, 324 с.
- Сиротенко О. Д., Грингоф И. Г., 2006.** Оценки влияния ожидаемых изменений климата на сельское хозяйство Российской Федерации, Метеорология и гидрология, № 8, с. 92–101.
- Цельникер Ю. Л., Малкина И. С., Завельская Н. А., 2002.** Географические аспекты фотосинтеза у лесных деревьев России, Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем, СПб, Гидрометеоиздат, т. 18, с. 81–108.
- Чебакова Н. М., Рейфельдт Дж., Парфенова Е. И., 2003.** Перераспределение растительных зон и популяций лиственных сибирской и сосны обыкновенной в Средней Сибири при потеплении климата, Сибирский экологический журнал, № 6, с. 677–686.
- Чукотский экорегион, климатический паспорт (Кокорин А. О., Минин А. А., Шепелева А. А. (ред.)), 2002.** М., Всемирный фонд дикой природы, Российское представительство, 24 с.
- Шиятов С. Г., Мазепа В. С., Моисеев П. А., Братухина М. Ю., 2001.** Изменения климата и их влияние на горные экосистемы национального парка “Таганай” за последние столетия, в кн.:

3. ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XXI В.

- Влияние изменения климата на экосистемы. Охраняемые природные территории России: анализ многолетних наблюдений, под ред. А. Кокорина, А. Кожаринова, А. Мина, М., Русский университет, ч. 2, с. 16–32.
- Школьник И. М., Мелешко В. П., Катцов В. М., 2006.** Возможные изменения климата на европейской части России и сопредельных территориях к концу XXI века: расчет с региональной моделью ГГО, Метеорология и гидрология, № 3, с. 5–16.
- ACIA, Impacts of Warming Arctic, 2004.** Arctic Climate Impact Assessment, Cambridge University Press.
- Alcamo J., Dronin N., Endejan M., et al., 2003.** Will climate change affect food and water security in Russia?, Summary Report of the International Project on Global Environmental Change and its Threat to Food and Water Security in Russia, Draft 13 February 2003, 25 p.
- Climate Change 2007, 2007.** The Physical Science Basis. Summary for Policymakers. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, <http://www.ipcc.ch/>.
- Gavrilo M., Bakken V., Firsova L., Kaliakin V., Morozov V., Pokrovskaya I., and Isaksen K., 1998.** Oil vulnerability assessment for marine birds occurring along the Northern Sea Route area, Oslo, The Fridtjof Nansen Institute, INSROP Working Paper No. 97, II-4-2, 50 p.
- Gordon C., Cooper C., and Senior C., et al., 2000.** The simulation of SST, sea-ice extents and ocean heat transfer in a version of the Hadley Centre coupled model without flux adjustments, Climate Dynamics, vol. 16, pp. 147–168.
- Grace P. R., Colunga-Garcia M., Gage S. H., Robertson G. P., and Safir G. R., 2006.** The potential impact of agricultural management and climate change on soil organic carbon resources in terrestrial ecosystems of the North Central Region of United States, Ecosystems, No. 9, pp. 816–827.
- Grace P. R., Post W. M., and Hennessy K., 2007.** The potential impact of climate change on Australia's soil organic carbon resources, Carbon Balance and Management (submitted).
- Huntly B. and Birks H. J. B., 1983.** An Atlas of Past and Present Pollen Maps for Europe 0–13000 Ear Ago, Cambridge University Press.
- Hutchinson M. F., 2000.** ANUSPLIN Version 4.1 User's Guide, Canberra, Australian National University, Centre for Resource and Environmental Studies.
- Schlesinger W. H., 1999.** Carbon sequestration in soils, Science, No. 284, pp. 2095–2116.
- Venevsky S., 2001.** Broad-scale Vegetation Dynamics in North-Eastern Eurasia — Observations and Simulations, Universität für Bodenkultur, Vienna, 150 p.
- Venevsky S., 2005.** Towards integrated assessment of vulnerability to climate change in Siberian forests: Example of Larch area, Mitigation and Adaptation to Climate Change (MITI) (in print).
- Zokler Ch. and Lysenko I., 1999.** Waterbirds on the edge: Climate change impact on Arctic breeding waterbirds, in: Impacts of Climate Change on Wildlife, Green R. E., Harley M., Spalding M., and Zokler C. (eds.), RSBP/UNEP WCMC Publication, pp. 20–25.

3.7. КОНТИНЕНТАЛЬНАЯ МНОГОЛЕТНЯЯ МЕРЗЛОТА И ЛЕДНИКОВЫЕ СИСТЕМЫ

Ведущие авторы: О. А. Анисимов, Ю. А. Анохин, А. Н. Кренке

Авторы: М. Д. Ананичева, П. М. Лурье, Л. Т. Мяс, В. Д. Панов

Редактор-рецензент: А. А. Величко

3.7.1. Вводные замечания

Проблемы перспективных оценок состояния континентальной многолетней мерзлоты (многолетнемерзлые почвогрунты (породы)), ледниковых систем арктических островов и горных ледниковых систем в связи с изменением климата изучаются в рамках многих национальных и международных научных программ. Наиболее крупными являются следующие:

- Климат и криосфера (ВМО);
- программа международного сотрудничества по изучению окружающей среды в Северной Евразии, координируемая со стороны России — РАН и со стороны США — NASA;

— международные программы мониторинга многолетней мерзлоты, а также ряд проектов, намеченных на период проведения Международного полярного года.

Приоритетной задачей всех перечисленных программ является повышение точности описания современного состояния и изменения состояния многолетней мерзлоты на основе синтеза результатов наблюдений и моделирования.

Будущее состояние зоны континентальной многолетней мерзлоты — криолитозоны, а также ледниковых систем арктических островов и горных ледниковых систем представляет значительный практический интерес для стран Северной Евразии, поскольку может существенно влиять, в частности, на хозяйственный режим в Арктике, на несущую способность почвогрунтов, на которых расположены здания и технические сооружения, на доступность водных ресурсов.

3. ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XXI В.

3.7.2. Перспективные оценки возможных изменений состояния криолитозоны

Для построения перспективных оценок влияния изменений климата на состояние континентальной многолетней мерзлоты применяются математические модели (см. пояснения в разделе 3.1.7). В этих расчетах используются как сценарии изменения климата, рекомендованные МГЭИК, так и построенные независимыми методами. В зависимости от сложности моделей используются разные наборы входных климатических параметров, однако в большинстве случаев достаточно задавать средние месячные значения температуры воздуха и количества осадков.

Увеличение температуры воздуха будет способствовать повышению температуры многолетнемерзлых почвогрунтов и более глубокому сезонному протаиванию. На периферийных участках по достижении некоторой критической глубины протаивания произойдет отрыв мерзлых толщ от поверхности, многолетняя мерзлота перейдет в реликтовую форму, над ней образуется талый слой, толщина которого со временем будет увеличиваться, и над этим слоем возникнет слой сезонного промерзания. В результате произойдет сокращение площади распространения приповерхностной многолетней мерзлоты.

В ряде исследований были даны количественные оценки изменения площади распространения, глубины сезонного протаивания и температуры многолетнемерзлых пород для нескольких сценариев изменения климата в XXI веке (Анисимов, 1989; Анисимов, Скворцов, 1989; Гарагуля, Ершов, 2000; Гречищев, 1997; Молькентин и др., 2001). На основе этих модельных расчетов построены геокриологические карты для отдельных участков криолитозоны (Sazonova and Romanovsky, 2003; Stendel and Christensen, 2002), территории России (Анисимов, 1990; Анисимов, 1994; Аниси-

мов, Нельсон, 1993; Величко, Нечаев, 1992; Ершов, 1997; Малевский-Малевиц и др., 2000; Малевский-Малевиц, Надежина, 2002; Малевский-Малевиц и др., 1999; Израэль и др., 2002; Павлов, 1997; Anisimov, 1989; Malevsky-Malevich et al., 2001) и всего Северного полушария (Анисимов, Нельсон, 1997, 1998; Анисимов и др., 1999; Anisimov and Nelson, 1997; Anisimov et al., 1997). Методы, которыми получены эти оценки, были верифицированы по данным о регрессиях и трансгрессиях многолетней мерзлоты, имевших место на протяжении XX века вслед за периодами потепления 1930-х годов и похолодания 1950-х (Анисимов и др., 2002; Демченко и др., 2002; Anisimov et al., 2002).

В этих работах, в частности, приведены прогнозистические карты распространения многолетней мерзлоты и изменения глубины сезонного протаивания как для России, так и для всей криолитозоны Северного полушария. Как отмечают авторы этих работ, карты получены на основе климатических, геокриологических и почвенных данных, обобщенно характеризующих достаточно большие области. Поэтому необходима их дальнейшая детализация. Вместе с тем можно уже сейчас использовать некоторые полученные результаты для оценки важнейших последствий деградации многолетней мерзлоты и разработки мер по адаптации к ним (Воробьев, 2004; Израэль и др., 2007).

На рис. 3.7.1 приведена карта возможных изменений многолетней мерзлоты на территории России к 2020 г. и к 2050 г. вследствие изменения климата (Ершов, 1997). На карте представлены область *повсеместного* оттаивания для разных типов ландшафтов. При этом рассматривался климат будущего, соответствующий сценарию антропогенного воздействия на глобальный климат IS92 (Climate Change 1994, 1995; Climate Change 1995, 1996), — температура на рассматриваемой территории менялась по этому сценарию.

Таблица 3.7.1. Современная и ожидаемая в 2050 г. площадь приповерхностной многолетней мерзлоты (млн. км² и % современной площади (в скобках)) в Северном полушарии (СП) и в Евразии (ЕА), (Анисимов, Нельсон, 1998; Анисимов и др., 1999; Анисимов и др., 2002; Анисимов, Белолуцкая, 2003)

Географическая область, условия климата	Общая площадь	Площадь по отдельным зонам		
		сплошная	прерывистая	островная
СП, современный климат	26,9	8,7	6,1	12,1
СП, GFDL	23,6 (88)	8,3	5,1	10,3
СП, ECHAM	24,2 (90)	7,9	5,7	10,6
СП, HadCM	22,4 (83)	8,0	8,5	5,9
ЕА, современный климат	16,7	5,9	4,3	6,5
ЕА, GFDL	13,8 (83)	5,5	3,6	4,8
ЕА, ECHAM	14,6 (87)	5,4	4,0	5,2
ЕА, HadCM	13,1 (78)	5,4	3,6	4,1

3. ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XXI В.

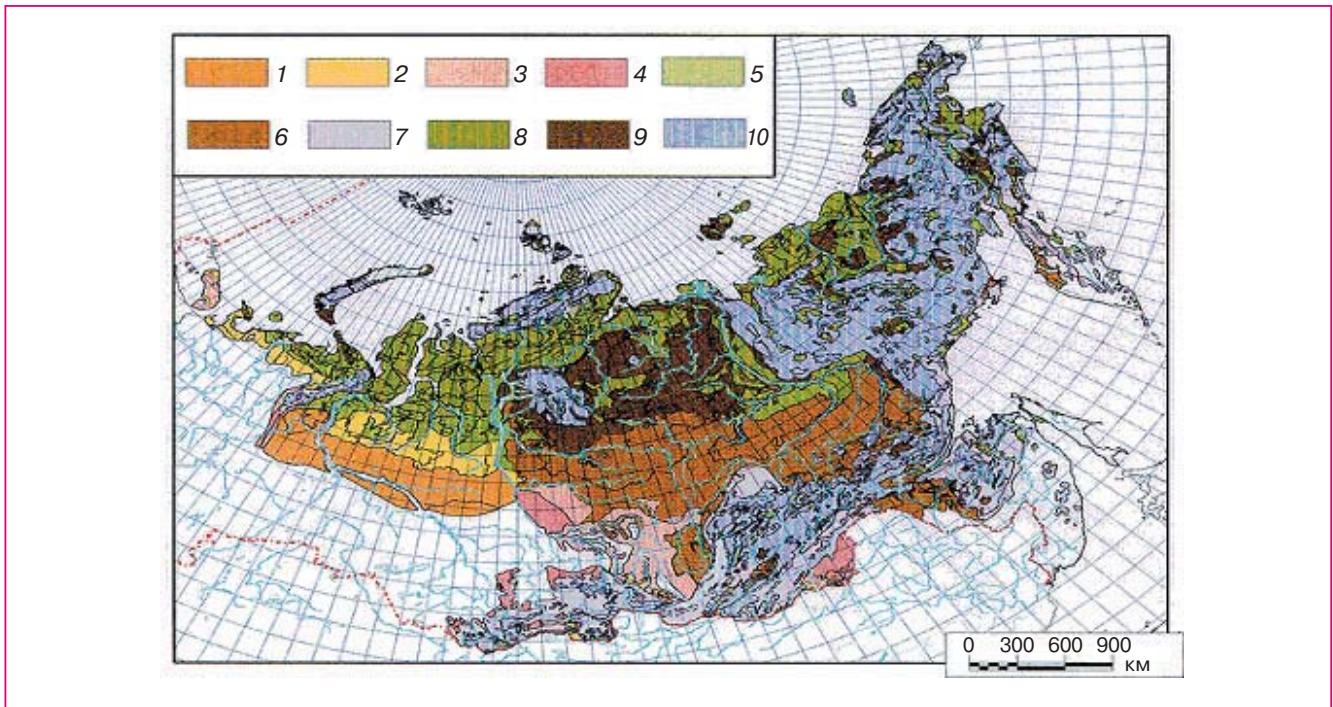


Рис. 3.7.1. Возможные изменения многолетней мерзлоты на территории России к 2020 и 2050 гг. вследствие изменения климата. 1 — повсеместное оттаивание к 2020 г. на равнинах; повсеместное оттаивание к 2050 г.: 2 — на равнинах; 3 — на плоскогорьях; 4 — в горах. Частичное оттаивание к 2050 г.: 5 — на равнинах; 6 — на плоскогорьях; 7 — в горах. Относительно стабильное состояние: 8 — на равнинах; 9 — на плоскогорьях; 10 — в горах. Границами внутри цветных контуров показаны территории с разными проявлениями мерзлотных процессов при потеплении климата (Ершов, 1997).

В табл. 3.7.1 приведены перспективные оценки площади распространения приповерхностной многолетней мерзлоты к середине XXI века, полученные в работах (Анисимов, Нельсон, 1998; Анисимов и др., 1999; Анисимов и др., 2002; Анисимов, Белолуцкая, 2003) с использованием нескольких альтернативных моделей изменения климата (GFDL, ECHAM, HadCM) и сценария B2. В таблице представлены соответствующие диапазоны ожидаемых изменений температуры верхнего слоя многолетнемерзлых пород и глубины сезонного протаивания.

Обобщенная характеристика соответствующих изменений приповерхностной температуры многолетней мерзлоты (ΔT_n) и глубины сезонного про-

таивания (ΔZ) к середине XXI века по крупным регионам приведена в табл. 3.7.2 (Анисимов, Нельсон, 1998; Анисимов и др., 1999, 2002; Анисимов, Белолуцкая, 2003). Согласно этим оценкам, температура многолетней мерзлоты увеличится на 1–2°C; для глубины сезонного протаивания оценки менее определены: 10–50%.

Судя по существующим модельным оценкам, смещение к северу границ южной границы криолитозоны к середине XXI века составит от 100 до 200 км (Мелешко и др., 2004). При сохранении наблюдающейся в настоящее время в Западной Сибири интенсивности оттаивания многолетнемерзлых пород (до 4 см/год) через 20–25 лет граница криолитозоны может сдвинуться на 30–

Таблица 3.7.2. Ожидаемые к середине XXI века региональные изменения приповерхностной температуры многолетней мерзлоты (ΔT_n) и глубины сезонного протаивания (ΔZ) (Анисимов, Нельсон, 1998; Анисимов и др., 1999, 2002; Анисимов, Белолуцкая, 2003)

Регион	ΔT_n , °C	ΔZ , %
Север Скандинавии	1,0–2,0	10–20
Западная Сибирь	1,5–2,0	15–25
Якутия	1,5–2,0	25–50
Чукотка и Дальний Восток	1,0–2,0	40–50

3. ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XXI В.

Таблица 3.7.3. Среднегодовые значения температуры ($^{\circ}\text{C}$) воздуха в приповерхностном слое атмосферы T и грунта на глубине 160 см T_{160} для базового периода 1961–1990 гг. и перспективные оценки их приращений ΔT и ΔT_{160} ($^{\circ}\text{C}$) к 2020 г.

Станция	Величина	Среднее значение за 1961–1990 гг., $^{\circ}\text{C}$	Оценки изменений к 2020 г., $^{\circ}\text{C}$			
			экстраполяция данных	Модель		
				HadCM3	CGCM2	ESNAM
Ханты-Мансийск	T	-1,5	1,7	-3,2	1,0	0,7
	T_{160}	4,5	1,3	-1,0	0,4	0,3
Тура	T	-9,2	1,8	0,3	2,7	1,8
	T_{160}	-0,6	1,5	0,1	1,6	1,1
Жиганск	T	-11,4	0,9	0,0	0,9	0,2
	T_{160}	-0,9	2,5	0,4	1,5	0,0
Якутск	T	-9,9	2,2	1,6	-0,6	2,0
	T_{160}	-1,1	2,2	0,5	-0,2	1,1
Витим	T	-5,1	1,5	-2,5	1,0	0,6
	T_{160}	3,3	1,2	-1,1	0,5	0,3
Мама	T	-4,2	1,2	-3,1	-0,2	-0,6
	T_{160}	4,0	1,3	-2,0	-0,2	-0,4
Могоча	T	-4,9	1,3	-0,8	0,9	2,7
	T_{160}	-0,2	1,1	-0,7	0,8	2,3
Магадан	T	-3,3	1,1	-1,7	0,5	0,7
	T_{160}	-0,2	1,4	-0,3	0,3	0,4

80 км к северу, а к 2050 г. — на 150–200 км (Воробьев, 2004).

Наряду с оценками возможных изменений состояния континентальной многолетней мерзлоты в масштабах континентов и обширных регионов выполнялись также перспективные оценки для пунктов расположения конкретных метеорологических станций. Это дало возможность вовлечь в анализ не только результаты расчетов климата будущего с помощью разных МОЦАО с довольно низким пространственным разрешением (обычно не более 1°), но и данные долгосрочных наблюдений за состоянием климата и многолетней мерзлоты, полученные на этих станциях, а также соответствующие установленные корреляционные зависимости.

Так, в работах (Израэль и др., 2007) были исследованы возможные изменения температуры почвогрунтов на глубине 160 см (T_{160}) к 2020 г. Анализ проводился в рамках сценария А2 с использованием результатов расчета изменения температуры воздуха T в приповерхностном слое атмосферы с помощью трех МОЦАО — HadCM3, CGCM2, ENSAM. Для восьми географических

пунктов (Ханты-Мансийск, Тура, Жиганск, Якутск, Мама, Витим, Могоча, Магадан) были построены перспективные оценки температуры воздуха путем интерполяции с ближайших узлов расчетной сетки моделей. Далее изменения во времени этих интерполированных значений температуры воздуха были конвертированы в изменения температуры почвогрунтов на глубине 160 см с помощью коэффициента линейной регрессии (см. раздел 2.7). Результаты расчета T_{160} на 2020 г. представлены в табл. 3.7.3.

Кроме того, для этих же географических пунктов были выполнены экстраполяционные расчеты (использована линейная регрессия температуры на время, см. табл. 2.7.1) для T и T_{160} . Среднегодовые значения этих величин для базового периода 1961–1990 гг., а также их расчетные приращения к 2020 г. также представлены в табл. 3.7.3.

Как можно заметить из сравнения табл. 3.7.2 и 3.7.3, оценки ожидаемых изменений температуры почвогрунтов на разных глубинах существенно различаются. Кроме того, оценки T_{160} , полученные с помощью разных МОЦАО в рамках одного и того

же сценария антропогенного воздействия на глобальный климат (табл. 3.7.3), очень сильно варьируют.

По-видимому, современные МОЦАО пока непригодны для получения перспективных оценок температурного режима почвогрунтов в большом масштабе для конкретных географических пунктов; они применимы лишь для получения обобщенных региональных оценок. В дальнейшем наиболее реалистичные перспективные оценки состояния континентальной многолетней мерзлоты в условиях меняющегося климата могут быть получены с помощью детализированных региональных моделей климатической системы, для которых изменения климата, рассчитываемые с помощью МОЦАО, должны служить в качестве входной информации, а именно, заданных значений региональных средних для модельных переменных.

3.7.3. *Влияние деградации многолетней мерзлоты на эмиссию диоксида углерода и метана в атмосферу*

Изменения многолетней мерзлоты могут иметь как региональные, так и глобальные последствия. К последним можно отнести воздействие на глобальную климатическую систему посредством усиления эмиссии парниковых газов из многолетнемерзлых грунтов. Потенциально такая дополнительная эмиссия может приводить к увеличению содержания этих газов в атмосфере и, как следствие, к усилению парникового эффекта.

Содержание углерода в многолетнемерзлых почвах оценивается для всего мира в 455 Гт С (около 14% всего почвенного углерода), а для территории России — в 214 Гт С, при этом около 50 Гт С содержат многолетнемерзлые арктические болота (Анисимов и др., 2005). По имеющимся оценкам, в области распространения многолетнемерзлых пород современный баланс углеродного газообмена в форме диоксида углерода незначительно отличается от нулевого; при этом тундровые почвы являются нетто-источником метана, концентрация которого в атмосфере ежегодно увеличивается на 0,5% (Яговкина и др., 2003; Израэль и др., 2007).

Среди природных источников велика роль эмиссии метана из болот и с переувлажненных территорий. Современная годовая эмиссия метана из бореальных болот на территории Западной Европы составляет около 10,5 млн. т, на территории России 24–33 млн. т, в том числе в Западной Сибири — около 22,2 млн. т (Паников и др., 1996, 1997). Относительно сухие незаболоченные арктические почвы выделяют мало метана — от 0,6 до 11 мг/м² в сутки и периодически из источника становятся нетто-стоком атмосферного метана со значениями, достигающими 0,5–3,0 мг/м² в сутки (Whalen et al., 1991; Whalen and Reeburgh, 1992).

Большая часть болот России расположена в криолитозоне. Почвы мерзлотной зоны выделяют значительно больше метана, чем почвы за пределами криолитозоны (Паников и др., 1996), хотя результатов наблюдений по последним значительно больше. В криолитозоне наиболее интенсивная эмиссия метана наблюдается из следующих типов почв: REGOSOLS — 9094,2 кг CH₄/км² в год (119 мг CH₄/м² в сутки), HISTOSOLS — 6779,4 кг/км² в год (11,7–356,9 мг/м² в сутки), GLEISOLS — 1735 кг/км² в год (от –0,5 до 28–123 мг CH₄/м² в сутки); по предварительным оценкам, суммарная эмиссия метана с поверхности почв криолитозоны России составляет около 20 млн. т в год (Паников и др., 1996). Эмиссия CH₄ с поверхности немерзлых почв составляет около 4 млн. т в год.

Изменение климата в XXI веке окажет влияние на эмиссию метана с земной поверхности в атмосферу на территории России (Анисимов и др., 2005). К середине XXI века эмиссия метана в результате увеличения глубины сезонного протаивания и температуры многолетнемерзлых болот может вырасти вблизи Арктического побережья более чем на 80%, а на большей части прерывистой криолитозоны — на 30–50%. На востоке и юго-востоке криолитозоны, где сосредоточена большая часть многолетнемерзлых болот России, эмиссия метана увеличится не более чем на 20%. В итоге суммарное годовое нетто-поступление метана из многолетнемерзлых болот на территории России в атмосферу может увеличиться на 6–10 млн. т (Анисимов и др., 2005). Это увеличение сопоставимо с современным глобальным годовым нетто-поступлением метана в атмосферу, равным 30 млн. т: эмиссии от всех источников составляют 610 млн. т, а сток 580 млн. т обусловлен химическим разрушением метана в атмосфере и микробиологическим в почве (Climate Change 2001, 2001, p. 244).

До недавнего времени значительные неопределенности были связаны с оценкой того, как изменения многолетней мерзлоты могут повлиять на глобальный климат. Основным действующим фактором является эмиссия парниковых газов при увеличении температуры и глубины сезонного таяния многолетнемерзлых грунтов, в особенности в арктических болотах, где имеется значительное количество органического вещества и из-за высокого уровня грунтовых вод созданы условия для производства метана. Метан по своему воздействию на климат более чем в 20 раз превышает парниковый эффект равного количества диоксида углерода. В связи с этим неоднократно высказывались опасения, что таяние арктических болот в Сибири может привести к сильному увеличению содержания метана в атмосфере, в результате чего заметно возрастет глобальная температура.

В одной из недавних работ было показано, что эти опасения преувеличены (Anisimov, 2007).

3. ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XXI В.

Были собраны данные о географическом распределении и размерах арктических болот на территории России, после чего с использованием моделей многолетней мерзлоты и углеродного цикла были рассчитаны возможные изменения эмиссии метана для нескольких климатических сценариев. Результаты показали, что к середине XXI века эмиссия метана из арктических болот на территории России может увеличиться на 6–8 млн. т в год. При том, что эффективное время жизни молекулы метана в атмосфере составляет приблизительно 12 лет, это вызовет увеличение равновесной атмосферной концентрации не более чем на 100 млн. т или же на $0,04 \text{ млн}^{-1}$. В результате радиационного воздействия такого количества метана средняя годовая глобальная температура воздуха может к середине XXI века дополнительно увеличиться на $0,012^\circ\text{C}$, что малозначительно по сравнению с воздействием других факторов.

3.7.4. Горное оледенение

3.7.4.1. Большой Кавказ

Для современных условий для северного и южного склонов, а также для Большого Кавказа в целом получена достаточно тесная зависимость изменения площади оледенения от изменения температуры воздуха и суммы атмосферных осадков, а также от размеров исходного оледенения (Панов, 1993). Чтобы рассчитать возможное изменение размеров оледенения в будущем, необходимо знать не только размеры оледенения на начальный момент или период, но и принять определенные предположения о значениях элементов климата в будущем, т. е. сценарий изменения климата.

Согласно расчетным данным, приведенным в работах (Борзенкова и др., 1987; Жуков, Святкина, 2000), для разных существующих сценариев изменения климата в 2020–2050 гг. увеличение температуры воздуха за период абляции составит $1,0\text{--}5,5^\circ\text{C}$, а суммы атмосферных осадков за период аккумуляции 5–45%.

В работе (Лурье, 2002) для расчетов будущего изменения площади оледенения Большого Кавказа были приняты следующие значения изменений

климатических параметров по сравнению с современными (конец XX века): температура воздуха за период абляции повысится на $2,4^\circ\text{C}$ к 2020 г. и на $3,0^\circ\text{C}$ к 2050 г.; атмосферные осадки за период аккумуляции увеличатся к 2020 г. на 11% и к 2050 г. на 23%. Используемые оценки современного оледенения приведены в разделе 2.7.

Расчеты, проведенные при этих предположениях, показали, что в 2000–2050 гг. площадь оледенения Большого Кавказа будет сокращаться и в течение этого периода уменьшится на $371,3 \text{ км}^2$, или 30% по отношению к современному уровню. Результаты представлены в табл. 3.7.4.

Как следует из данных табл. 3.7.4, в 2000–2050 гг. будет происходить уменьшение площади оледенения, причем на обоих склонах Большого Кавказа (т. е. современная тенденция сохранится). При этом к 2050 г. на северном склоне площадь сократится на 35%, а южном — на 18%. Наибольшая скорость сокращения будет характерна для северного склона — в среднем $6,0 \text{ км}^2/\text{год}$ в 2000–2050 гг., в то время как для южного склона она будет заметно меньше — $1,4 \text{ км}^2/\text{год}$. Скорости уменьшения площади оледенения не будут постоянными. На северном склоне скорость с $7,1 \text{ км}^2/\text{год}$ в 2000–2020 гг. сократится до $5,3 \text{ км}^2/\text{год}$ за 2020–2050 гг., в то время как на южном склоне она увеличится соответственно с 1,1 до $1,6 \text{ км}^2/\text{год}$.

Одновременно с уменьшением площади оледенения произойдет изменение числа ледников: в западной и восточной частях Большого Кавказа будет происходить исчезновение ледников, в то время как в центральной части оно будет увеличиваться, поскольку здесь будет продолжаться процесс отчленения притоков и распадение единых ледников на части.

В связи с уменьшением площади оледенения к 2050 г. произойдет уменьшение ледникового стока, который сократится за 2000–2050 гг. на $0,85 \text{ км}^3/\text{год}$, или на 32%. На северном склоне за 2000–2050 гг. сокращение будет почти в два раза больше, чем на южном, — 39 и 21% соответственно. Это связано с менее благоприятными климатическими условиями для существования там оледенения.

Таблица 3.7.4. Уменьшение площади оледенения Большого Кавказа за 2000–2050 гг. (Лурье, 2002)

Район	2000–2020 гг.		2020–2050 гг.		2000–2050 гг.	
	в целом за период, км^2	в среднем за год, $\text{км}^2/\text{год}$	в целом за период, км^2	в среднем за год, $\text{км}^2/\text{год}$	в целом за период, км^2	в среднем за год, $\text{км}^2/\text{год}$
Северный склон	142,2	7,1	159,2	5,3	301,4	6,0
Южный склон	22,8	1,1	47,1	1,6	69,9	1,4
Большой Кавказ	165,0	8,2	206,3	6,9	371,3	7,4

3.7.4.2. Возможные изменения горных ледниковых систем на северо-востоке России

Ниже приводится перспективная оценка климатогенных изменений в ледниковых системах северо-востока Сибири (7 систем) и п-ова Камчатка (10 систем), соответствующих одному из максимальных сценариев антропогенного потепления. Расчеты изменения климата выполнялись с помощью модели ЕСНАМ4/ОРУС3 в версии Ga1.

Эти ледниковые системы представляют широкий спектр типов — от малых каровых ледников Орулгана до крупных дендритовых и сложно-долинных ледников Буордахского массива, хребта Черского и специфических морфологических типов на вулканах Камчатки. Условия питания оледенения также различны — от обильного муссонного в восточных частях Камчатки (Кроноцкий хребет) до недостаточного — юго-восток Орулгана. Хребты Черского и Сунтар-Хаята находятся в промежуточном положении по уровню питания ледников. Соответственно реакция этих систем на потепление различна.

В условиях выбранного сценария изменения климата в XXI столетии увеличение средней температуры лета составит от 3,1 до 3,8°C, что намного превосходит температурные различия между 30-летними периодами XX столетия; для северо-востока Сибири пространственные особенности аномалий летней температуры и твердых осадков исследованы в работах (Ананичева, Кренке, 2005, 2007). Для оценки аккумуляции полученные с помощью климатической модели значения суточной суммы осадков были пересчитаны в среднемесячные значения суммы твердых осадков. Для этого был использован метод Э. Г. Богдановой (Богданова, 1976).

Далее были оценены изменения суммы твердых осадков, исходя из начальных значений температуры и ее ожидаемых изменений в течение XXI века.

При рассматриваемом сценарии изменения климата на северо-востоке Сибири твердые осадки увеличатся везде, кроме южного массива Сунтар-Хаята. На Камчатке ожидается, напротив, некоторое уменьшение твердых осадков везде, за исключением юго-востока, где они слегка увеличатся.

В отношении границы питания получены следующие перспективные оценки: наименьший ее подъем ожидается в северных частях Сибири — 320 м против 500 м на юге. На Камчатке ее повышение, как правило, в большей степени зависит от осадков. Наибольший подъем границы питания ожидается на расположенном на юге полуострова Ичинском вулкане, находящемся в “дождевой тени” Срединного хребта (на 1210 м). Площадь оледенения в рассматриваемом регионе уменьшится дифференцированно: до нуля — полное исчезновение малых ледниковых систем, с сохранением 70% площади — Ключевская группа вулканов,

половины площади оледенения — вулканы Шивелуч и Толбачек. При рассматриваемом сценарном потеплении ледники не будут покрывать южные системы северо-востока Сибири — южный очаг оледенения Орулгана и Сунтар-Хаята; на Камчатке ледники исчезнут с невысоких хребтов Тумрок и Гемчен, а также с хребта Валагинского, которые в отличие от также невысокого Кроноцкого хребта (где останется 10% современной площади) не будут получать достаточного количества влаги для ледникового питания, и при резком потеплении абляция здесь сильно превысит аккумуляцию. Примерно треть площади ледников останется на хребте Черского, на севере Орулгана и Сунтар-Хаята, на Срединном хребте Камчатки (они перечисляются по убыванию процента сохраняющейся площади ледников) и вокруг Ичинского вулкана. Имеющие хорошее питание ледники, окаймляющие сопки юго-востока Камчатки, из-за высоты конусов и близости к Тихому океану сохраняют более 40% своей площади, а в Ключевской группе — более 70%.

Судя по балансу массы ледников, как в базовом периоде времени (примерно 1940–1990 гг.), так и в XXI веке рассматриваемые ледниковые системы оказываются в разной степени соответствия текущему и ожидаемому климатам. В базовый период среди рассматриваемых ледниковых систем только оледенение хребта Черского было в равновесии с климатом. Оледенение Орулгана, западного склона Срединного хребта, Ключевской Сопки и Толбачека на Камчатке в это время увеличивалось, остальные — уже убывали. К 2040–2069 гг. оледенение севера Орулгана, вулканов Ключевской группы и Толбачека (а в случае отсутствия сноса — и Ичинского) придут в соответствие с климатом. Оледенение хребта Черского, несмотря на ожидаемое сильное потепление, все также останется в равновесии с климатом. Отступление ледников Срединного и Кроноцкого хребтов, вулканов Шивелуч и юго-востока Камчатки ускорится (Ананичева, Кренке, 2007).

3.7.5. Литература

- Ананичева М. Д., Кренке А. Н., 2007. Горное оледенение (на примере северо-востока Сибири и Камчатки), глава 6. Оледенение Северной Евразии в ближайшем будущем, в кн.: Оледенение Северной и Центральной Евразии: от прошлого к ближайшему будущему, М., Наука (в печати).
- Ананичева М. Д., Кренке А. Н., 2005. Эволюция высот климатической снеговой линии и границы питания ледников на северо-востоке Сибири в XX веке, Материалы гляциологических исследований, вып. 98, с. 225–233.
- Анисимов О. А., 1989. Об оценке чувствительности вечной мерзлоты к изменению глобального

- термического режима земной поверхности, *Метеорология и гидрология*, № 1, с. 79–84.
- Анисимов О. А., 1990.** Оценка влияния ожидаемых изменений климата на режим вечной мерзлоты, *Метеорология и гидрология*, № 3, с. 40–46.
- Анисимов О. А., 1994.** Оценка макроклимата криолитозоны Евразии и распространение вечной мерзлоты в условиях глобального потепления, *Метеорология и гидрология*, № 9, с. 12–19.
- Анисимов О. А., Белолуцкая М. А., 2003.** Влияние изменения климата на вечную мерзлоту: прогноз и оценка неопределенности, в кн.: Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем, СПб, Гидрометеиздат, т. XIX, с. 21–38.
- Анисимов О. А., Величко А. А., Демченко П. Ф., Елисеев А. В., Мохов И. И., Нечаев В. П., 2002.** Влияние изменений климата на вечную мерзлоту в прошлом, настоящем и будущем, *Физика атмосферы и океана*, т. 38, № 1, с. 25–39.
- Анисимов О. А., Лавров С. А., Ренева С. А., 2005.** Эмиссия метана из многолетнемерзлых болот России в условиях изменения климата, в кн.: Проблемы экологического моделирования и мониторинга экосистем, СПб, Гидрометеиздат, т. XX, с. 124–142.
- Анисимов О. А., Нельсон Ф. Э., 1993.** Зональность криолитозоны России в условиях антропогенного изменения климата, *Метеорология и гидрология*, № 10, с. 87–93.
- Анисимов О. А., Нельсон Ф. Э., 1997.** Влияние изменения климата на вечную мерзлоту в Северном полушарии, *Метеорология и гидрология*, № 5, с. 71–80.
- Анисимов О. А., Нельсон Ф. Э., 1998.** Прогноз изменения мерзлотных условий в Северном полушарии: применение результатов балансовых и транзитивных расчетов по моделям общей циркуляции атмосферы, *Криосфера Земли*, т. 2, № 2, с. 53–57.
- Анисимов О. А., Нельсон Ф. Э., Павлов А. В., 1999.** Прогнозные сценарии эволюции криолитозоны при глобальных изменениях климата в XXI веке, *Криосфера Земли*, т. 3, № 4, с. 15–25.
- Анисимов О. А., Скворцов М., 1989.** О применении математических моделей для исследования влияния изменения климата на вечную мерзлоту, *Метеорология и гидрология*, № 9, с. 98–103.
- Богданова Э. Г., 1976.** Способ расчета доли твердых, жидких и смешанных осадков в их месячной норме, *Материалы гляциологических исследований*, вып. 26, с. 202–207.
- Борзенкова И. И., Будыко М. И., Бютнер Э. К., Величко А. А., Винников К. Я., Голицын Г. С., Израэль Ю. А., Кароль И. Л., Кобак К. И., Кузьмин И. И., Легасов В. А., Менжулин Г. В., 1987.** Антропогенные изменения климата, Л., Гидрометеиздат, 406 с.
- Величко А. А., Нечаев В. П., 1992.** К оценке динамики вечной мерзлоты Северной Евразии в условиях глобального изменения климата, *Известия РАН*, № 3, с. 667–671.
- Воробьев Ю. Л., 2004.** Изменение климата и чрезвычайные ситуации на территории России, в кн.: Труды Всемирной конференции по изменению климата, Москва, 29 сентября — 3 октября 2003, М., Новости, с. 323–327.
- Гарагуля Л. С., Ершов Э. Д. (ред.), 2000.** Геоэкологические опасности. Природные опасности России, т. 1, М., Крук, 315 с.
- Гречищев С. Е., 1997.** Прогноз оттаивания и распределения вечной мерзлоты и изменения криогенного растрескивания грунтов на территории России при потеплении климата, *Криосфера Земли*, т. 1, № 1, с. 59–65.
- Демченко П. Ф., Величко А. А., Елисеев А. В., Мохов И. И., Нечаев В. П., 2002.** Зависимость условия распространения вечной мерзлоты от уровня глобального потепления: сравнение моделей, сценариев и данных палеорекоконструкций, *Физика атмосферы и океана*, т. 38, № 2, с. 165–174.
- Ершов Э. Д., 1997.** Деградация мерзлоты при возможном глобальном потеплении климата, *Соровский образовательный журнал*, № 2, с. 70–74.
- Жуков В. А., Святкина О. А., 2000.** Стохастическое моделирование и прогноз агроклиматических ресурсов при адаптации сельского хозяйства к региональным изменениям климата на территории России, *Метеорология и гидрология*, № 1, с. 100–109.
- Израэль Ю. А., Семенов С. М., Эскин В. И., 2002.** Имитационная модель для оценки влияния усиления парникового эффекта на сезонный ход температуры в приповерхностном слое литосферы, в кн.: Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем, СПб, Гидрометеиздат, т. XVIII, с. 9–22.
- Израэль Ю. А., Анохин Ю. А., Мяч Л. Т., Шерстюков А. Б., 2007.** Оценка и прогноз возможного изменения климата и состояния вечной мерзлоты на территории Российской Федерации в XXI веке, в кн.: Международная конференция “Криогенные ресурсы полярных регионов”, Салехард, 17–22 июня 2007 г., Салехард, Материалы, т. 1, с. 127–132.
- Израэль Ю. А., Егоров В. И., Парамонов С. Г., 2007.** Фоновое содержание и тенденции изменений диоксида углерода и метана в атмосфере северных районов Северного полушария, в кн.: Проблемы экологического моделирования и мониторинга экосистем, СПб, Гидрометеиздат, с. 9–22.
- Лурье П. М., 2002.** Водные ресурсы и водный баланс Кавказа, СПб, Гидрометеиздат, 506 с.
- Малевский-Малевиц С. П., Молькентин Е. К., Надеждина Е. Д., 2000.** Модельные оценки эволю-

3. ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XXI В.

- ции вечной мерзлоты и распределения слоя сезонного протаивания в зависимости от климатических условий в северных регионах Западной Сибири, Криосфера Земли, т. 4, № 4, с. 49–57.
- Малевский-Малевиц С. П., Надежина Е. Д., 2002.** Оценки влияния изменений климата на вечную мерзлоту в России, основанные на модельных сценариях изменений климата, в кн.: Г. В. Менжулин (ред.), Изменения климата и их последствия, СПб, Наука, с. 231–239.
- Малевский-Малевиц С. П., Надежина Е. Д., Симонов В. В., Шкляревич О. Б., Молькентин К. К., 1999.** Оценки воздействий изменений климата на режим протаивания многолетнемерзлых грунтов, в кн.: М. Е. Берляндт, В. П. Мелешко (ред.), Современные исследования главной геофизической обсерватории, СПб, Гидрометеиздат, с. 33–51.
- Мелешко В. П., Голицын Г. С., Говоркова В. А., Катцов В. М., Малевский-Малевиц С. П., Надежина Е. Д., Спорышев П. В., Демченко П. Ф., Елисеев А. В., Мохов И. И., Семенов В. А., Хон В. Ч., 2004.** Возможные антропогенные изменения климата России в XXI веке: оценки по ансамблю климатических моделей, в кн.: Труды Всемирной конференции по изменению климата, Москва, 29 сентября — 3 октября 2003, М., Новости, с. 216–225.
- Молькентин Е. К., Надежина Е. Д., Шкляревич О. Б., 2001.** Пространственная изменчивость модельных характеристик многолетнемерзлых грунтов, Метеорология и гидрология, № 8, с. 89–97.
- Павлов А. В., 1997.** Мерзлотно-климатический мониторинг России: методология, результаты наблюдений, прогноз, Криосфера Земли, т. 1, № 1, с. 47–58.
- Паников Н. С., Сизова М. В., Зеленев В. В., Махов Г. А., Наумов А. В., Гаджиев И. М., 1996.** Эмиссия CH_4 и CO_2 из болот юга Западной Сибири: пространственное и временное варьирование потоков, Экологическая химия, № 4, с. 13–24.
- Паников Н. С., Глаголев М. В., Кравченко И. К., Мастепанов М. А., Косых Н. П., Миронычева-Токарева Н. П., Наумов А. В., Иноуэ Г., Максюттов Ш., 1997.** Эмиссия метана из верховых болот Западной Сибири в зависимости от характера растительного покрова, Экологическая химия, т. 1, № 6, с. 59–67.
- Панов В. Д., 1993.** Эволюция современного оледенения Кавказа, СПб, Гидрометеиздат, 431 с.
- Ягвочкина С. В., Кароль И. Л., Зубов В. А., Лагун В. Е., Решетников А. И., Розанов Е. В., 2003.** Оценка потоков метана в атмосферу с территории газовых месторождений севера Западной Сибири с использованием трехмерной региональной модели переноса, Метеорология и гидрология, № 4, с. 49–63.
- Anisimov O. A., 1989.** Changing climate and permafrost distribution in the Soviet Arctic, Physical Geography, vol. 10, No. 3, pp. 285–293.
- Anisimov O. A., 2007.** Potential feedback of thawing permafrost to the global climate system through methane emission, Environmental Res. Lett., No. 2.
- Anisimov O. A. and Nelson F. E., 1997.** Permafrost zonation and climate change in the Northern Hemisphere: Results from transient general circulation models, Climatic Change, vol. 35, No. 2, pp. 241–258.
- Anisimov O. A., Shiklomanov N. I., and Nelson F. E., 1997.** Global warming and active-layer thickness: Results from transient general circulation models, Global and Planetary Change, vol. 15, No. 3–4, pp. 61–77.
- Anisimov O. A., Shiklomanov N. I., and Nelson F. E., 2002.** Variability of seasonal thaw depth in permafrost regions: A stochastic modeling approach, Ecological Modelling, No. 3, pp. 217–227.
- Climate Change 1994, 1995.** Radiative Forcing of Climate Change and an Evaluation of the IPCC IS92 Emission Scenarios. Intergovernmental Panel of Climate Change, Cambridge University Press, 339 p.
- Climate Change 1995, 1996.** The Science of Climate Change. Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change, Houghton J. T., Meira Filho L. G., Callander B. A., et al. (eds.), Cambridge University Press, 572 p.
- Climate Change 2001, 2001.** The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change, Houghton J. T., Ding Y., Griggs D. J., et al. (eds.), Cambridge University Press, 881 p.
- Malevsky-Malevich S. P., Molkentин E. K., Nadyozhina E. D., and Shklyarevich O. B., 2001.** Numerical simulation of permafrost parameters distribution in Russia, Cold Regions Science and Technology, vol. 32, No. 1, pp. 1–11.
- Sazonova T. S. and Romanovsky V. E., 2003.** A model for regional-scale estimation of temporal and spatial variability of active-layer thickness and mean annual ground temperatures, Permafrost and Periglacial Processes, vol. 14, No. 2, pp. 125–140.
- Stendel M. and Christensen J. H., 2002.** Impact of global warming on permafrost conditions in a coupled GCM, Geophys. Res. Lett., vol. 29, No. 13, pp. 10-1–10-4.
- Whalen S. C. and Reeburgh W. S., 1992.** Interannual variations in tundra methane emission: A 4-year time series at fixed sites, Global Biogeochemical Cycles, vol. 6, No. 2, pp. 139–159.
- Whalen S. C., Reeburgh S. W., and Kizer K. S., 1991.** Methane consumption and emission by taiga, Global Biogeochemical Cycles, vol. 5, No. 3, pp. 261–273.

3.8. СЕВЕРНЫЕ МОРЯ

Ведущие авторы: И. Е. Фролов, А. В. Цыбань

Авторы: Г. В. Алексеев, С. П. Баринова, Ю. Л. Володкович, З. М. Гудкович, В. П. Карклин, Ю. В. Лупачев, И. О. Умбрумянц, С. В. Фролов, Т. А. Шука

Редактор-рецензент: А. П. Левич

3.8.1. Вводные замечания

В XXI веке в высоких широтах Северного полушария будет продолжаться потепление (Climate Change 2007, 2007). Однако на фоне этого потепления, вызванного глобальными факторами — антропогенными эмиссиями парниковых газов, можно ожидать существенных вековых колебаний температуры, вызванных естественными причинами. Такие колебания наблюдались в Арктике в XX веке (Алексеев, 2003; Алексеев, Иванов, 2003; Алексеев (ред.), 2004; Гудкович и др., 2005; Фролов и др., 2007; Makshtas et al., 2003). Сочетание глобального положительного тренда и региональных колебаний в XX веке привело к смене периодов потепления и похолодания, что может произойти и в XXI веке. Это обстоятельство необходимо учитывать при оценке влияния изменения климата в высоких широтах Северного полушария на условия плавания и другие виды экономической деятельности, а также на состояние биологических систем (Climate Change, 2007, 2007b). Для России важность этого усиливается тем, что на северных морях и их береговых зонах сосредоточены существенные запасы ресурсов, необходимых для устойчивого развития экономики страны (Филиппов, Жуков, 2004), а также наличием там чувствительных к изменению климата экосистем, уязвимых биологических видов.

3.8.2. Экономика и морская деятельность в арктических регионах

3.8.2.1. Ледовые условия на Северном морском пути

Облегчение ледовых условий на трассе Северного морского пути и по Северо-западному проходу вокруг северного побережья Канады в эпохи потепления всегда стимулирует внимание к возможному использованию этих транспортных путей для развития мировой экономики. Выражаются даже надежды на возможность плавания транспортных судов через район Северного полюса в XXI столетии (АСИА, 2004). Следует, однако, иметь в виду, что возрастающий доступ в Северный Ледовитый океан потребует, чтобы суда, предназначенные для прохода через регион, строились в соответствии с более высокими конструктивными стандартами по сравнению с судами,

используемыми в открытом океане. Международные и внутренние инструкции, предназначенные для повышения морской безопасности и защиты окружающей среды в арктических водах, потребуют учитывать, чтобы каждое морское судно в высокой степени обладало возможностью функционировать в ледовых условиях (Цой и др., 1998; Цой, Горшковский, 2002).

Северный морской путь является главной морской транспортной артерией для освоения природных ресурсов российской Арктики (Пересыпкин, 2002; Концепция развития Северного морского пути, 2003). Одновременно это кратчайший морской путь между североатлантическим и северотихоокеанским регионами Мирового океана, к которым примыкают промышленно развитые страны Европы, Северной Америки и Юго-Восточной Азии. Для изучения этих возможностей в 1993–1999 гг. выполнялась международная программа “Северный морской путь” — The International Northern Sea Route Programme (INSROP Programme..., 1999). Основной задачей программы было создание обширной базы знаний о покрываемых льдами судоводных путях от Новой Земли вдоль берегов Сибири до Берингова пролива.

Уменьшение ледовитости в некоторых районах Северного Ледовитого океана, по крайней мере в начале XXI века, может быть не только благом для судоходства. Например, последние изменения морского льда в Северо-западном проходе сделали его менее предсказуемым для судоходства вследствие увеличения межгодовой изменчивости (АСИА, 2004). При потеплении большее количество многолетнего льда и айсбергов могут попадать на морские пути Северо-западного прохода, создавая дополнительную опасность для навигации.

До 2015 г. продолжительность ледового периода на Северном морском пути от пролива Карские Ворота к востоку останется не менее шести месяцев в году. При этом сохранится вероятность формирования сложных и очень сложных ледовых условий в проливах Вилькицкого и Шокальского, а также в проливах Дмитрия Лаптева, Санникова и Лонга. Поэтому для безопасности мореплавания будут необходимы ледоколы и суда ледового класса, а также развитие систем гидрометеорологического обеспечения морских операций.

3.8.2.2. Добыча полезных ископаемых

Условия освоения ресурсов на шельфе арктических морей весьма зависимы от климата. Это связано с воздействием гидрометеорологической обстановки — в том числе морского дрейфующего льда, обломков айсбергов, штормовых ветров и волнения — на добывающие сооружения и транс-

3. ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XXI В.

портирующие средства. Возможные периоды потепления не уменьшат опасных гидрометеорологических воздействий, а лишь перераспределят степень опасности от разных факторов. Так, когда вероятность появления дрейфующих льдов уменьшается, возрастает вероятность увеличения высот ветровых волн и появления обломков айсбергов от деградирующих ледников на арктических островах.

Морской лед при утончении и сокращении сплоченности, вероятно, станет более динамичным во многих прибрежных регионах, где прежде существовали относительно стабильные условия, что необходимо также учитывать при хозяйственной деятельности.

При перспективном планировании добычи полезных ископаемых в Арктике следует иметь в виду, что в некоторых районах Северного Ледовитого океана ледовитость может увеличиваться. Так, в 2020–2030-х годах ожидается увеличение ледовитости в западных морях — Баренцевом и Карском (Стратегический прогноз на период..., 2006). В то же время именно в этих морях в этот период ожидается значительная интенсификация судоходства, связанная с масштабным освоением шельфа — добычей и транспортировкой углеводородов. Планируемое использование крупнотоннажных судов (танкеров) на фоне ухудшения ледовых условий плавания потребует использования соответствующих ледовых подкреплений их корпусов, повышенной мощности судовых энергетических установок. Вместе с тем сокращение периода безледокольного плавания (при увеличении объема грузоперевозок) потребует увеличения объема ледокольного обеспечения и, как следствие, количества и мощности ледокольного флота.

Отечественная и мировая экономика в XXI столетии будет нуждаться в природных ресурсах, сосредоточенных в Арктике и Субарктике. Трудности доставки для использования составляют одно из основных препятствий для их широкого освоения. Морской и отчасти речной (в Сибири) транспорт представляется наиболее эффективным путем решения этой проблемы. Другие виды транспорта (автомобильный, железнодорожный, трубопроводы) значительно сложнее использовать в условиях Крайнего Севера с его вечной мерзлотой, уязвимой природной средой, тектонической активностью (в Тихоокеанском регионе). Развивающееся строительство новых транспортных судов ледокольного типа значительно расширяет эффективность арктического судоходства.

Региональное, так же как и трансарктическое судоходство по Северному морскому пути, вероятно, получит выгоды от продолжающегося сокращения площади морского льда и удлинения сезонов навигации. Поскольку сокращение площади арктического

морского льда открывает некоторые ранее закрытые проходы, то, вероятно, встанут вопросы о суверенитете на маршруты судоходства и ресурсы морского дна (АСИА, 2004). В качестве возможных внешнеполитических проблем, которые России и другим арктическим государствам придется решать в XXI веке, усматриваются поиск и добыча энергоносителей и биоресурсов вне национальных границ, использование морских транспортных путей, делимитация континентального шельфа, состояние окружающей среды, применение морского права к арктическим районам и ряд других. Эти проблемы существуют и в настоящее время, однако климатический фактор может стать причиной их обострения, особенно в условиях глобализации, ограниченности невозобновляемых ресурсов, прежде всего энергетических.

С ростом доступности морских путей по прибрежным арктическим морям для судоходства национальные правительства будут призваны решать проблемы, связанные с улучшением помощи ледоколов и предсказания и картирования ледовых условий, усовершенствованием службы спасения в опасных ситуациях, повышением эффективности очищения льда от нефти.

3.8.3. Биологические системы северных морей

3.8.3.1. Балтийское море

Ожидается, что в XXI веке температура воздуха в приповерхностном слое атмосферы в бассейне Балтийского моря будет продолжать повышаться относительно современного уровня (Climate Change in the Baltic Sea Area, 2006); перспективные оценки, основанные на региональных моделях, указывают на то, что увеличение средней температуры составит от 3 до 5°C во всем бассейне в течение столетия. В большей степени потепление проявится в восточной и северной частях Балтийского моря в зимние месяцы и в южной части моря — в летние. К концу XXI века это может привести к удлинению вегетационного периода на 20–50 суток в северных районах и на 30–90 суток в южных.

Ожидается, что средняя температура поверхности Балтийского моря также увеличится, что приведет к значительному уменьшению площади морского льда в течение зимы. Наиболее выражены эти уменьшения будут в Финском, Рижском и Ботническом заливах и во внешней части юго-западного архипелага у побережья Финляндии. Длительность ледового сезона уменьшится до 1–2 месяцев в северной части Балтийского моря и до 2–3 месяцев в центральной.

Ожидаются также изменения количества осадков как в сезонном, так и в географическом их распределении. В частности, произойдет увеличе-

ние годовой суммы осадков. Оно будет наибольшим в северной части бассейна Балтийского моря. В сезонном аспекте зимние осадки увеличатся в большей степени, чем летние. В региональном аспекте в южных районах осадки увеличатся в меньшей степени, чем в северных, особенно летом. Изменение количества осадков повлияет на речной сток в Балтийское море, который увеличится в северных районах в большей степени, чем в южных. Летний сток увеличится в меньшей степени, чем зимний. В соответствии с некоторыми региональными сценариями средняя соленость Балтийского моря будет уменьшаться (Climate Change in the Baltic Sea Area, 2006).

Ожидается, что изменения температуры, водного баланса, циркуляции и солености, связанные с изменением климата, будут влиять на виды, обитающие в Балтийском море, их распределение и взаимосвязи, на экологические и биогеохимические процессы.

Биогеохимический цикл неорганического азота состоит из комплекса процессов, в которых участвуют бактерии. Эти процессы происходят, главным образом, в донных осадках. В биогеохимическом цикле серы также существенно участвуют бактерии. В бескислородных условиях бактериальное сульфатредуцирование приводит к утилизации органических компонентов и образованию высокорастворимого токсичного сероводорода, широко распространенного в анаэробных донных осадках Балтийского моря. Ожидаемое потепление будет стимулировать метаболизм бактерий при условии, что другие факторы, такие как наличие субстрата и доступность кислорода, неограничены. Увеличение активности бактерий приведет к усилению минерализации в поверхностных водах, так что седиментация органического вещества может уменьшиться.

Предполагаемое в XXI веке изменение климата в бассейне Балтийского моря, вероятно, будет оказывать влияние на видовой состав и биомассу фитопланктона, но оно не будет однозначным. Потепление напрямую ингибирует холодноводные виды, главным образом развивающиеся весной диатомовые водоросли, но усиливает развитие тепловодных видов, таких как формирующие “цветение” токсические цианобактерии (*Nodularia spumigena*). Новые виды, пришедшие из теплых морей, могут утвердиться и вытеснить коренные виды. Уменьшение ледового покрова и ранняя стабилизация водного столба весной могут обусловить более раннее начало весеннего цветения.

Более устойчивая вертикальная стратификация водного столба может уменьшить процессы вертикального переноса и отрицательно повлиять на виды, нуждающиеся в хорошо перемешиваемой воде. Цианобактерии будут иметь преимущество в

этой ситуации. Тем не менее уменьшение конвективного перемешивания, обусловленное потеплением, может быть компенсировано увеличением турбулентного перемешивания вследствие возможного усиления ветра и уменьшения ледового покрова. Это может способствовать развитию диатомовых, но разрушить поверхностные скопления цианобактерий. Изменения во времени “цветения” и видовом составе фитопланктона могут разрушить существующую пищевую цепь и спровоцировать изменения на более высоких трофических уровнях (Climate Change in the Baltic Sea Area, 2006).

Повышение температуры в поверхностном слое Балтийского моря может привести к ослаблению весеннего и осеннего конвективного перемешивания, воздействуя, таким образом, на распределение пищевых элементов в фотической зоне. Изменение речного стока может привести к изменению поступления пищевых элементов с водосбора. Увеличение температуры воды может также увеличить бактериальную активность, которая может воздействовать на круговорот пищевых элементов и минерализацию в поверхностных водах. Эти изменения могут иметь влияние на состав видов фитопланктона и первичную продукцию, что имеет огромную важность для экосистемы Балтийского моря. Как показано выше, потепление может ингибировать холодноводные виды (особенно некоторые диатомовые), но усиливать тепловодные, такие как токсические цианобактерии. Уменьшение ледового покрова и более ранняя стабилизация водного столба весной могут также быть причиной более раннего весеннего “цветения”. Временные изменения “цветения” и состава видов могут также нарушить существующие пищевые сети, провоцируя изменения на более высоких трофических уровнях.

Возможные изменения солености могут оказывать прямое влияние на состав и распределение видов в Балтийском море, особенно зоопланктона и зообентоса. Виды зоопланктона в свою очередь влияют на своих хищников — планктоноядных рыб, таких как сельдь и шпрот, определяя их рост и кондицию. Потенциальное климатообусловленное уменьшение солености может также увеличить район окисленных донных осадков и таким образом увеличить ареал, пригодный для колонизации зообентосом, а также повлиять на его видовой состав.

Ожидаемое повышение температуры воды, вероятно, скажется на выживаемости мезозоопланктона в зимнее время и его росте и размножении летом. В целом можно предположить, что по мере развития климатических изменений роль более мелкого мезозоопланктона (простейшие, кладоцеры, коловратки, мелкие копеподы эстуариев) будет возрастать в пелагической пищевой цепи. Эти

группы — представители “микробной петли” в структуре морской экосистемы — функционируют как альтернатива пастбищной цепи, представленной большими неритическими копеподами. Микробная петля быстро регенерирует биогены в стратифицированном поверхностном слое, где находятся важные первичные продуценты. Пищевая цепь заканчивается желетельми (медузами и гребневиками). Напротив, в пастбищной пищевой цепи копеподы переносят пищевые вещества от первичных продуцентов, диатомовых, в нестратифицированной водной среде к пелагическим рыбам и другим высшим хищникам (Climate Change in the Baltic Sea Area, 2006). В 1998 г. коловратки доминировали в летнем зоопланктоне, составляя до 96% общей численности и 82% общей биомассы зоопланктона (Исследование экосистемы Балтийского моря, 2005). Таким образом, с развитием климатических изменений важность пастбищной пищевой цепи, по-видимому, будет уменьшаться. Уменьшение численности неритических копепод повлечет изменения планктоноядных рыб, что будет более заметно в северной открытой части моря, особенно в Финском и Рижском заливах (Climate Change in the Baltic Sea Area, 2006).

Воздействие потепления на морских млекопитающих Балтийского моря скажется главным образом через значительное сокращение ледового покрова, что повлияет на тюленей, размножающихся на льду, в первую очередь на кольчатых нерп и серых тюленей. С другой стороны, увеличение температуры может быть благоприятным фактором для обыкновенных тюленей и морских свиней.

Для кольчатых нерп наиболее важным параметром климата является число ледовых дней. Ожидается, что ледовый покров будет существенно уменьшаться в районах размножения нерп, так что в 2071–2100 гг. в южных районах для воспроизводства нерп останется только 18–48 ледовых дней. В более северных районах Ботнического залива среднее число ледовых дней составит около 4 месяцев и все еще будет превосходить современную продолжительность ледового покрова в южных районах воспроизводства. Таким образом, ареал кольчатых нерп уменьшится и сдвинется севернее с возможным исчезновением популяций, размножающихся в Финском, Рижском заливах и на архипелаге у побережья Финляндии.

Несмотря на то, что балтийская популяция серых тюленей имеет возможность перехода на наземное воспроизводство, трудно оценить, как климатические изменения повлияют на численность и распространение вида. Есть факты, свидетельствующие о повышенной смертности щенков у тюленей, размножающихся на земле. Кроме того, поскольку количество пригодных для раз-

множения мест ограничено, возможно повышение смертности при перенаселении. С другой стороны, в результате сокращения ледового покрова тюлени смогут кормиться в районах, покрытых льдом при современных климатических условиях.

Ожидаемое повышение уровня моря и ветрового волнения может иметь влияние на распространение, места добывания пищи и воспроизводства серых и обыкновенных тюленей. Даже достаточно малое изменение уровня моря может превратить многие места охоты и размножения в непригодные, поскольку обычно — это очень низкие шхеры и рифы.

Повышение температуры поверхности воды и сокращение площади ледового покрова могут оказаться благоприятными для морских свиней и обыкновенных тюленей. Однако неизвестно, увеличат ли при этом эти виды область своего распространения — другие, не климатические факторы могут иметь большее значение (Climate Change in the Baltic Sea Area, 2006).

Морские птицы, мигрирующие и зимующие на Балтике, могут быть больше всего подвержены влиянию потепления — они смогут зимовать севернее, чем сейчас.

3.8.3.2. Чукотское и Берингово моря

Ожидаемое потепление климата в регионе Чукотского моря и сопровождающие его процессы — изменение температуры поверхностного слоя воды, продление сезона вегетации фитопланктона, таяние слоя мерзлоты весной, увеличение речного стока, размыв береговой линии — в конечном итоге будут способствовать поступлению в море дополнительной органики и активизации развития гетеротрофной сапрофитной микрофлоры. Возможны мутации в условно-патогенные формы.

В условиях ожидаемого дальнейшего потепления климата в XXI веке смещение границы льдов к северу и увеличение площади открытых вод на шельфе может повлечь за собой изменение распределения атмосферных выпадений загрязняющих веществ и вызвать их накопление в водах, а следовательно, и в экосистемах прибрежных и шельфовых районов Чукотского моря. Возможно, что в условиях роста загрязнения и биоаккумуляции загрязняющих веществ их концентрации (например, гексахлорциклопексана, полихлорбифенилов) в тканях и жировых отложениях морских рыб, белых медведей, китов и моржей могут заметно возрасти.

Оценка влияния возможного изменения температуры на важные характеристики экосистемы Берингово моря была получена в серии численных модельных экспериментов. Результаты расчетов показали, что в случае увеличения температуры в

верхнем квазиоднородном слое воды на 1, 2 и 4°C происходит увеличение первичной продукции органического вещества на 1, 2,6 и 4,6% соответственно. При этом бактериальная деструкция органического вещества увеличивается соответственно на 2, 4 и 7%. Эти различия в изменениях интенсивности процессов первичного продуцирования и деструкции органического вещества при заданном изменении температуры приведут к изменению структуры пищевой цепи планктонных организмов. Изменение биомассы планктона наиболее существенным окажется для зоопланктона — увеличение на 2–4% при повышении температуры на 2–4°C. В условиях повышения температуры на 2–4°C концентрация нитратов понизится на 1–2%, при этом содержание аммония увеличится на 1–1,6% (эти показатели соответствуют увеличению температуры в теплый период года) (Исследование экосистемы Берингова моря, 1983).

3.8.4. Литература

- Алексеев Г. В., 2003.** Исследования изменений климата Арктики в XX столетии, Труды ААНИИ, т. 446, с. 6–21.
- Алексеев Г. В. (ред.), 2004.** Формирование и динамика современного климата Арктики, СПб, Гидрометеоздат, 400 с.
- Алексеев Г. В., Иванов Н. Е., 2003.** Региональные и сезонные особенности потеплений Арктики в 1930-е и 1990-е годы, Труды ААНИИ, т. 446, с. 41–47.
- Гудкович З. М., Карклин В. П., Фролов И. Е., 2005.** Внутривековые изменения климата, площади ледяного покрова Евразийских арктических морей и их возможные причины, Метеорология и гидрология, № 6, с. 5–14.
- Исследование экосистемы Балтийского моря, 2005.** Под ред. Ю. А. Израэля, А. В. Цыбань, СПб, Гидрометеоздат, 324 с.
- Исследование экосистемы Берингова моря, 1983.** Под ред. Ю. А. Израэля, А. В. Цыбань, Л., Гидрометеоздат, 157 с.
- Концепция развития Северного морского пути, 2003.** Проект Министерства транспорта РФ, 20 мая 2003 г., М., Администрация СМП, ЦНИИИП МФ.
- Пересыпкин В. И., 2002.** Северный морской путь: состояние и перспективы развития, Доклады научно-практического совещания “Гидрометеорологическое обеспечение хозяйственной деятельности в Арктике и замерзающих морях”, 27–29 марта 2002 г., СПб, с. 71–78.
- Стратегический прогноз на период до 2010–2015 годов о влиянии ожидаемых изменений климата на отрасли экономики России и их проявлениях в отдельных регионах страны (доклад Правительству Российской Федерации), 2005.** М., Росгидромет.
- Филиппов В. В., Жуков М. А., 2004.** Проблемы устойчивого развития арктической зоны Российской Федерации, Аналитический доклад, <http://www.arctictoday.ru>.
- Фролов И. Е., Гудкович З. М., Карклин В. П., Ковалев Е. Г., Смоляницкий В. М., 2007.** Климатические изменения ледяного покрова морей Евразийского шельфа (в печати).
- Цой Л. Г., Караванов С. Б., Глебоко Ю. В., Морейнис Ф. А., Высоцкая Н. А., 1998.** Требования к проектированию будущих судов для СМП, Международная программа INSROP, Проект I.1.4, Подпрограмма I, Природные условия и ледовая навигация, СПб, ЦНИИМФ.
- Цой Л. Г., Горшковский А. Г., 2002.** Ледокольный флот России нуждается в обновлении, Морской вестник, № 4 (4).
- ACIA, 2004.** Impacts of Warming Arctic: Arctic Climate Impact Assessment, Cambridge University Press.
- Climate Change 2007, 2007a.** The Physical Science Basis. Summary for Policymakers. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, <http://www.ipcc.ch/>.
- Climate Change 2007, 2007b.** Impacts, Adaptations and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Parry M. L., Canziani O. F., Palutikof J. P., van der Linden P. J., and Hanson C. E., eds., Cambridge University Press, Cambridge, 879 p.
- Climate Change 2007, 2007c.** Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Metz B., Davidson O. R., Bosch P. R., Dave R. and Meyer L. A., eds., Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA., 841 p.
- Climate Change in the Baltic Sea Area, 2006.** Draft HELCOM Thematic Assessment in 2006. HELCOM Stakeholder Conference on the Baltic Sea Action Plan, Helsinki, Finland, 7 March 2006.
- INSROP Programme Report 1993–1998, 1999.** Summary and Statistics of all INSROP Products and Activities, The International Northern Sea Route Programme, March 1999, ISBN 82-7613-358-4, <http://www.fni.no/insrop>.
- Makhtas A., Shoutilin S., and Andreas E., 2003.** Possible dynamic and thermal causes for the recent decrease in sea ice in the Arctic, J. Geophys. Res., vol. 108, pp. 25-1–25-13.

3.9. УРОВЕНЬ КАСПИЙСКОГО МОРЯ

Ведущие авторы: Ф. С. Терзиев, В. Ч. Хон

Авторы: Г. Ф. Заклинский, Ю. Г. Филиппов

Редактор-рецензент: З. К. Абузяров

3.9.1. Вводные замечания

При исследовании влияния будущих изменений климата на уровень Каспийского моря необходимо учитывать разнообразные факторы. Это — метеорологические факторы (атмосферная циркуляция, осадки и эвапотранспирация на водосборе), гидрологические (сток впадающих рек и видимое испарение), а также антропогенные факторы (регулирование стока рек и изменение свойств подстилающей поверхности с хозяйственными целями).

В долгосрочном плане — до конца XXI столетия и на более отдаленную перспективу — роль всех этих факторов возможно оценить лишь в рамках определенных сценариев, причем существенны не только представления о том, каково будет антропогенное влияние на глобальный климат вследствие эмиссии парниковых газов в атмосферу, но и как будет регулироваться сток рек в бассейне Каспийского моря с водохозяйственными целями. Работы в этом направлении проводятся в институтах Росгидромета (Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова, Государственный гидрологический институт, Гидрометцентр России, Государственный океанографический институт, Институт глобального климата и экологии Росгидромета и Российской академии наук и Институт физики атмосферы им. А. М. Обухова, Институт водных проблем РАН).

Для среднесрочной перспективы (скажем, до 2020 г.) конкретный сценарий антропогенного изменения глобального климата не имеет решающего значения, а более существенны естественные колебания климата и водохозяйственная деятельность в регионах.

3.9.2. Среднесрочные оценки

Вариации гидрологического цикла в бассейне Каспийского моря — в числе сильнейших региональных вариаций в XX веке. Это проявилось в значительных изменениях уровня Каспийского моря — самого большого в мире замкнутого водного резервуара, основной сток в который дает Волга. Уровень Каспийского моря может служить важным индикатором не только региональных, но и глобальных климатических изменений (Арпе и др., 1999).

Колебания уровня Каспийского моря, наблюдавшиеся в XX веке и принесшие значительный

ущерб экономике страны, стали предметом особого внимания специалистов (Хубларян, 2000; Чуйков, 1998). К середине 1990-х годов в условиях затопления и подтопления оказались 7 млн. га территории с оценочной стоимостью 10 млрд. долл. США и населением около 600 тыс. человек (Фролов, 2003). Лишь понимание причин этих колебаний (Косарев, Макарова, 1988), их ведущих факторов и количественных закономерностей может привести к созданию эффективных моделей, с помощью которых возможно получить информацию на перспективу и предотвратить или же уменьшить размер ущерба в будущем.

В работе (Фролов, 2003) исследован многолетний водный баланс Каспийского моря, предложены воднобалансовые модели для водоема, а также приведены расчеты характеристик колебания уровня моря для прикладных задач. В работе (Казанский, 1994) были оценены изменения уровня моря в будущем — до 2020 г. — при помощи дифференциального детерминистического уравнения водного баланса. При этом предполагалось, что составляющие водного баланса будут соответствовать ситуации в 1978–1992 гг. Результаты моделирования приведены на рис. 3.9.1.

Вероятностный прогноз уровня Каспия, базирующийся на реконструкции водного баланса и уровня моря за последние 2000 лет и их совместном анализе, выполнен в статье Р. К. Клиге (1994). В работе даны прогнозные оценки 5%-, 50%- и 95%-ной обеспеченности уровня моря при безвозвратном потреблении речного стока в бассейне моря от 40 до 35 км³ в год.

Перспективная оценка изменения уровня Каспия на ближайшие годы по данным Гидрометцентра России приводится на рис. 3.9.2 (Абузяров,

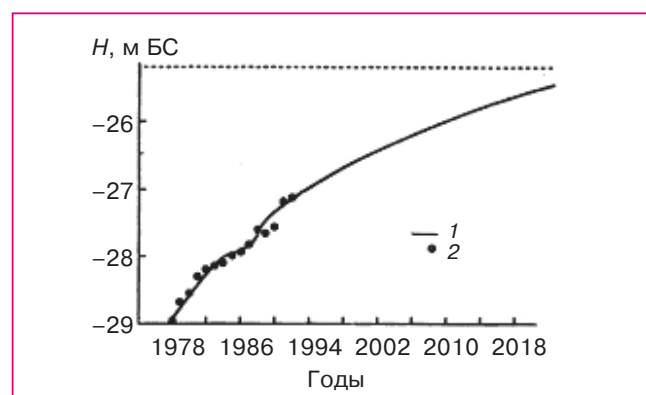


Рис. 3.9.1. Уровень Каспийского моря H (Казанский, 1994). Рисунок из работы (Фролов, 2003). 1 — теоретическая кривая; 2 — фактические данные.

3. ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XXI В.

2003). Близкие результаты были получены с использованием методики ГГО (Мещерская, Голод, 2003) (см. рис. 3.9.3). Эта перспективная оценка представлена в двух вариантах — с приведением и без приведения к фактическому уровню в 2000 г. (они различаются на 30 см).

Приведенные на рис. 3.9.2 и 3.9.3 оценки уровня Каспия удовлетворительно согласуются между собой на среднесрочную перспективу, а также с фактическими данными за период наблюдений. Согласно этим оценкам, существенное по-

вышение уровня ожидается после 2013 г. В конце периода, рассматриваемого в работе (Мещерская, Голод, 2003), т. е. к 2020 г., уровень моря (по приведенным данным) может оказаться на отметке около $-26,5$ м БС, или примерно на $0,5$ м выше, чем в 2000 г.

В 1967 г. К. И. Смирновой и О. И. Шереметевской (1967) был разработан метод прогноза месячных и годовых уровней Каспийского моря, основанный на приближенном расчете составляющих водного баланса моря. Этот метод с

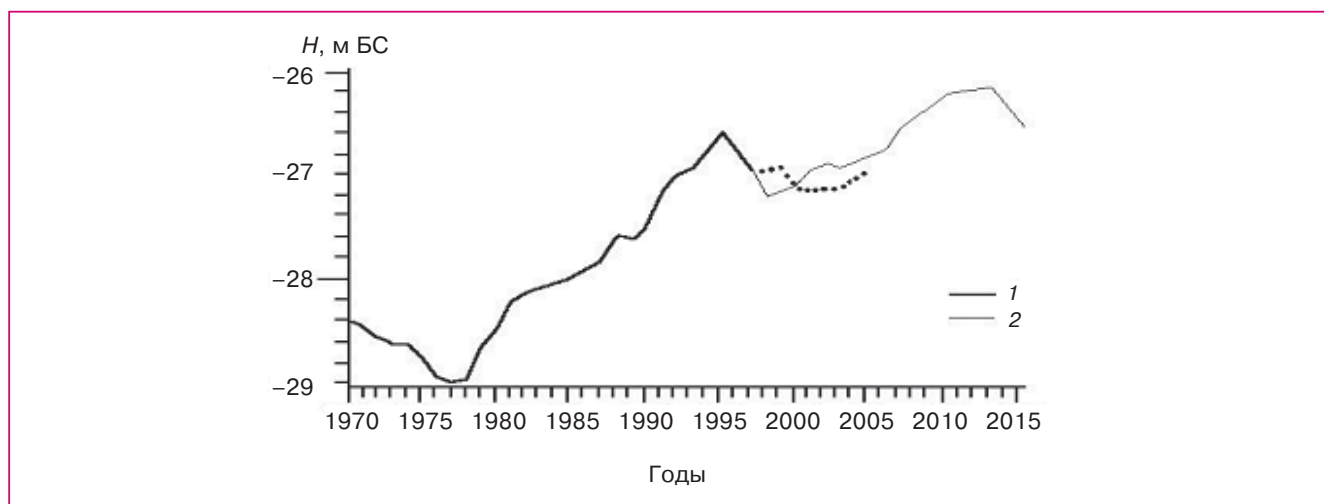


Рис. 3.9.2. Фактический ход уровня Каспийского моря H (1) и его перспективная оценка до 2015 г. (2) (Абузаров, 2003). Точки показывают фактический ход уровня после 1997 г.

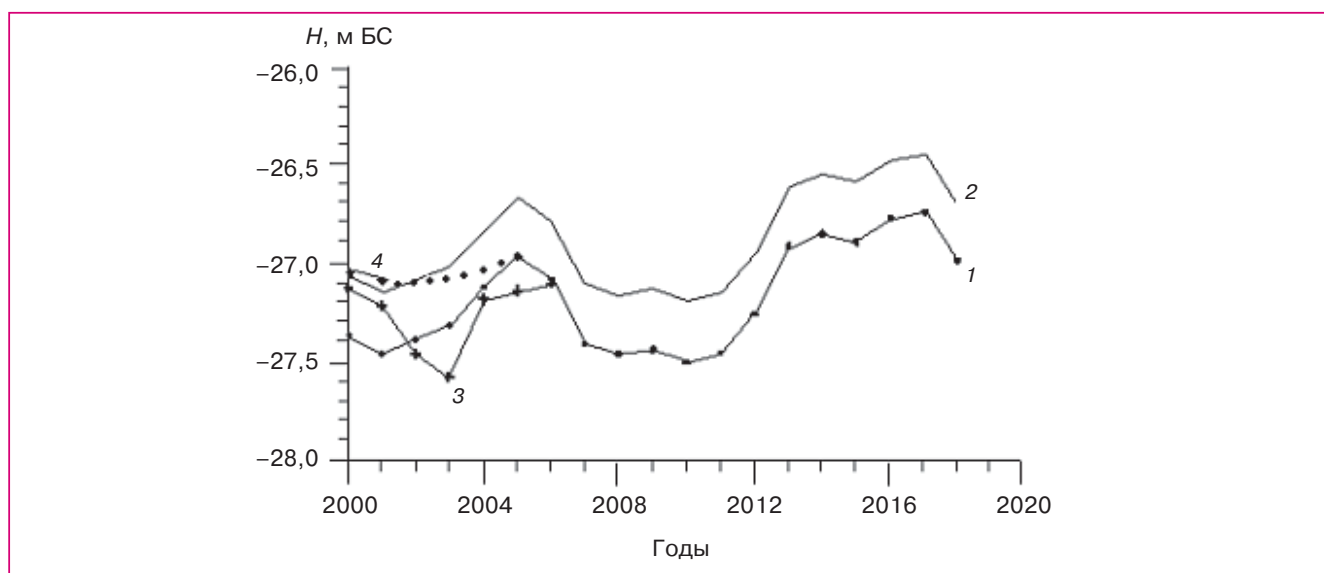


Рис. 3.9.3. Перспективные оценки уровня Каспия H , полученные с использованием климатических параметров в качестве предикторов (Мещерская, Голод, 2003). 1 — перспективные оценки большой заблаговременности без приведения к фактическому уровню в 2000 г.; 2 — то же с приведением; 3 — перспективные оценки средней заблаговременности (без приведения); 4 — фактические значения в 2000 и 2001 гг. по данным четырех станций; точки показывают фактический ход уровня после 2001 г.

некоторыми уточнениями до сих пор применяется в оперативной практике Гидрометцентра России. Решающую роль в годовом ходе уровня моря играют две составляющие водного баланса: поверхностный приток речных вод и эффективное испарение, которые в известной степени компенсируют друг друга. Из этих двух составляющих в условиях зарегулирования стока первая задается в соответствии с планируемыми режимами работы ГЭС, а сумма остальных компонентов водного баланса, вследствие ее малой изменчивости, в первом приближении принимается неизменной как средняя многолетняя величина. Анализ результатов расчетов по данному методу показывает, что приращения уровня моря от месяца к месяцу можно прогнозировать при заданном стоке с точностью до 3 см при обеспеченности 82% и с точностью до 5 см при обеспеченности 87%.

3.9.3. Долгосрочные оценки

Возможность использования результатов расчета с помощью моделей общей циркуляции атмосферы и океана для перспективных долгосрочных (до конца XXI века и на более отдаленную перспективу) оценок изменения уровня Каспийского моря в существенной степени определяется их способностью воспроизводить региональный климат прошлого. Этот вопрос был изучен в рамках подпроекта “Каспийский климат” Международной программы сравнения атмосферных моделей — AMIP (Golitsyn et al., 1996). Большинство климатических моделей высокого пространственного разрешения удовлетворительно воспроизвели как климат на водосборах рек Волги и Урала, так и колебания уровня Каспийского моря (Мелешко и др., 1998). На рис. 3.9.4 приведены результаты моделирования с МОЦАО ЕСНАМ4/ОРУС3 и годовые суммы осадков над водосбором Волги и ее сток по данным наблюдений. При расчете использовался сценарий увеличения концентрации парниковых газов в атмосфере IS92a (Climate Change, 1992), предполагающий увеличение суммарной концентрации (в CO₂-эквиваленте) от примерно 350 млн⁻¹ в 1990 г. до 700 млн⁻¹ в 2100 г. На рисунке видно хорошее соответствие модельных расчетов данным наблюдений для XX столетия.

Исследования факторов, определяющих естественные колебания уровня Каспийского моря, по данным наблюдений указывают на то, что основными являются сток Волги и видимое испарение с поверхности водоема (разность между испарением в приповерхностном слое и осадками). На рис. 3.9.5 приведены скользящие коэффициенты корреляции между (1) приращением уровня моря и видимым испарением и (2) приращением уровня моря и стоком Волги (Арпе и др., 2002). Коэффициент

корреляции вычислялся для 21-летнего периода, который последовательно сдвигался на 1 год вперед. На рисунке видно, что приращение уровня моря сильно коррелирует со стоком; коэффициенты корреляции меняются в пределах от 0,64 до 0,92. Значения коэффициентов корреляции для приращения уровня моря и видимого испарения для некоторых периодов также значительны, от -0,75 до -0,26.

Анализ связи сезонных осадков со стоком Волги показал, что основное влияние на формирование стока оказывают осадки в теплый период года, а влияние осадков в холодный период существенно меньше. Изменение осадков над бассейном Каспийского моря связано с соответствующими изменениями циклонической активности. Исследование влияния изменений температуры поверхности океана на влагооборот в бассейне Каспийского моря выявило наличие существенной статистической связи изменений уровня моря, стока Волги и осадков на водосборе реки с аномалиями температуры в тропической части Тихого океана, тесно связанными с явлениями Эль-Ниньо — южное колебание. Возможные физические причины влияния температурных аномалий в тропической части Тихого океана на влагооборот в бассейне Каспийского моря, по-видимому, связаны с изменениями циклонической активности в бассейне моря, обусловленными изменениями перепада температуры полюс — экватор (Арпе и др., 1999; Arpe et al., 2000).

На рис. 3.9.4 и 3.9.5 видно, что в рамках сценария IS92a и при неизменных условиях испарения с поверхности водоема следует ожидать повышения уровня Каспийского моря во второй половине XXI века. Представление о том, что при перспективных оценках изменения уровня Каспийского моря можно ограничиться одним предиктором — стоком Волги, — подкреплялось сопоставлением этих величин для XX века. На рис. 3.9.6 приведены данные о годовом стоке и приращении уровня моря, причем шкалы подобраны так, что кривые максимально близки. При таком отображении заметно сильное сходство этих кривых.

Исследуя влияние суммы осадков, Арпе и Рекнер (Arpe and Roekner, 1999) провели численные эксперименты с климатической моделью ЕСНАМ4/ОРУС3. Результаты расчета показали, что увеличенный сток Волги, возникающий вследствие увеличения осадков зимой над бассейном, приведет к подъему уровня Каспийского моря в XXI веке. Изменение режима осадков в модели возникало вследствие увеличения концентрации парниковых газов в атмосфере, т. е. из-за изменений в глобальной климатической системе.

3. ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XXI В.

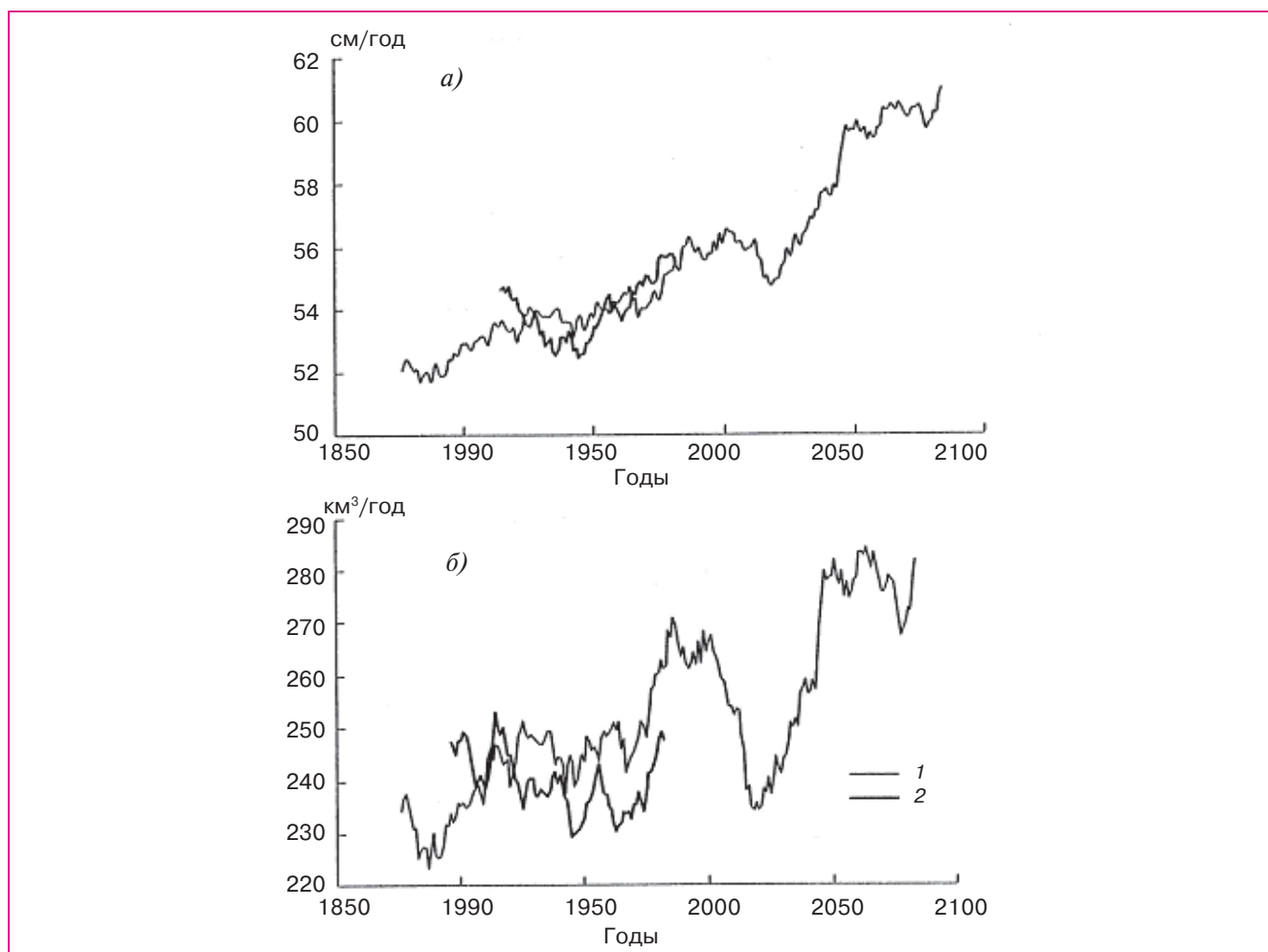


Рис. 3.9.4. Результаты моделирования с МОЦАО ЕСНАМ4/ОРУСЗ (1) и годовые суммы осадков (30-летнее скользящее сглаживание) над водосбором Волги (а) и ее сток (б) по данным наблюдений (2) (Арпе и др., 1999).

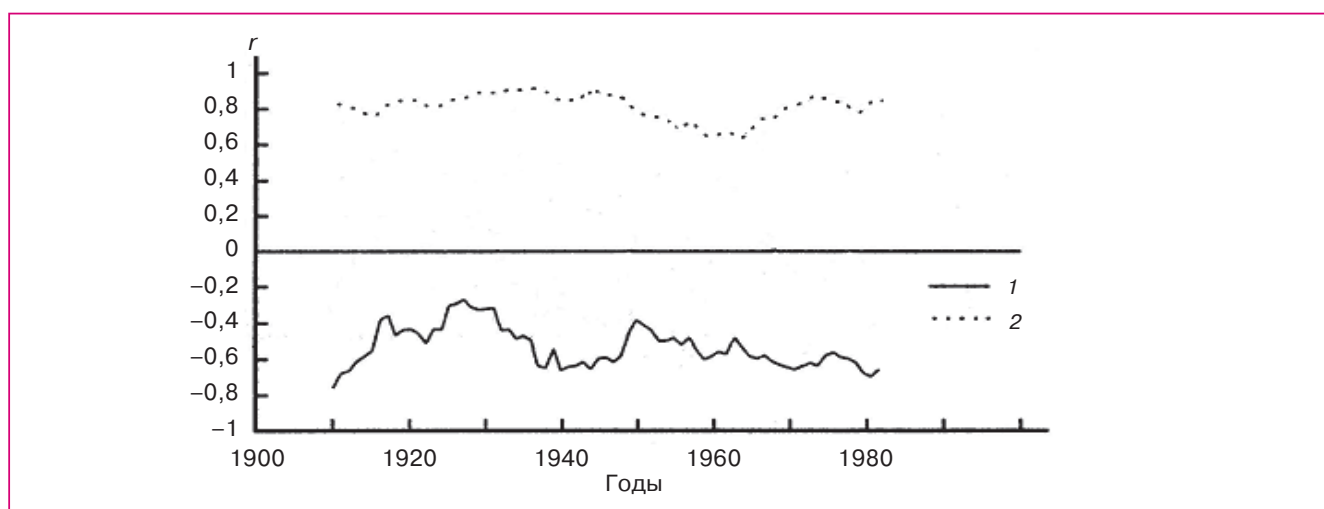


Рис. 3.9.5. Скользящие коэффициенты корреляции r между приращением уровня моря и видимым испарением (1) и приращением уровня моря и стоком Волги (2) (Арпе и др., 2002). Для каждого года на рисунке представлен коэффициент корреляции, который вычислялся для 21-летнего периода времени, центром которого был данный год.

3. ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XXI В.

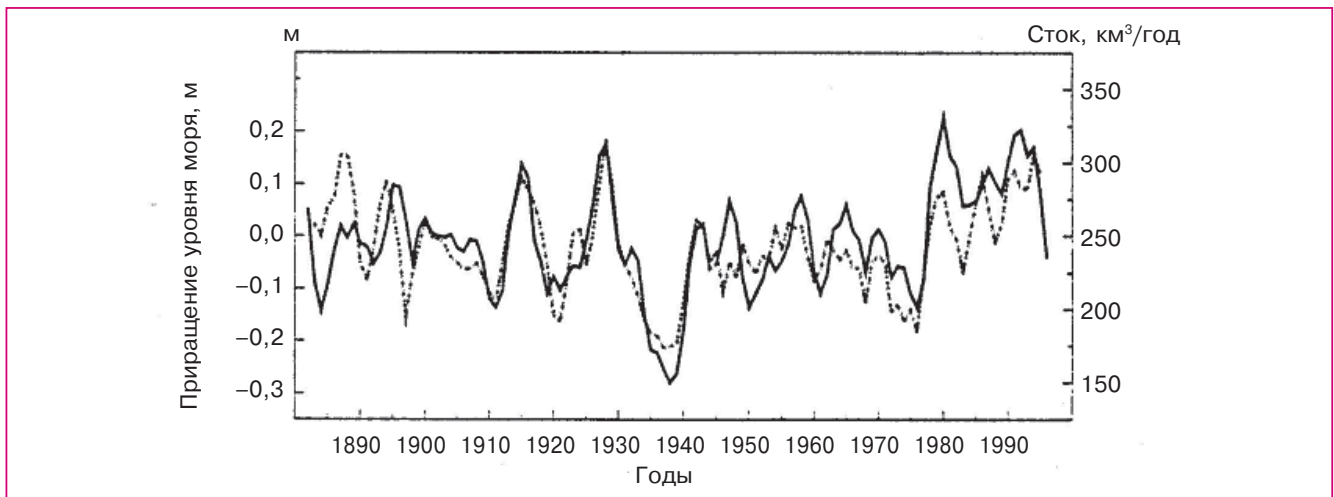


Рис. 3.9.6. Приращение уровня Каспийского моря за год (сплошная линия) и годовой сток Волги (пунктир) (Arpe et al., 2000).

Однако в недавней работе (Elguindi and Giorgi, 2006) была приведена иная информация. Авторы получили оценки возможного изменения уровня Каспийского моря в XXI веке по сценариям A2 и A1B для 8 современных МОЦАО. При этом по отдельности исследовано влияние осадков и испарения над поверхностью моря и его бассейном. Для 14 из 16 рассмотренных случаев (8 моделей × 2 сценария) уровень Каспия в XXI веке в долгосрочном плане понижается. К концу века в среднем по ансамблю это понижение может составить 9 м. Различие с результатами работы (Arpe and Roeckner, 1999) авторы объясняют более детальным моделированием эвапотранспирации.

В ГГИ Росгидромета разработан вероятностный прогноз уровня Каспийского моря на первую половину XXI века. Моделирование уровня Каспия производилось на период 2001–2050 гг. для 12 вариантов климатических условий на водосборе (современный и рассчитанный с помощью климатических моделей HadCM3, ECHAM4, CGCM1) и разными предположениями о водопотреблении в бассейне (пессимистическими, умеренными и оптимистическими). Во всех случаях смоделированные уровни моря 50%-ной обеспеченности до середины столетия имеют отметки ниже современных. Только при сценарии CGCM1 в конце расчетного периода верхняя граница доверительного интервала превысит абсолютную отметку –26 м БС. В остальных случаях вероятность превышения этой отметки оказалась меньше 5%. При увеличении водопотребления в бассейне уровень моря будет находиться на более низких отметках (Отчет о НИР..., 2004).

Таким образом, имеющиеся долгосрочные оценки возможного изменения уровня Каспий-

ского моря противоречивы. Проблема ввиду своей практической значимости для региона требует дальнейшей интенсивной разработки.

Заметим, что при всех расхождениях имеющихся оценок абсолютные величины ожидаемых изменений — несколько метров, что существенно превосходит ожидаемые в XXI веке изменения уровня Мирового океана. По результатам последних расчетов, опубликованных МГЭИК (Climate Change 2007, 2007), ожидаемое повышение уровня Мирового океана к концу XXI века составляет 0,18–0,59 м.

3.9.4. Последствия возможного подъема уровня Каспия

В отчете Шредера (Schneider, 2001) даются оценки потенциальной угрозы затопления территории разных стран вследствие повышения уровня Каспия. Наиболее подтвержденными такому воздействию являются Казахстан и Российская Федерация. В целом Каспий может затопить от 12 500 км² при повышении на 1 м до 46 000 км² при повышении на 5 м. Для России эти оценки составляют соответственно 4170 и 18 620 км².

С подъемом уровня Каспия до отметки –26,0 м БС могут быть разрушены или оказаться под водой многие прибрежные населенные пункты, социальные и производственные объекты в России и в других прикаспийских странах. Для защиты этих объектов потребуются провести комплекс специальных инженерных работ. Положение береговой линии в районе дельты Волги при разных уровнях моря показано на рис. 3.9.7 (Устьевая область Волги..., 1998).

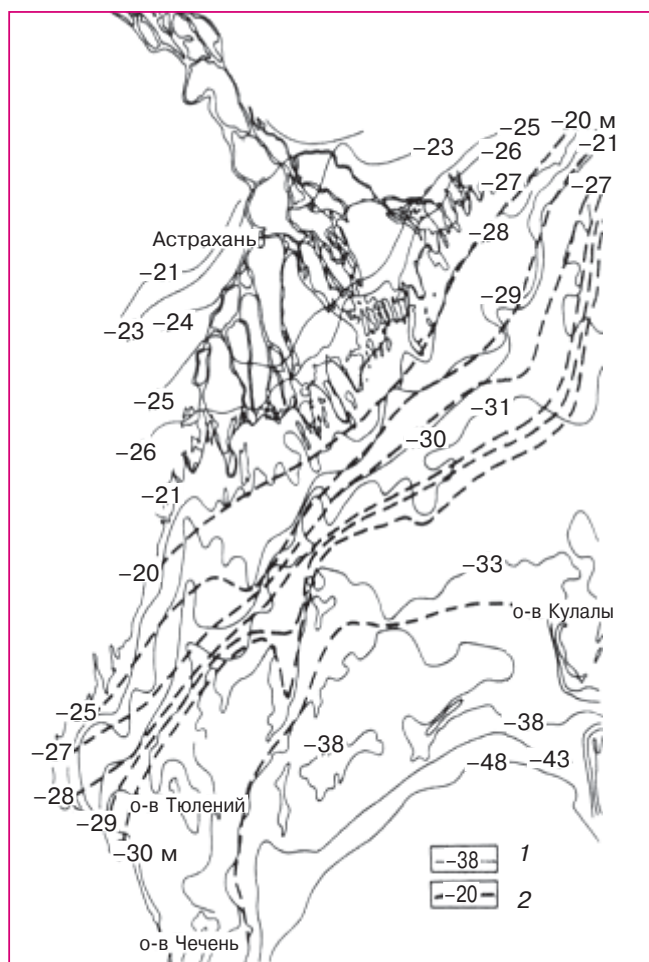


Рис. 3.9.7. Изогипсы (1) и границы зон транзита (2) волжских вод при разных среднегодовых уровнях Каспия.

Степень влияния подъема уровня моря на береговую зону увеличивается с севера на юг по мере удаления от авандельты Волги. Малые уклоны прибрежной равнины Калмыкии способствуют глубокому проникновению морских вод, особенно во время ветровых нагонов. Если уровень Каспия достигнет отметки $-26,0$ м БС, практически на всем побережье резко интенсифицируются абразионные процессы и начнется размыв голоценовых и более древних аккумулятивных образований. Трансгрессивные изменения в южной части Калмыкии захватят в этом случае зону шириной до 30 км (Лукьянова и др., 1996).

На современном этапе изученности проблемы, учитывая очень большую неопределенность в оценках климатических сценариев середины текущего столетия и соответственно основных составляющих водного баланса Каспия, пока нет оснований при планировании мероприятий по защите побережий от затопления ориентироваться на отметки уровня выше $-25,5...-26,0$ м БС.

3.9.5. Литература

- Абузяров З. К., 2003.** Технология прогноза тенденций изменения уровня Каспийского моря на перспективу 6 и 18 лет, в кн.: Гидрометеорологические аспекты проблемы Каспийского моря и его бассейна, СПб, Гидрометеоиздат, с. 351–363.
- Арпе К., Бенгтссон Л., Голицын Г. С., Мохов И. И., Семенов В. А., Спорышев П. В., 1999.** Анализ и моделирование изменений гидрологического режима в бассейне Каспийского моря, Доклады РАН, т. 366, № 2, с. 248–252.
- Арпе К., Спорышев П. В., Семенов В. А., Бенгтссон Л., Голицын Г. С., Елисеев А. В., Мелешко В. П., Мещерская А. В., Мохов И. И., 2002.** Исследование причин колебаний уровня Каспийского моря с помощью моделей общей циркуляции атмосферы, в кн.: Изменения климата и их последствия, СПб, Наука, с. 165–179.
- Казанский А. Б., 1994.** Возможный подход к прогнозу возрастания уровня Каспийского моря, Доклады РАН, т. 338, № 4, с. 531–537.
- Клиге Р. К., 1994.** Прогнозные оценки изменения уровня Каспия, Мелиорация и водное хозяйство, № 1, с. 10–11.
- Косарев А. Н., Макарова Р. Е., 1988.** Об изменениях уровня Каспийского моря и возможности их прогнозирования, Вестник МГУ, сер. 5, География, № 1, с. 21–26.
- Лукьянова С. А., Никифоров Л. Г., Рычагов Г. И., 1996.** Голоценовые морские аккумулятивные формы северо-западного побережья Каспийского моря, Вестник МГУ, сер. географ., № 2.
- Мелешко В. П., Голицын Г. С., Володин Е. М. и др., 1998.** Расчет составляющих водного баланса на водосборе Каспийского моря с помощью ансамбля моделей общей циркуляции атмосферы, Известия РАН. Физика атмосферы и океана, т. 34, № 4, с. 591–599.
- Мещерская А. В., Голод М. П., 2003.** О статистических долгосрочных прогнозах уровня Каспийского моря с использованием крупномасштабных климатических параметров, в кн.: Гидрометеорологические аспекты проблемы Каспийского моря и его бассейна, СПб, Гидрометеоиздат, с. 278–294.
- Отчет о НИР Росгидромета “Разработка новых и развитие существующих методов и технологий оперативного диагноза и прогноза гидрометеорологических параметров морской среды в интересах обеспечения морских отраслей экономики и обороны страны”, 2004.** СПб, ГГИ, 124 с.
- Смирнова К. И., Шереметевская О. И., 1967.** Расчеты водного баланса Каспийского моря для прогноза годового хода уровня моря, Труды Гидрометцентра СССР, вып. 3.

- Устьева область Волги: гидролого-морфологические процессы, режим загрязняющих веществ и влияние колебаний уровня Каспийского моря, 1998.** М., ГЕОС, 279 с.
- Фролов А. В., 2003.** Моделирование многолетних колебаний уровня Каспийского моря: теория и приложения, М., ГЕОС, 171 с.
- Хублярян М. Г., 2000.** Колебание уровня Каспийского моря и его эколого-экономические последствия, в кн.: Экологические проблемы Каспия, РАН и Национальная Академия США. Сборник докладов Международного научного семинара по экологическим проблемам Прикаспийского региона, 1–3 декабря 1999 г., Москва, под ред. М. Г. Хубляряна, М., Киров, с. 5–13.
- Чуйков Ю. С., 1998.** Проблемы экологической безопасности Астраханской области в связи с подъемом Каспийского моря, в кн.: Научные, экологические и политические проблемы стран Каспийского региона, под ред. М. Глянца и И. Зонна, М., Найроби: Kluwer Acad. Publish., pp. 145–156.
- Arpe K. and Roekner E., 1999.** Simulation of the hydrological cycle over Europe: Model validation and impacts of increasing greenhouse gases, *Adv. Water Res.*, vol. 23, pp. 105–119.
- Arpe K., Bengtsson L., Golitsyn G. S., Mokhov I. I., Semenov V. A., and Sporyshev P. V., 2000.** Connection between Caspian Sea level variability and ENSO, *Geophys. Res. Lett.*, vol. 27, No. 17, pp. 2693–2696.
- Climate Change, 1992.** The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment. Intergovernmental Panel on Climate Change, Houghton J. T., Callander B. A., and Varney S. K. (eds.), Cambridge University Press, 198 p.
- Climate Change 2007, 2007.** The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Solomon S. D., Qin M., Manning Z., Chen M., Marquis K. B., Averyt M., Tignor M., and Miller H. L., eds., Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, Cambridge University Press, 996 p.
- Elguindi N. and Giorgi F., 2006.** Projected changes in the Caspian Sea level for the 21st century based on the latest AOGCM simulations, *Geophys. Res. Lett.*, vol. 33, L08706, doi:10.1029/2006GL025943.
- Golitsyn G. S., Meleshko V. P., Mescherskaya A. V., Mokhov I. I., Pavlova T. V., Galin V. A., and Senatorsky A. O., 1996.** GSM simulation of water balance over Caspian Sea and its watershed, *Proceedings of the First Int. AMIP Scientific Conference, WMO/TD-No. 732*, pp. 113–118.
- Schrader F., 2001.** Caspian Sea Potential Inundation and Impacts on Human and Natural Environment, *Caspian Environment Programme, Baku, AZ*, 39 p.

3.10. ПОСЛЕДСТВИЯ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ

Ведущие авторы: Л. И. Болтнева, В. А. Семенов, Б. Г. Шерстюков

Авторы: В. А. Бузин, З. Д. Копалиани, П. М. Лурье, С. П. Малевский-Малевич, В. Д. Панов

Редактор-рецензент: Д. Б. Киктев

3.10.1. Вводные замечания

Ожидаемое в XXI веке глобальное потепление, возможно, будет сопровождаться усилением экстремальных гидрометеорологических явлений. В Третьем (*Climate Change 2001, 2001*, pp. 69–76) и Четвертом (*Climate Change 2007, 2007a, 2007b*) оценочных докладах МГЭИК засухи и наводнения отнесены к основным проблемам почти для всех регионов мира. Для России с ее огромным разнообразием экологических и климатических условий возможно проявление более частых и интенсивных засух и наводнений, увеличение пожароопасности лесов в отдельных регионах. Однако при разработке адаптаций к возможным изменениям климата в будущем важны не только эти широко-масштабные последствия экстремальных метеорологических явлений, проявляющиеся в масштабе регионов. Существенны также и локальные по-

следствия, сопряженные с большой опасностью для жизни человека, его жилища и технических сооружений. Таковыми являются сели и лавины, особенно проявляющиеся в Кавказском регионе. Эти проблемы для XXI века также будут рассмотрены в данном разделе. Велика также опасность комплекса таких опасных гидрометеорологических явлений, как ураганы, сильные ветры, шквалы, смерчи, однако их возникновение является наименее предсказуемым.

3.10.2. Общая характеристика ожидаемых изменений климата и его экстремальности

В этом разделе кратко излагаются результаты моделирования изменений основных характеристик климата России в XXI веке по регионам, приведенные в работах (Школьник и др., 2006; Мелешко и др., 2004), а также в ряде других исследований (о методах — см. раздел 3.1.10).

Возможные изменения климата в XXI веке на Европейской территории России рассчитаны с помощью модели регионального климата, созданной в ГГО Росгидромета. Ее пространственное

3. ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XXI В.

разрешение — 50 км; был использован сценарий В2 (Мелешко и др., 2004; Кундцевич, 2004; Школьник и др., 2006). Оценки изменений получены по отношению к последнему десятилетию XX века. В табл. 3.10.1 приведены изменения среднесезонных и среднегодовых значений температуры воздуха в приповерхностном слое атмосферы, суммы осадков и речного стока для конца XXI века. Расчеты выполнены для четырех наиболее крупных водосборов: Балтийского моря (БАЛ), северных рек — Северной Двины, Мезени и Печоры (СЕВ), южных рек — Днестра, Днепра, Дона (ЮЖН) и водосборов рек Волги и Урала (ВОЛ).

Среднегодовая температура повысится в 2091–2100 гг. по отношению к периоду 1991–2000 гг. на всей территории на 3,1–3,9°C, количество осадков и речной сток заметно увеличиваются на водосборах БАЛ, СЕВ и ВОЛ, а на юге России (ЮЖН) речной сток меняется незначительно. На первых трех водосборах увеличение суммы осадков и стока происходит в течение всего года, а на водосборе ЮЖН летом отмечается большое увеличение температуры, заметное уменьшение осадков и стока по сравнению с климатом конца XX века.

Глобальные оценки увеличения годовой суммы осадков для середины и конца XXI века по сравнению с его началом составляют 1,8 и 2,9% соответственно (Мелешко и др., 2004). Как следует из данных табл. 3.10.1, ожидаемое увеличение годовой суммы осадков на территории ЕТР значительно превышает эти глобальные изменения. При этом на многих российских водосборах осадки увеличиваются не только зимой, но и летом.

При изменении климата меняется не только среднее значение параметра, но и его дисперсия, характеризующая разброс текущих значений вокруг среднего. Это учитывается при построении перспективных оценок. Анализ возможного изменения экстремальности климата в работе (Школьник и др., 2006) выполнен по значениям процентилей вероятностных функций распределения значений температуры и суммы осадков для последних десятилетий XX и XXI веков. Анализ проводился с помощью региональной модели климата ГГО в рамках сценария В2.

В зимний период существенно уменьшится повторяемость экстремально низкой температуры в северной и центральной частях ЕТР при небольшом уменьшении диапазона изменчивости среднесуточной температуры зимой.

В летний сезон на юге ЕТР и на юге Сибири ожидается увеличение диапазона изменчивости среднесуточной температуры, главным образом, в результате увеличения повторяемости ее экстремально больших значений.

К концу XXI века диапазон изменчивости суточной суммы осадков в зимний сезон увеличится на всей ЕТР; наиболее заметное увеличение произойдет на Кавказе. Летом на севере ЕТР и в горных районах на юге ожидается заметное увеличение диапазона изменчивости суточной суммы осадков. Уменьшение диапазона изменчивости этой метеорологической величины произойдет в средней и южной частях ЕТР и в Южной Сибири; одновременно уменьшится годовая сумма осадков.

Таблица 3.10.1. Изменения температуры воздуха в приповерхностном слое атмосферы ΔT (°C), суммы осадков ΔR (%) и стока ΔQ (%) по сезонам и за календарный год на крупных водосборах ЕТР в 2091–2100 гг. по отношению к периоду 1991–2000 гг. (Мелешко и др., 2004; Кундцевич, 2004; Школьник и др., 2006)

Водосбор	Характеристика изменения климата	Зима	Весна	Лето	Осень	Год
СЕВ	ΔT	6,1	3,4	1,9	4,1	3,9
	ΔR	30	29	12	18	22
	ΔQ	88	13	6	41	20
БАЛ	ΔT	4,4	3,1	2,2	3,1	3,2
	ΔR	24	23	8	28	20
	ΔQ	96	19	12	57	38
ВОЛ	ΔT	5,1	2,6	2,5	3,7	3,5
	ΔR	26	23	1	14	14
	ΔQ	117	10	3	29	26
ЮЖН	ΔT	3,8	2,2	2,8	3,4	3,1
	ΔR	23	20	-13	4	8
	ΔQ	11	3	-16	-1	4

3. ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XXI В.

Для зимы и лета сравнительные оценки повторяемости значений суточной суммы осадков на водосборах СЕВ и ЮЖН в конце XXI века и в последнее десятилетие XX века указывают на существенные различия в тенденциях. Водосбор СЕВ оказывается к концу XXI века более увлажненным во все сезоны, в то время как на водосборе ЮЖН летом складываются в основном более засушливые условия.

Основной вклад в увеличение осадков зимой на водосборах СЕВ и ЮЖН вносит увеличение повторяемости более интенсивных осадков. Повторяемость осадков с суточными суммами более 5 мм на водосборе СЕВ увеличивается примерно в два раза, а на водосборе ЮЖН — на треть. Структура изменений осадков летом существенно неодинакова на разных водосборах. На водосборе СЕВ происходит увеличение повторяемости осадков очень малой и большой интенсивности при одновременном уменьшении повторяемости умеренных осадков, что свидетельствует об увеличении диапазона изменчивости осадков в целом. Уменьшение диапазона изменчивости суточной суммы осадков на юге России происходит в результате сдвига распределения в сторону малых значений ($< 0,5$ мм в сутки). Следует отметить, что особенности изменения вероятностных функций распределения суточной суммы осадков для отдельных пунктов могут существенно отличаться от осредненных по водосбору ЮЖН изменений. В отдельных пунктах, несмотря на уменьшение осадков в среднем, к концу XXI века может существенно увеличиться повторяемость интенсивных осадков.

Изменения характеристик осадков на западе центральной части ЕТР ($50\text{--}60^\circ$ с. ш., $30\text{--}45^\circ$ в. д.) были рассчитаны с помощью модели ЕСНАМ4/ОРУС3 для сценария IS92a (Мелешко и др., 2004). Выявлено общее увеличение осадков на протяжении XX–XXI веков на фоне заметных внутривековых вариаций. По сравнению с базовым периодом 1981–2000 гг. интенсивность осадков в конце XXI века может увеличиться на 0,25 мм в сутки, или примерно на 10%; число суток с сильными осадками увеличится с 26–27 до 30–31. При этом относительный вклад наиболее сильных осадков увеличится с 40 до 45%.

3.10.3. Засухи

К возможным особо неблагоприятным последствиям изменения климата в России в XXI веке относится увеличение повторяемости почвенных засух, сопровождающихся существенным снижением урожайности сельскохозяйственных культур.

Засухи обусловлены макромасштабными атмосферными процессами (приводящими к установлению длительной антициклонической погоды), про-

должительным периодом без осадков в сочетании с высокой температурой воздуха, малой влажностью почв и малой устойчивостью растений к недостатку воды. Частота и интенсивность засух зависит также от типа землепользования и некоторых других факторов неклиматической природы. В вековом ходе метеорологических условий, вызывающих засухи, их повторяемость и интенсивность увеличиваются при потеплении климата (Дроздов, 1980).

В России наиболее подвержены засухе области Центрально-Черноземной зоны и Поволжья, предгорья Северного Кавказа, южной части Урала (см. раздел 2.10.2). Перспективные оценки повторяемости засух в конце XXI века в России основаны на результатах моделирования региональных изменений климата (Школьник и др., 2006). При этом использовались региональная модель климата ГГО и сценарий В2.

При потеплении климата вместе с увеличением осадков в теплое время года усиливается испарение с поверхности суши, что приводит к заметному уменьшению влагосодержания деятельного слоя почвы. Расчеты показывают, что в регионах, свободных от снежного покрова, тенденция к уменьшению влагосодержания почвы обнаруживается уже весной. Это становится более заметным летом на всей территории России — запас почвенной влаги уменьшается (в некоторых регионах незначительно), что способствует формированию более засушливых условий, особенно в южных регионах. Это обусловлено тем, что при потеплении климата в теплое время года происходит более раннее таяние снега, усиливается испарение с поверхности суши и происходит заметное уменьшение влагосодержания деятельного слоя почвы. Для разных водосборов увеличение дефицита влаги в почве летом варьирует от 1 до 11% по сравнению с базовым климатом 1981–2000 гг. (Мелешко и др., 2004).

Увеличение засушливости климата в регионах, где возможно повышение температуры воздуха и уменьшение количества осадков, приведет к уменьшению влажности почв и более интенсивным проявлениям почвенной засухи. Сравнение возможных изменений характеристик климата на территории крупных водосборов ЕТР в конце XXI века, приведенных в табл. 3.10.1, обнаруживает их существенное различие. Для водосборов рек Дона, Днепра, Днестра (ЮЖН), Волги и Урала (ВОЛ) в летний период ожидается относительно более существенное повышение температуры воздуха — $2,8$ и $2,5^\circ\text{C}$ соответственно, чем для водосборов СЕВ и БАЛ — соответственно $1,9$ и $2,2^\circ\text{C}$. Количество осадков в летний период на водосборе ЮЖН уменьшится на 13%, на водосборе ВОЛ увеличится всего на 1%. Увеличение осадков для водосборов СЕВ и БАЛ составит 12 и 8% соответственно.

Качественные оценки возможного увеличения вероятности засух были получены на основе со-

поставления ожидаемых в будущем значений температуры воздуха и суммы осадков для юга России (табл. 3.10.1) с показателями метеорологических условий засухи, приведенными в разделе 3.1.10. Такое сопоставление указывает на возможное увеличение вероятности засух в конце XXI века. Положение усугубляется тем, что для этих засухоопасных регионов, согласно модельным расчетам, ожидается увеличение диапазона изменчивости среднесуточной температуры в результате увеличения повторяемости ее экстремально больших значений при одновременном уменьшении диапазона изменчивости суточных сумм осадков в результате роста осадков с интенсивностью менее 0,5 мм в сутки.

Перспективная оценка возможного увеличения вероятности засух приведена в (Мохов и др., 2005). В расчетах были применены глобальная МОЦАО с углеродным циклом и сценарий А2. Вероятность распространения весенне-летних засух, согласно результатам расчетов, в XXI веке по сравнению с XX в средних широтах Евразии, включая территории России, увеличится. О возможном увеличении повторяемости засух свидетельствуют также перспективные оценки изменений на ЕТР к 2030 г. значений гидротермического коэффициента (Сиротенко, Грингоф, 2006).

Большой интерес представляют исследования в будущем влияния удлинения вегетационного периода на возможность роста частоты экстремальных значений температуры (Данилов-Данильян, 2006). Последствием увеличения числа больших значений температуры может стать увеличение повторяемости засух.

3.10.4. Лесные пожары

Вопросам влияния изменения климата в будущем на лесные пожары посвящен целый ряд исследований (Flannigan and van Wagner, 1991; Wotton and Flannigan, 1993; Fosberg et al., 1998; Kasischke et al., 1995; Houghton, 1991; Torn and Fried, 1992). Они показали, в частности, заметное увеличение частоты лесных пожаров в США (Price and Rind, 1994) при удвоении концентрации CO_2 1990-х годов — число пожаров, вызванных молниями, увеличивается на 44%, а их общая площадь на 38%. Для Канады при этом же предположении об увеличении концентрации CO_2 длительность лесных пожаров увеличивается на 20% (Wotton and Flannigan, 1993). Обе оценки были получены модельными средствами.

Ожидаемое изменение климата в XXI веке может привести к увеличению пожароопасности лесов в некоторых регионах России. Соответствующая количественная оценка была сделана на основе индекса Нестерова в работе (Шерстюков, Шерстюков, 2007). При этом в качестве климата XXI века была принята среднемоделная оценка, получен-

ная с помощью трех МОЦАО — CGCM2, HadCM3 и ECHAM4 — в условиях сценария антропогенного влияния на глобальный климат А2 (см. раздел 2.1.10). На рис. 3.10.1 и 3.10.2 в картографической форме приведены оценки увеличения (%) числа суток в году с “высокими и больше” ($G > 1000$) значениями индекса горимости Нестерова соответственно в 2025 и в 2050 гг. по сравнению с нормой 1961–1990 гг. Методы оценки (Шерстюков, 2003) кратко изложены в разделах 2.1.10 и 3.1.10. Следует учитывать, что индекс Нестерова дает оценку потенциальной горимости (пожароопасности) леса без учета наличия или отсутствия леса на каждом участке анализируемой территории. Там, где лес отсутствует (в тундровой или в степной зоне), потенциальная горимость не может реализоваться.

Полученные результаты можно суммировать следующим образом.

На преобладающей части лесопокрытой территории в первой половине XXI века ожидается увеличение числа суток в году с потенциальной горимостью леса “высокой и больше” на 20–60% на юге ЕТР и Западной Сибири, в средних широтах Восточной Сибири и Дальнего Востока. За исключением южных степных районов на всей упомянутой территории произрастают леса.

Уменьшение числа суток с высокой пожароопасностью ожидается в Приамурье, в районе Магадана и на востоке Камчатки.

Различия между оценками для 2025 г. и 2050 г. заключаются, в частности, в том, что территория, на которой ожидается увеличение на 30–60% числа суток за год с опасной и более горимостью леса, во втором случае больше. К ним относятся территории к северу от 60° с. ш. до Северного полярного круга на ЕТР и в Сибири, покрытые хвойными лесами и лиственничниками.

Таким образом, в первой половине XXI века ожидается постепенное усиление потенциальной пожароопасности леса в ряде обширных регионов России, имеющих существенные лесопокрытые территории (Шерстюков, Шерстюков, 2007).

Возможное изменение вероятности возникновения лесных пожаров в XXI веке на территории России изучалось также на основе установленной корреляционной зависимости между числом суток в календарном году с пожароопасной обстановкой и значением индекса засушливости ГТК, вычисленным по месячным данным метеорологических наблюдений (Малевский-Малевич и др., 2005). Ожидаемые в середине и в конце XXI века среднемесячные значения температуры воздуха и суммы осадков для ЕТР, Центральной и Южной Сибири, включая Приморский край, были приняты в соответствии с результатами моделирования климата с помощью ансамбля 7 МОЦАО и сценария В2.

Судя по полученным оценкам, наибольшее увеличение по сравнению с современными значения-

3. ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XXI В.

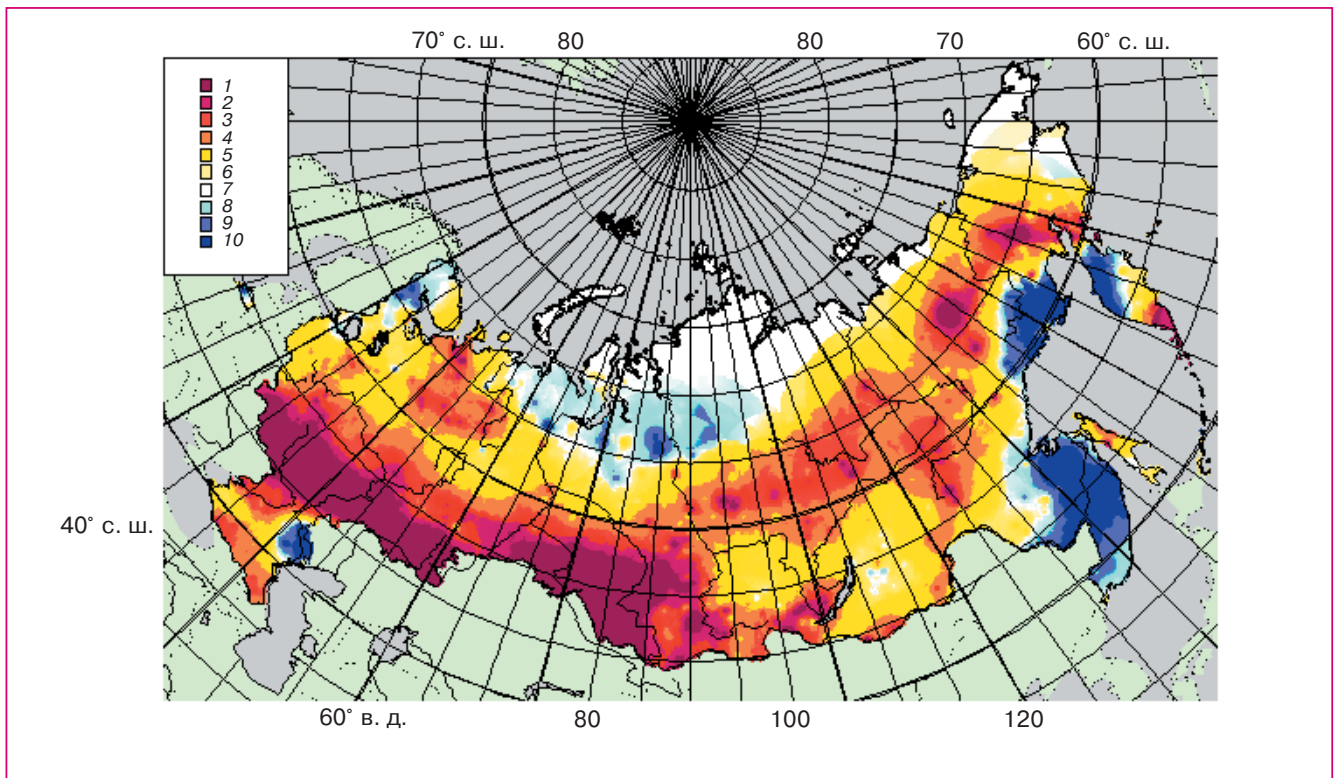


Рис. 3.10.1. Изменение (%) числа суток в году со значениями индекса горимости “высокими и больше” ($G > 1000$) к 2025 г. относительно нормы 1961–1990 гг. 1) 60–50; 2) 50–40; 3) 40–30; 4) 30–20; 5) 20–12; 6) 12–1; 7) 0; 8) –1...–10; 9) –10...–20; 10) –20...–30.

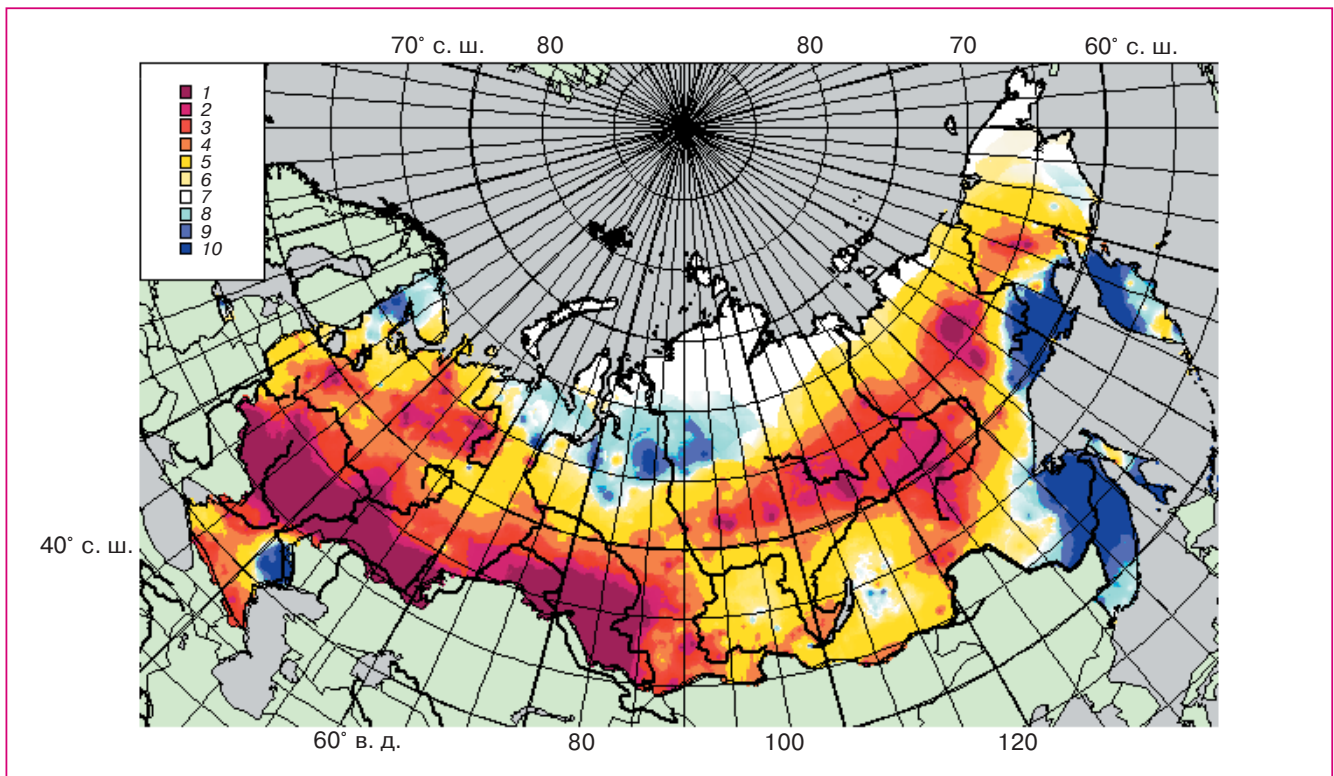


Рис. 3.10.2. Изменение (%) числа суток в году со значениями индекса горимости “высокими и больше” ($G > 1000$) к 2050 г. относительно нормы 1961–1990 гг. Пояснения, как на рис. 3.10.1.

3. ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XXI В.

показали расчеты по модели ГГО с использованием сценария В2, годовой сток Печоры и Северной Двины увеличится на 15–20% к середине XXI века и до 30% к концу века (Мелешко и др., 2004), а по данным (Школьник и др., 2006) годовой сток на северных реках увеличится на 20%, весенний — на 19%. Судя по результатам работы (Мелешко и др., 2004), максимум весеннего стока заметно увеличивается в XXI веке в результате более быстрого (интенсивного) таяния снежного покрова, а возможность образования заторов и зажоров на северных реках (расположенных севернее 60° с. ш.) увеличит риск катастрофических наводнений.

В центральной части ЕТР по результатам модельных расчетов для XXI века с помощью моделей ЕСНАМ4/ОРУС3 и HadCM3 в условиях сценария IS92a (Мохов и др., 2002) выявлено значимое усиление интенсивности осадков и количества суток с сильными осадками (превышающими верхний 90%-ный квантиль). Таким образом, возможно заметное увеличение наводнений, обусловленных дождевыми паводками.

Оценки изменения годовой суммы осадков в 2070–2099 гг. по сравнению с базовым периодом 1961–1990 гг., полученные с использованием МОЦАО HadCM3 и HadRM3 в условиях сценария A2a, также показали, что в будущем на большей части территории Европы случаи интенсивных осадков станут более частыми и выраженными (Кундцевич, 2004). В работе (Кундцевич, 2006) подчеркивается, что максимальные суточные суммы осадков могут увеличиваться и в тех местах, где ожидается уменьшение их средних значений. Следовательно, на ЕТР вероятность формирования дождевых паводков и вызываемых ими наводнений в перспективе может увеличиться.

Особенно большую опасность представляют катастрофические наводнения, вызываемые дождевыми и смешанными паводками в горных и предгорных районах Северного Кавказа, где возможен существенный риск для населения, а также значительный экономический и экологический ущерб, обусловленные высокой плотностью населения, наличием объектов хозяйственного значения и памятников природы и культуры (Доброумов, Тумановская, 2002). Оценки по моделям CGCM, HadCM3 и ЕСНАМ4/ОРУС3 (Семенов, 2007) свидетельствуют о том, что до 30-х годов XXI столетия на Северном Кавказе наиболее вероятно увеличение количества осадков в зимний и осенний периоды и их уменьшение в летний. В соответствии с палеоклиматическим сценарием изменения климата, по оценкам работы (Лурье, Панов, 2003), к середине XXI века на Большом Кавказе возможно существенное увеличение речного стока, что может привести к увеличению повторяемости катастрофических и опасных наводнений, усилению селевой активности.

Важнейшим фактором формирования опасных и катастрофических последствий экстремальных метеорологических явлений в горных районах в условиях потепления климата может служить происходящая деградация горного оледенения (Оледенение Северной и Центральной Евразии..., 2006). Она сопровождается таянием морен, увеличением количества рыхлого обломочного материала, образованием моренно-подпрудных озер. Вследствие этого при наблюдающемся и прогнозируемом увеличении жидких осадков в горных районах Кавказа участится формирование дождевых и снегодождевых паводков, увеличится вероятность прохождения селей с выносом в предгорья большого количества наносов (Лурье и др., 2005). В результате этого наиболее острая ситуация с наводнениями может сложиться в предгорных районах.

Ожидаемое повышение температуры воздуха и увеличение суммы осадков в XXI веке может привести к таянию верхнего слоя многолетней мерзлоты и повышению вероятности прохождения высоких дождевых паводков и селевых потоков в горных районах Восточной Сибири и севера Дальнего Востока России. Но в южных районах островного распространения многолетней мерзлоты ее деградация будет способствовать повышению роли почвогрунтов бассейна как естественных регуляторов стока, а увеличение потерь воды в талые почвы приведет к уменьшению высоты паводков.

Приведенные выше оценки в целом указывают на то, что намечившаяся в некоторых регионах России в конце XX века тенденция к увеличению максимального стока рек и, следовательно, повторяемости наводнений сохранится до конца XXI столетия. Сохранится повышенная вероятность высоких нагонных наводнений в устьях больших рек. В частности, в Санкт-Петербурге существенно увеличивается вероятность наступления опасных и катастрофических наводнений с повышением уровня воды более чем на 3 м над ординаром, что вызовет серьезные негативные последствия для города (Померанец, 2005).

Полученные в моделях АСИА (сценарий В2) изменения климата Арктики в XXI веке показывают, что на большей части этой территории (60–90° с. ш.) потепление и увеличение количества осадков существенно превышают их глобальные среднегодовые значения; существенно возрастет сток в океан с водосборов суши. Однако эти модельные результаты не позволили получить уверенные выводы об изменениях климатических экстремумов температуры и осадков. Для оценки изменений вероятностных функций распределения этих характеристик необходимо дальнейшее развитие климатических моделей для Арктики (Катцов, 2006).

3.10.6. Селевая и лавинная опасность на Большом Кавказе

3.10.6.1. Сели

Ожидаемое увеличение температуры воздуха в приповерхностном слое атмосферы и суммы атмосферных осадков в XXI веке окажут весьма существенное влияние на природу Большого Кавказа. В первую половину XXI столетия речной сток увеличится на 37%, площадь оледенения сократится на 35%, высота климатической снеговой линии увеличится на 300 м, увеличится продолжительность периода с положительными значениями температуры, поднимутся нулевая изотерма и верхняя граница лесной и пастбищной растительности (Коломыц, Сурова, 1985; Панов, 1993; Хрусталева, Панова, 2002; Лурье, 2002). Увеличение суммы атмосферных осадков будет происходить в значительной степени вследствие увеличения числа дней с максимальными значениями суммы осадков и повторяемости ливневых осадков. Одновременно будет происходить ускорение таяния ледников и образование моренных отложений в их концевых частях.

В связи с потеплением климата особый интерес для Большого Кавказа представляет изменение селевой деятельности, поскольку она существенно затрагивает различные стороны жизни населения и хозяйства в этом горном регионе. Анализ имеющихся сведений о селях, а также об ожидаемом изменении температуры воздуха и атмосферных осадков позволяет сделать следующие выводы (Лурье, 2004) о селевой деятельности в XXI столетии.

В связи с повышением температуры воздуха на всей территории увеличится продолжительность селеопасного периода в среднем на 50 суток в западном и центральном районах и 47 суток в восточном. Одновременно расширится вертикальный диапазон деятельности селей — его верхняя граница сдвинется вверх в среднем на 500–600 м. При этом произойдет оттаивание многолетнемерзлых пород, увеличится площадь интенсивного морозного выветривания и соответственно увеличится объем горных пород, готовых принять участие в формировании селевых потоков.

Объемы селевых потоков увеличатся, что связано с увеличением количества селеформирующих атмосферных осадков (в том числе ливней), интенсивным таянием ледников, образованием в нивально-гляциальной зоне значительных “новых” подвижных моренных масс. Средний объем дождевых селей, вероятно, увеличится на 20–30% их среднего объема в XX столетии. Повсеместно в нивально-гляциальной зоне произойдет увеличение как числа, так и объема гляциальных и гляциально-дождевых селей, при этом территория их распространения увеличится. Так, систематически будет отмечаться прохождение селей этого происхождения в бассейнах рек Малая и Большая Лаба, Большой Зеленчук, Сулак и Самур. В пределах

центрального района Большого Кавказа будут преобладать гляциальные сели, а в западном и восточном районах — гляциально-дождевые.

Произойдет увеличение числа и объема селей дождевого происхождения. Причиной этого в западном районе будут повышение интенсивности атмосферных осадков и значительное бесконтрольное уничтожение лесной растительности, в центральном и восточном районах — атмосферные осадки, количество которых увеличится при отдельных ливнях (50–100 мм в сутки). Особо значительно может увеличиться селевая деятельность дождевого генезиса в бассейнах рек Сулака и Самура, где имеются огромные массы рыхлых отложений различного происхождения.

Увеличатся число и объем селей в современной потенциальной зоне селей, особенно в районе Пастбищного и Лесистого хребтов центрального района Большого Кавказа, что связано как с увеличением атмосферных осадков, так и с вырубкой лесов на Лесистом хребте.

3.10.6.2. Лавины

В соответствии с некоторыми сценариями изменения климата к середине XXI столетия в регионе температура воздуха в приповерхностном слое атмосферы увеличится на 3,3–3,8°C, а сумма осадков — на 9–17% (Жуков, Святкина, 2000).

Увеличение температуры воздуха и особенно атмосферных осадков окажет весьма существенное влияние на природу горных районов, в том числе и на деятельность снежных лавин. Ожидается как увеличение их активности (Околов, Мягков, 1988; Олейников, Володичева, 2001; Лурье, Панов, 2006; Панов, 2000; Вивчар, 2006), так и уменьшение (Глазовская, Трошкина, 1998). Имеющиеся перспективные оценки в отношении деятельности снежных лавин на середину XXI века можно суммировать следующим образом:

- сократится продолжительность лавиноопасного периода календарного года на высотах 1500–2000 м, и одновременно уменьшится на высотах до 2000 м площадь территории, охваченной лавинами;
- из-за повышенного накопления снега на высотах более 3000 м и повышения температуры воздуха произойдет увеличение повторяемости крупных катастрофических лавин и лавин из мокрого снега;
- произойдет увеличение числа снежных лавин, связанных с интенсивными снегопадами;
- подъем верхней границы леса не окажет существенного влияния на активность снежных лавин, поскольку лес не может быстро (примерно за 50 лет) занять новые “противолавинные” позиции.

Если в ближайшие десятилетия будет продолжаться увеличение температуры воздуха и количества атмосферных осадков в холодный период календарного года, то в рассматриваемом регионе следует ожидать активизации снежных лавин на

3. ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XXI В.

высотах более 2000 м в районах Главного и Бокового хребтов. В то же время лавинная деятельность существенно сократится на Скалистом хребте и практически не будет отмечаться на передовых хребтах (Пастбищном и Лесистом).

Значительная неопределенность в перспективных оценках последствий экстремальных метеорологических явлений связана с неопределенностями сценариев эмиссий парниковых газов и сульфатного аэрозоля и модельных оценок возможных климатических изменений. Несмотря на существенный прогресс в климатическом моделировании, возможности современных климатических моделей недостаточны для адекватного воспроизведения экстремальных климатических режимов и их последствий (наводнений, засух, лесных пожаров), особенно на региональном уровне.

3.10.7. Литература

- Авакян А. Б., Истомина М. Н., 2000.** Наводнения в мире в последние годы XX века, Водные ресурсы, т. 27, № 5, с. 517–523.
- Бужин В. А., 2004.** Затопы льда и затопные наводнения на реках, СПб, Гидрометеиздат, 204 с.
- Вивчар А. Н., 2006.** Лавинная деятельность на территории Западного Кавказа в условиях современного изменения климата и интенсивного рекреационного освоения, Тезисы докладов III Международной конференции “Лавины и смежные вопросы”, Кировск, с. 48–49.
- Глазовская Т. Г., Трошкина Е. С., 1998.** Влияние глобального изменения климата на лавинный режим на территории бывшего Советского Союза, Материалы гляциологических исследований, вып. 84, с. 88–91.
- Данилов-Данильян В. И., 2006.** Экологические, экономические и политические аспекты проблемы Киотского протокола, в сб.: Возможности предотвращения изменения климата и его негативных последствий: проблема Киотского протокола, М., Наука, 408 с.
- Доброумов Б. М., Тумановская С. М., 2002.** Наводнения на реках России: их формирование и районирование, Метеорология и гидрология, № 12, с. 70–78.
- Дроздов О. А., 1980.** Засухи и динамика увлажнения, Л., Гидрометеиздат, 94 с.
- Жуков В. А., Святкина О. А., 2000.** Стохастическое моделирование и прогноз агроклиматических ресурсов при адаптации сельского хозяйства к региональным изменениям климата на территории России, Метеорология и гидрология, № 1, с. 100–109.
- Катцов В. М., 2006.** Климат Арктики в XXI веке, опыт АСИА, в сб.: Возможности предотвращения изменения климата и его негативных последствий: проблема Киотского протокола, М., Наука, 408 с.
- Коломыц Э. Г., Сурова Н. А., 1985.** Геоэкологический прогноз: антропогенные изменения климата и ответная реакция экосистем Большого Кавказа, Труды ВГИ, вып. 60, с. 6–75.
- Кундцевич З. В., 2004.** Экстремальные гидрологические явления: сильные осадки, наводнения и засухи, в сб.: Труды Всемирной конференции по изменению климата, Москва, 29 сентября — 3 октября 2003 г., М., Новости, с. 240–247.
- Кундцевич З. В., 2006.** Изменения климата и наводнения, Бюллетень ВМО, т. 55(3), с. 170–173.
- Лурье П. М., 2002.** Водные ресурсы и водный баланс Кавказа, СПб, Гидрометеиздат, 506 с.
- Лурье П. М., 2004.** Изменение селевой деятельности на Северном Кавказе в связи с климатическими условиями, в сб.: Защита народнохозяйственных объектов от воздействия селевых потоков, вып. 2, Пятигорск, Севкавгипропроводхоз, с. 30–44.
- Лурье П. М., Панов В. Д., 2003.** Речной сток Кавказа в условиях современного изменения климата, Тезисы докладов Всемирной конференции по изменению климата, Москва, 29 сентября — 3 октября 2003 г., М., ИГКЭ, с. 256.
- Лурье П. М., Панов В. Д., 2006.** Изменение деятельности снежных лавин на северном склоне Большого Кавказа в связи с климатическими условиями, Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества, Приложение 1, с. 47–54.
- Лурье П. М., Панов В. Д., Ткаченко Ю. Ю., 2005.** Река Кубань: гидрография и режим стока, СПб, Гидрометеиздат, 498 с.
- Малевский-Малевиц С. П., Молькентин Е. К., Надеждина Е. Д., Шкляревич О. Б., 2005.** К оценке изменений пожароопасной обстановки в лесах России при ожидаемом потеплении климата в XXI веке, Метеорология и гидрология, № 3, с. 36–44.
- Манабе С., Везеролд Р., 2003.** Изменение водных запасов в масштабах столетия вследствие глобального потепления, Тезисы докладов Всемирной конференции по изменению климата, Москва, 29 сентября — 3 октября 2003 г., М., ИГКЭ, с. 14–15.
- Мелешко В. П., Голицин Г. С., Говоркова В. А. и др., 2004.** Возможные антропогенные изменения климата России в XXI веке: оценки по ансамблю климатических моделей, Метеорология и гидрология, № 4, с. 38–49.
- Мохов И. И., Семенов В. А., Хон В. У., 2002.** Региональные вариации гидрологического режима в XX веке и модельные оценки их изменений в XXI веке, в сб.: Глобальные изменения климата и их последствия для России, М., Региональная общественная организация ученых по проблемам прикладной геофизики, с. 310–333.
- Мохов И. И., Дюфрен Ж.-Л., Ле Трет Э. и др., 2005.** Изменения режимов засух и биопродуктивности наземных экосистем в регионах Се-

- верной Евразии по расчетам с глобальной климатической моделью с углеродным циклом, Доклады РАН, т. 405, № 6, с. 810–814.
- Околов В. Ф., Мягков С. М., 1988.** Долгосрочный прогноз изменений опасных климатических явлений на примере лавин, в сб.: Проблемы изучения опасных геологических процессов, М., Изд-во МГУ, с. 28–42.
- Оледенение Северной и Центральной Евразии в современную эпоху, 2006.** Под ред. В. М. Котлякова, М., Наука, 482 с.
- Олейников А. Д., Володичева Н. А., 2001.** Динамика лавинной деятельности на Кавказе в связи с изменениями климата в XX столетии, Материалы гляциологических исследований, вып. 91, с. 87–95.
- Панов В. Д., 1993.** Эволюция современного оледенения Кавказа, СПб, Гидрометеиздат, 431 с.
- Панов В. Д., 2000.** Климатические условия и экологическое состояние горной зоны Карачаево-Черкесской Республики, в сб.: Оценка экономического состояния горных и предгорных экосистем Кавказа, вып. 3, Ставрополь, Кавказский край, с. 53–62.
- Померанец К. С., 2005.** Три века петербургских наводнений, СПб, Искусство — СПб, 213 с.
- Ранькова Э. Я., 2005.** Климатическая изменчивость и изменения климата за период инструментальных наблюдений. Диссертация в виде научного доклада на соискание ученой степени доктора физико-математических наук, М., ИГКЭ, 67 с.
- Семенов В. А., 2007.** Ресурсы поверхностных вод гор России и сопредельных территорий, Горно-Алтайск, РИО ГАГУ, 147 с.
- Сиротенко О. Д., Грингоф И. Г., 2006.** Оценка влияния ожидаемых изменений климата на сельское хозяйство РФ, Метеорология и гидрология, № 8, с. 98–101.
- Таратунин А. А., 2000.** Наводнения на территории Российской Федерации, Екатеринбург, Изд-во РосНИИВХ, 406 с.
- Хрусталеv Ю. П., Панова С. В., 2002.** Снеговые линии Большого Кавказа, Ростов-на-Дону, Изд-во РГУ, 143 с.
- Шерстюков Б. Г., 2003.** Метеорологические факторы горимости леса, засушливости погоды во второй половине XX века и экстремальные условия 2002 года в Московском регионе. Анализ климатической изменчивости и оценки возможных изменений климата, Труды ВНИИГМИ-МЦД, вып. 171, с. 79–88.
- Шерстюков Б. Г., Шерстюков А. Б., 2007.** Климатические условия потенциальной горимости леса в России в XX и XXI веках, Труды ВНИИГМИ-МЦД, вып. 173.
- Шикломанов И. А., 2002.** Влияние антропогенных изменений климата на гидрологический режим и водные ресурсы, в сб.: Глобальные изменения климата и их последствия для России, М., Региональная общественная организация ученых по проблемам прикладной геофизики, с. 384–404.
- Школьник И. М., Мелешко В. П., Катцов В. М., 2006.** Возможные изменения климата на Европейской части России и сопредельных территориях к концу XXI века: расчет с региональной моделью ГГО, Метеорология и гидрология, № 3, с. 5–16.
- Climate Change 2001, 2001.** Synthesis Report. Contributions of Working Group I, II and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change, Watson R. T. and the Core Writing Team (eds.), Cambridge University Press, 397 p.
- Climate Change 2007, 2007a.** The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Solomon S. D., Qin M., Manning Z., Chen M., Marquis K. B., Averyt M., Tignor M., and Miller H. L, eds., Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, Cambridge University Press, 996 p.
- Climate Change 2007, 2007b.** Impacts, Adaptations and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Parry M. L., Canziani O. F., Palutikof J. P., van der Linden P. J., and Hanson C. E., eds., Cambridge, Cambridge University Press, 976 p.
- Flannigan M. D. and Van Wagner C. E., 1991.** Climate change and wildfire in Canada, Can. J. Forest Res., vol. 21, pp. 66–72.
- Fosberg M. A., Stocks B. J., and Lynham T. J., 1998.** Risk analysis in strategic planning: Fire and climate change in boreal forest, in: Fire in Ecosystems of Boreal Eurasia, Goldammer J. G. and Furyaev V. V. (eds.), Oxford, UK, Oxford University Press, pp. 495–504.
- Houghton R. A., 1991.** Biomass burning from the perspective of the global carbon cycle, in: Global Biomass Burning: Atmospheric, Climatic, and Biospheric Implications, Levin J. S. (ed.), Cambridge, The MIT Press, Cambridge University Press, 129 p.
- Kasischke E. S., Christensen N. L., Jr., and Stocks B. J., 1995.** Fire, global warming, and the carbon balance of boreal forests, Ecol. Appl., vol. 5, pp. 437–451.
- Price C. and Rind D., 1994.** The impact of a $2 \times \text{CO}_2$ climate on lightning-caused fires, J. Climate, vol. 7, pp. 1484–1494.
- Torn M. S. and Fried J. S., 1992.** Predicting the impact of global warming on wildland fire, Climatic Change, vol. 21, pp. 257–274.
- Wotton B. M. and Flannigan M. D., 1993.** Length of the fire season in a changing climate, Forestry Chronicle, vol. 69, pp. 87–192.

4. НЕОБХОДИМЫЕ ДАЛЬНЕЙШИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

При любом уровне внешнего воздействия на климатическую систему (естественного — через орбитальные параметры Земли и солнечную радиацию — или же антропогенного — вследствие эмиссий климатически активных веществ в атмосферу) на Земле формируется соответствующий климат. С точки зрения человека, это состояние может быть нежелательным, даже опасным, однако при такой оценке всегда привлекаются ценностные суждения о характере последствий изменения климата. Они всегда субъективны, зависят от представлений разных групп населения нашей планеты.

В области оценки последствий наблюдаемых и ожидаемых в будущем изменений климата для природных и хозяйственных систем, для здоровья населения необходимо *дальнейшее развитие и усиление исследований по ряду научных направлений.*

Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК) в ходе работы над Четвертым оценочным докладом (2002–2007 гг.) разработала концепцию критических уязвимых элементов (key vulnerabilities) климатической и социально-экономической систем. Это такие элементы — системы или же процессы, — существенное изменение которых признается нежелательным мировым сообществом. Такие элементы обладают высокой чувствительностью к изменению климата, низкой способностью к адаптации и общепризнанной важностью для процесса принятия решений в области регулирования антропогенного влияния на климатическую систему. Среди ключевых уязвимых элементов, *последствия* изменения которых могут иметь глобальное значение, ОД4 (2002–2007 гг.) указывает на биогеохимические циклы, североатлантическую термохалинную циркуляцию, Гренландский и Западно-Антарктический ледниковые щиты, процессы,

приводящие к экстремальным гидрометеорологическим явлениям, уникальные экосистемы.

Состояние этих и других ключевых уязвимых элементов определяет те критические границы (предельно допустимые значения), за которые не должны выходить параметры климата. Такие критические границы могут относиться к параметрам климата разного пространственного масштаба — глобального, регионального и даже локального. *Установление и научное обоснование критических границ* для изменения климата на территории России позволит оценивать опасность наблюдаемых и ожидаемых изменений климата. Информация о критических границах изменения климата в совокупности с данными мониторинга и моделирования климата позволит ответить на следующие вопросы:

— как далеко современное состояние климата от критических границ, и

— с какой скоростью состояние климата приближается к этим критическим границам (для корректной оценки скорости исключительно важно учитывать *характер естественной изменчивости климата в разных временных масштабах*)?

Изменения климата, вызывающие изменения состояния хозяйственных систем, *не выходящие за критические границы*, целесообразно оценивать в экономических единицах. Это позволит сопоставлять различные изменения по уровню ущерба для хозяйства отдельных регионов или же более мелких территориальных единиц, а также сравнивать уровень воздействия меняющегося климата на различные секторы экономики. Развитие соответствующих *методов комплексной экономической оценки* последствий изменения климата и получение таких комплексных оценок в экономических единицах требуют приоритетного внимания. Такие

4. НЕОБХОДИМЫЕ ДАЛЬНЕЙШИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

оценки предоставляют агрегированную информацию высокого уровня, необходимую для выработки климатической политики.

Для оценки последствий изменения климата требуются *имитационные модели климатозависимых процессов*, протекающих в природной и социально-экономической системах. Такие модели должны быть ориентированы, прежде всего, на прикладные задачи. Исходной информацией для этих моделей являются региональные оценки наблюдаемых или же ожидаемых изменений параметров климата, а их выходной информацией — оценки изменений показателей состояния здоровья населения, природных систем и хозяйственных систем. Работа по развитию и совершенствованию таких моделей необходима в отношении здоровья населения, технических систем, водного баланса внутренних водоемов, первичной продуктивности морских и наземных экосистем (включая агроэкосистемы), биоразнообразия, границ растительных зон на континентах, состояния приповерхностного слоя морей (уровень, температура, соленость и т. д.), состояния континентальной многолетней мерзлоты и ледниковых систем, проявлений экстремальности климата (засухи, лесные пожары, наводнения, сели, лавины и т. д.).

В настоящее время для оценки последствий изменения климата в большей степени, чем модели, применяются прикладные климатические индексы, описывающие климатообусловленные изменчивость и изменения показателей состояния здоровья населения, природных и хозяйственных систем. Значения этих индексов, вычисляемых непосредственно по данным гидрометеорологических наблюдений, следует систематически сопоставлять с фактическими данными (о заболеваемости населения, продуктивности и биоразнообразии природных экосистем, урожайности сельскохозяйственных растений, надежности конструкций зданий и технических сооружений и т. д.). Это будет способствовать отбору наиболее информативных прикладных климатических индексов, повышать точность оценок последствий изменения климата. Для такого систематического сопоставления необходимы *параллельные измерения значений гидрометеорологических величин и показателей состояния систем, т. е. осуществление комплексного мониторинга*.

Расширение таких комплексных наблюдений будет также способствовать совершенствованию методов оценки последствий изменения климата — переходу от прикладных климатических индексов к имитационным моделям климатозависимых процессов. Существенно, чтобы эти модели учитывали помимо климатических входных параметров и важнейшие параметры иной, неклиматической природы. Это позволит более надежно проводить

установление причин (атрибуцию) наблюдаемых изменений природных и хозяйственных систем, состояния здоровья населения, а также более реалистично оценивать возникающие при этом неопределенности. Для создания и развития методов атрибуции необходимы специальные разработки в области математического моделирования изменений климата и их последствий, создание принципиально нового типа моделей.

Пространственное разрешение данных о состоянии природных систем, получаемых путем наземных инструментальных измерений, ограничено имеющимися ресурсами — этот вид мониторинга требует значительных затрат времени и средств. В отношении некоторых показателей состояния систем *дистанционный мониторинг* более эффективен, например, при наблюдении за движением границ морских льдов и растительных зон, изменениями проективного покрытия наземных растений, первичной продуктивности в приповерхностном слое океана, уровня моря, температуры поверхности моря и суши. Методы дистанционного мониторинга необходимо систематически калибровать по результатам наземных измерений с целью оптимизации методик и технических средств, а также для повышения эффективности методов анализа данных.

Для эффективного изучения прикладных аспектов изменения климата и их последствий необходимо широкое *внедрение ГИС-технологий*, их совмещение с современными статистическими методами и методами математического моделирования климатических процессов и соответствующих эффектов.

Для повышения эффективности и согласованности оценок наблюдаемых и ожидаемых изменений климата и оценок их последствий для территории России будущие исследования в этих двух направлениях должны быть в большей степени гармонизированы. Это касается прежде всего подходов к следующим проблемам.

а) Перечень приоритетных в прикладном отношении параметров климата.

Он должен включать следующие параметры приповерхностного слоя атмосферы: минимальную, среднюю и максимальную температуру; сумму осадков — жидких и твердых отдельно; скорость ветра и влажность; актинометрические параметры; характеристики испарения; речной сток. Весьма также важны температура и влагонасыщенность почвы, высота снежного покрова, глубина сезонного протаивания и промерзания.

б) Исходные массивы данных наблюдений за климатом, их пространственное и временное разрешение.

4. НЕОБХОДИМЫЕ ДАЛЬНЕЙШИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для оценки последствий изменения климата для природных и хозяйственных систем, для здоровья населения в большинстве случаев требуются данные суточного или же более высокого разрешения по времени. В настоящее время чаще используются данные более грубого разрешения (например, месячного), что приводит к увеличению неопределенности результатов оценок последствий. Для решения проблемы пространственного разрешения необходимо в возможно более полной мере использовать гидрометеорологические данные наблюдательной сети Росгидромета в совокупности с наблюдениями, выполняемыми другими ведомствами и учреждениями.

в) Перспективные (прогнозные) оценки климата будущего, соответствующие разным сценариям антропогенного воздействия на глобальный климат.

Перечень, приведенный в пункте *а*, остается в силе в отношении приоритетных параметров климата будущего, как и характеристики их временного разрешения, приведенные в пункте *б*. Необходимое пространственное разрешение — около 1–2° и более высокое. Собственно сценарии антропогенного воздействия на глобальный климат целесообразно выбрать согласованно с МГЭИК — те, что использовались при подготовке Четвертого оценочного доклада, и те, что будут использоваться при подготовке Пятого оценочного доклада. Важно отметить, что многие из таких новых сценариев учитывают меры по ограничению эмиссий

парниковых газов, чего не было в сценариях, описанных в Специальном докладе МГЭИК по сценариям выбросов (2000 г.).

г) Временные периоды, к которым целесообразно относить оценки изменений климата и их последствий, включая базовые периоды.

Эти периоды целесообразно выбрать согласованно с теми, что будут использоваться МГЭИК при подготовке Пятого оценочного доклада. В отношении сценариев антропогенного воздействия на глобальный климат: целесообразно рассматривать среднесрочные перспективные оценки — до 2035 г. и долгосрочные — до 2100 г. и на более отдаленную перспективу.

Представляется необходимым, чтобы данные наблюдений за параметрами климата, а также данные о климате будущего, отвечающие приведенным выше критериям, были в возможно более сжатые сроки организованы в базу данных (централизованную или же распределенную) и были доступны российским исследователям. При этом по климату будущего были бы представлены данные по различным сценариям, климатическим моделям и расчетам. Это позволит специалистам оценивать все многообразие возможных ответов природных и социально-экономических систем на изменение климата, их вероятностное распределение и возникающие риски.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

- ААНИИ — Арктический и антарктический научно-исследовательский институт
 АТР — Азиатская территория России
 БКП — биоклиматический потенциал
 БС — Балтийская система высот
 ВВП — валовой внутренний продукт
 ВНИИГМИ-МЦД — Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологический информации — Мировой центр данных
 ВМО — Всемирная метеорологическая организация
 ГГИ — Государственный гидрологический институт
 ГГО — Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова
 Гидрометцентр России — Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации
 ГМС — гидрометеорологическая станция
 ГОИН — Государственный океанографический институт
 ГТК — гидротермический коэффициент Селянинова
 ЕТР — Европейская территория России
 ИВМ РАН — Институт вычислительной математики РАН
 ИГ РАН — Институт географии РАН
 ИГКЭ — Институт глобального климата и экологии Росгидромета и РАН
 ИС — индекс сухости Будыко
 ИП — индекс потребления топлива
 ИО РАН — Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН
 ИФА РАН — Институт физики атмосферы им. А. М. Обухова РАН
 КБО — Конвенция по борьбе с опустыниванием
 КУ — коэффициент увлажнения Чиркова
 МГЭИК — Межправительственная группа экспертов по изменению климата
 МОЦАО — (объединенная) модель общей циркуляции атмосферы и океана
 ООН — Организация Объединенных Наций
 ОП — отопительный период
 ПГ — парниковые газы
 РАН — Российская академия наук
 РГО — Русское географическое общество
 РКМ ГГО — региональная климатическая модель ГГО
 СДСВ — Специальный доклад по сценариям выбросов
 СНГ — Содружество независимых государств
 СНИП — санитарные нормы и правила
 СО РАН — Сибирское отделение РАН
 ТДО — тихоокеанская десятилетняя осцилляция
 ТПМ — температура поверхности моря
 УрО РАН — Уральское отделение РАН
 Хл — хлорофилл
 ЦАО — Центральная аэрологическая обсерватория

**ОЦЕНОЧНЫЙ ДОКЛАД ОБ ИЗМЕНЕНИЯХ КЛИМАТА
И ИХ ПОСЛЕДСТВИЯХ
НА ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Том II. Последствия изменений климата

На первой странице обложки — Катунский хребет и верхняя граница леса
в долине ручья Иолдж Северное, Катунский биосферный заповедник, Республика Алтай.

Редактор *Т.В.Лешкевич*
Корректор *В.В.Борисова*
Компьютерная верстка *И.В.Ломакиной*

Подписано в печать 18.11.08. Формат 60x84 1/8. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 29,93. Усл. кр.-отт. 30,20. Уч. изд. л. 32,18.
Тираж 300 экз. Индекс ММ-15. Заказ № 31.

Набрано в ГУ «НИЦ «Планета»
123242, Москва, Б. Предтеченский пер., 7
Отпечатанов ГУ «ВНИИГМИ-МЦД»
249035, Калужская обл., г. Обнинск, ул. Королева, д.6

ISBN 978-5-904206-07-9