

3. ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XXI В.

- 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, Гидрометеиздат, 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, Tromse, 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 для растений 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.

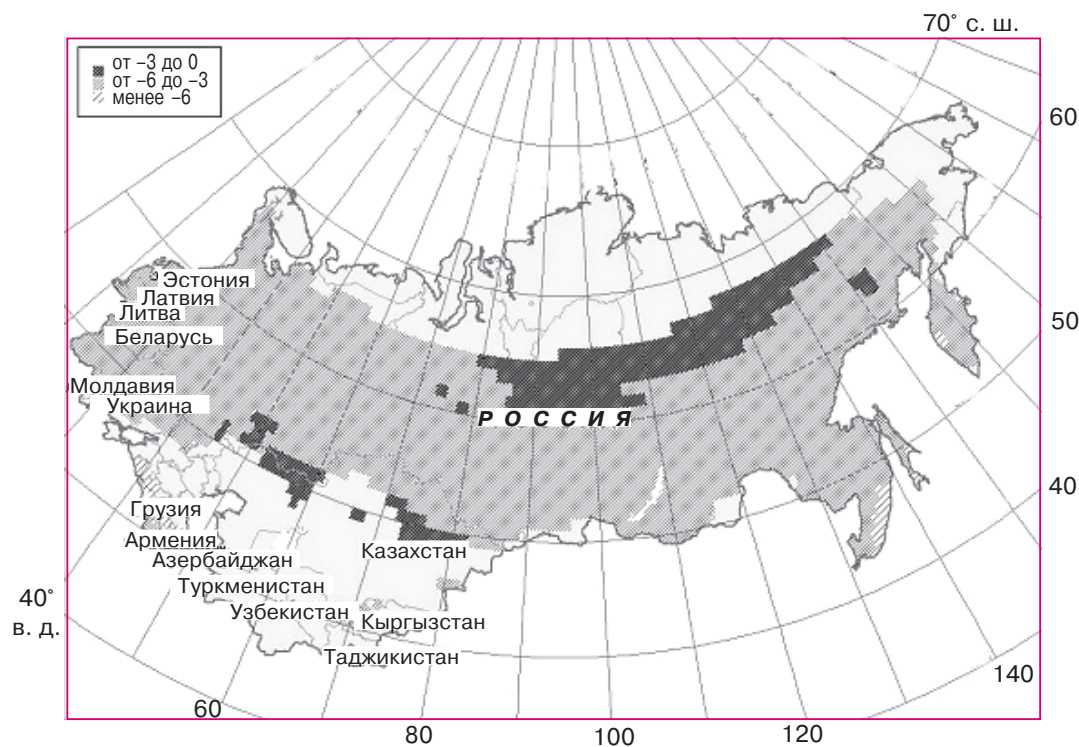


Рис. 3.6.1. Изменение расчетной даты зеленения березы *Betula pendula* Roth. на территории России и соседних стран (сутки) в 1996–2025 гг. исходя из предположения, что средняя температура повсеместно увеличилась на 1°C по сравнению с температурой в 1966–1995 гг., а характер изменчивости климата не менялся (Семенов и др., 2006).

3. ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XXI В.

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 палеоанalogий, 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 палеоанalogий.

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 мезофитов 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 мезофитов 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.

3. ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XXI В.

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 , $(\sum T_0)_{\max}$, характеризующей возможные теплоресурсы в регионе, и разности между максимальными и минимальными суммами температуры выше 0°C , характеризующей уровень климатописического разнообразия по показателю теплообеспеченности, $\Delta = (\sum T_0)_{\max} - (\sum T_0)_{\min}$. 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-

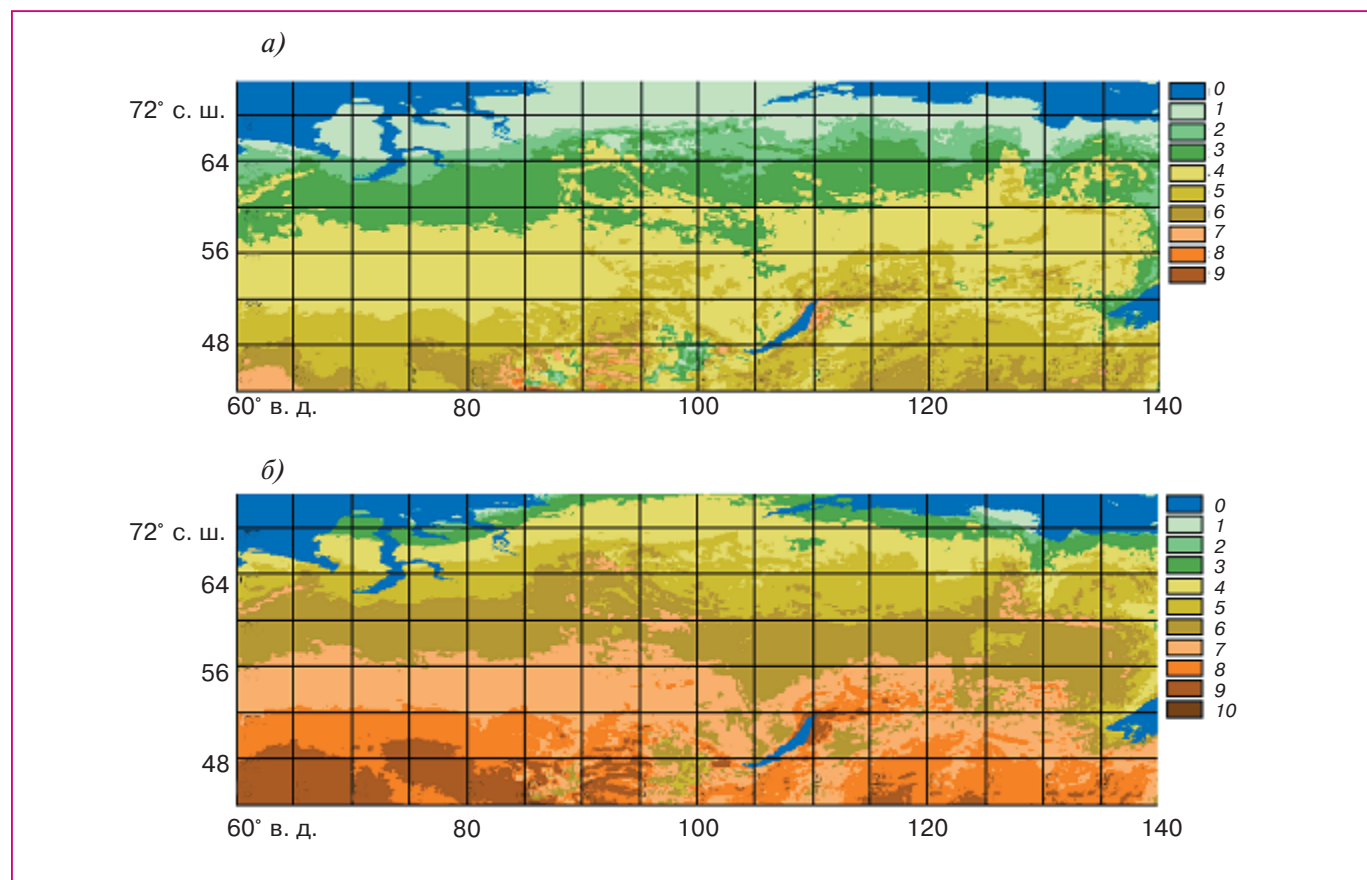


Рис. 3.6.2. Распределение современного (а) и в 2090 г. (б) флористического разнообразия (число видов в расчете на 100 000 км²) сосудистых растений в Сибири. 0 — вода, 1 — до 100, 2 — 100–300, 3 — 300–600, 4 — 600–900, 5 — 900–1200, 6 — 1200–1500, 7 — 1500–1800, 8 — 1800–2100, 9 — 2100–3000, 10 — 3000–4000 (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 климатотипы (климатические экотипы) древесных видов *Larix sibirica* Ledeb. и *Pinus sylvestris* L. существенно перераспределяются в пространстве. Современные климатотипы сдвигаются далеко на северо-восток и замещаются более продуктивными южными климатотипами.

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.

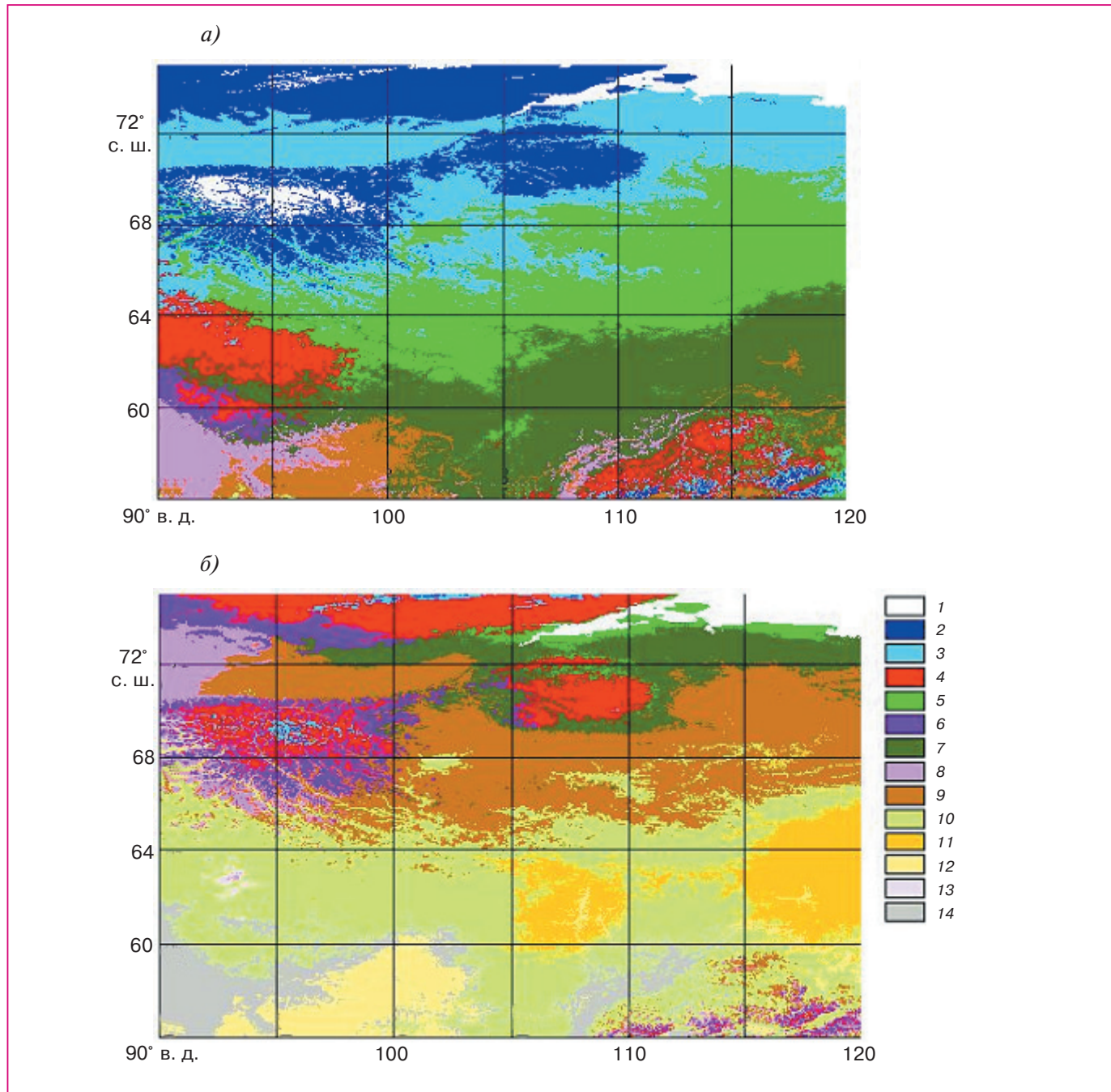


Рис. 3.6.3. Современное распределение растительности в Центральной Сибири (а) и равновесное состояние растительности, соответствующее климату 2090 г. (б) (Чебакова и др., 2003). 1 — вода, гольцы; 2 — тундра; 3 — лесотундра; 4 — темнохвойная северная тайга; 5 — светлохвойная северная тайга; 6 — темнохвойная 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 — нагрузка 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 сокращению 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,

3. ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XXI В.

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 погоньш, 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 расширяться 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 щенных 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.

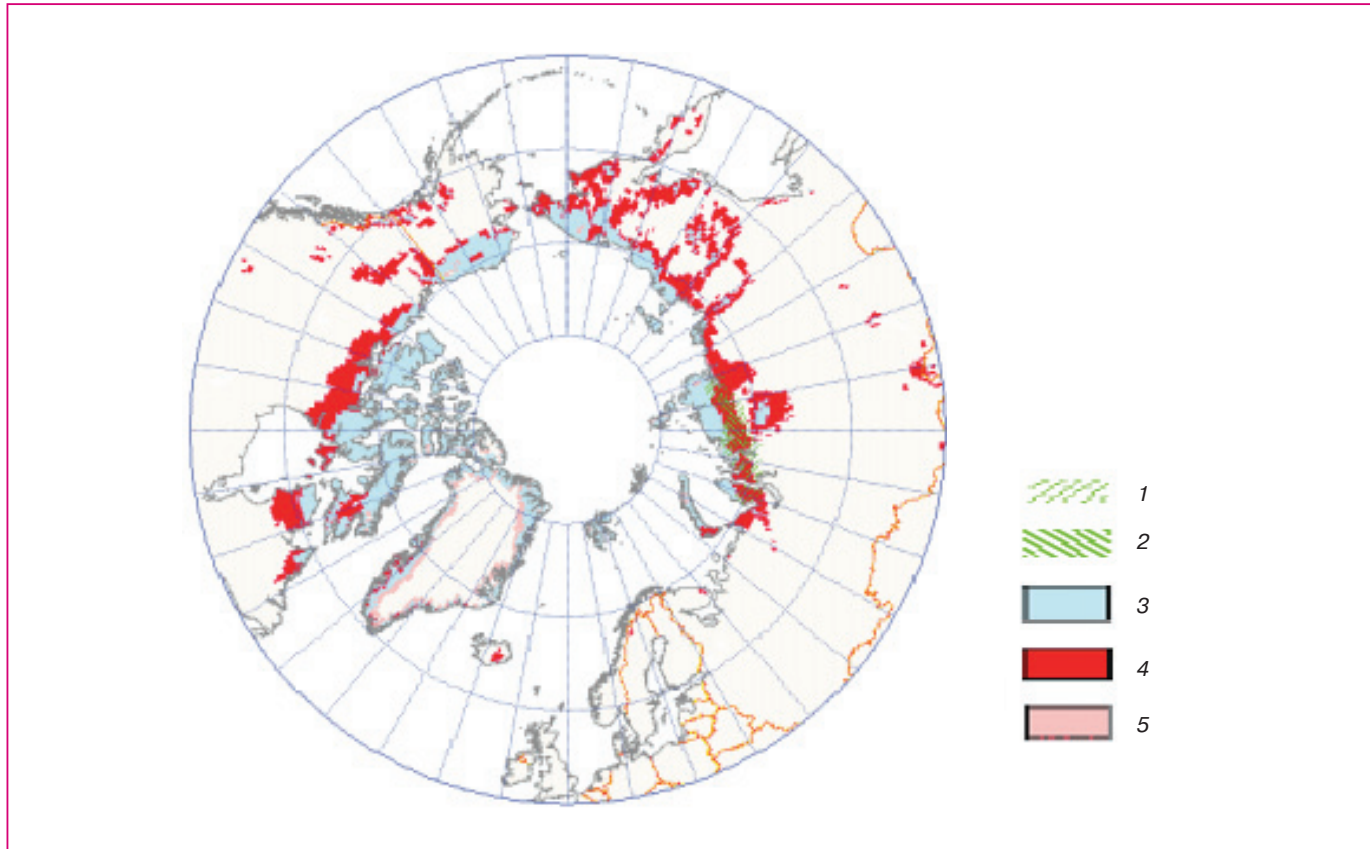


Рис. 3.6.4. Современный ареал краснозобой казарки *Branta ruficollis* и возможные изменения ее гнездовых местообитаний, соответствующие климату 2070–2099 гг. (ACIA, 2004). 1) гнездовой ареал; 2) гнездовой ареал с высокой плотностью гнездования; 3) часть тундры, остающаяся без изменения; 4) сокращение 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 (Gavrilo 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. Деponирование 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°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°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 (Кудряков, 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.
- 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.

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 лиственницы 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.:

- 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. 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 Zockler 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. Мяч, 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.