

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, биоразнообразии и продуктивности. 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 *Chamaenerion 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.

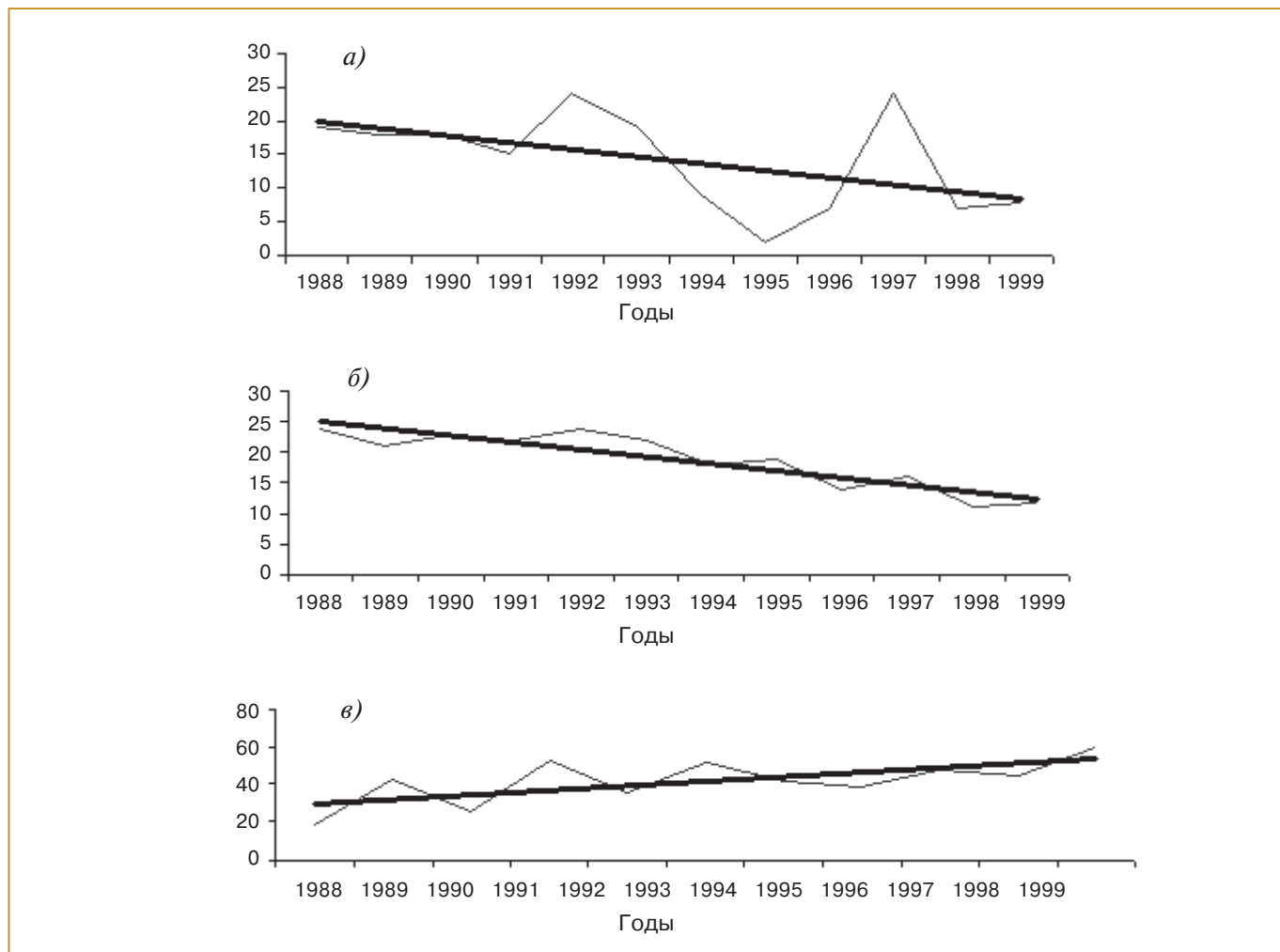


Рис. 2.6.1. Изменение сроков наступления фенофаз древесно-кустарниковых видов растений в Тебердинском заповеднике в конце XX века. а) распускание листьев у березы бородавчатой; б) распускание листьев у рябины обыкновенной; в) пожелтение листьев у шиповника. По оси ординат на рисунках а и б — порядковый 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 установления более ранних сроков зацветания ря-

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

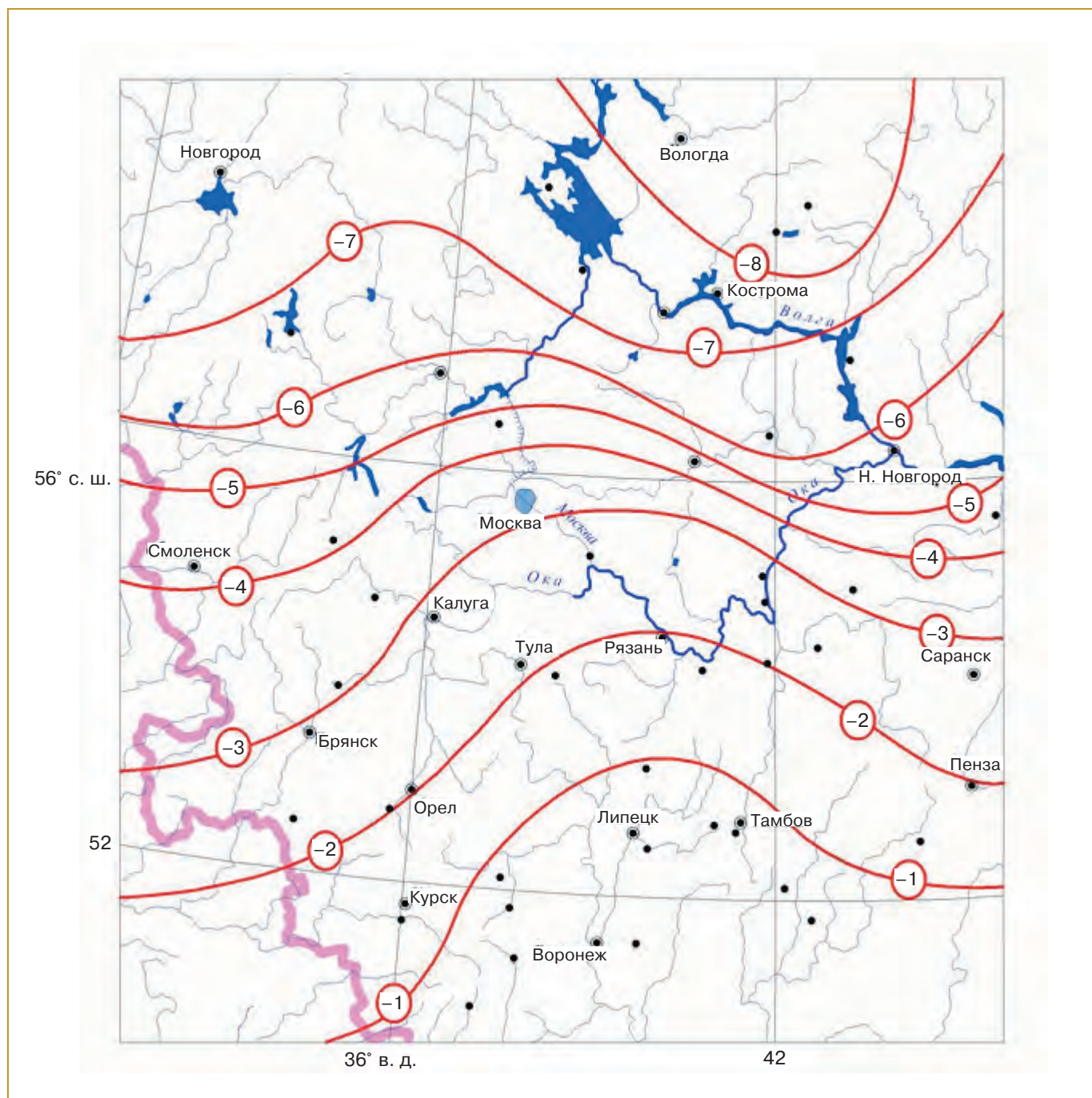


Рис. 2.6.2. Изолинии смещения сроков (сутки) развертывания первых листьев у березы бородавчатой на ЕТР за период 1970–2000 гг. Точками показаны пункты фенологических наблюдений (Минин, 2000а, 2000б; Воскова, 2006).

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.

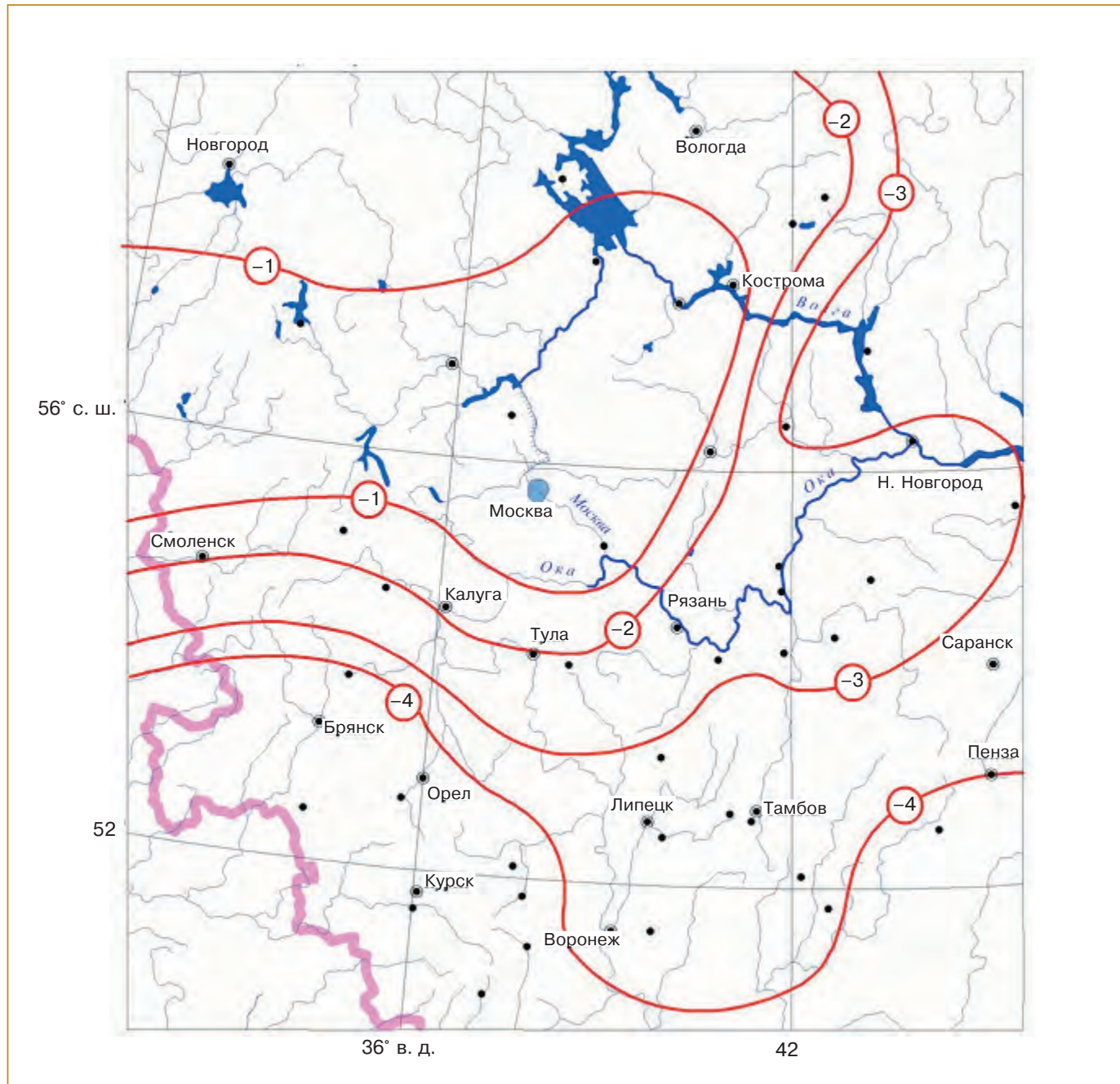


Рис. 2.6.3. Смещение сроков (сутки) зацветания у рябины обыкновенной на ЕТР за период с середины 1960-х годов до конца XX века. Точками показаны пункты фенологических наблюдений (Минин, 2000а, 2000б; Воскова, 2006).

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-

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

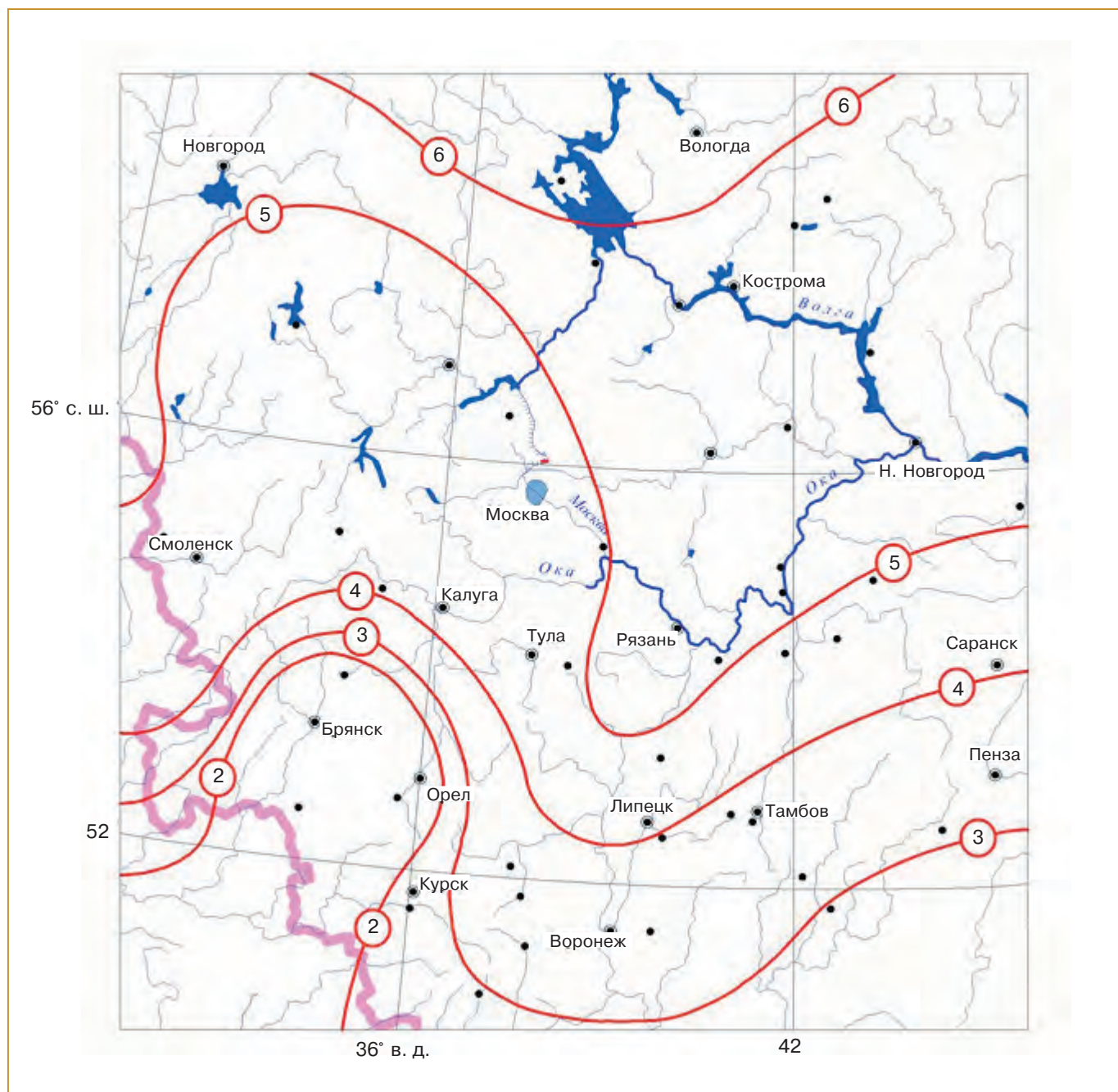


Рис. 2.6.4. Изолинии смещения сроков окончания листопада у березы бородавчатой на ЕТР за период 1970–2000 гг. Точками показаны пункты фенологических наблюдений (Минин, 2000а, 2000б; Воскова, 2006).

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.

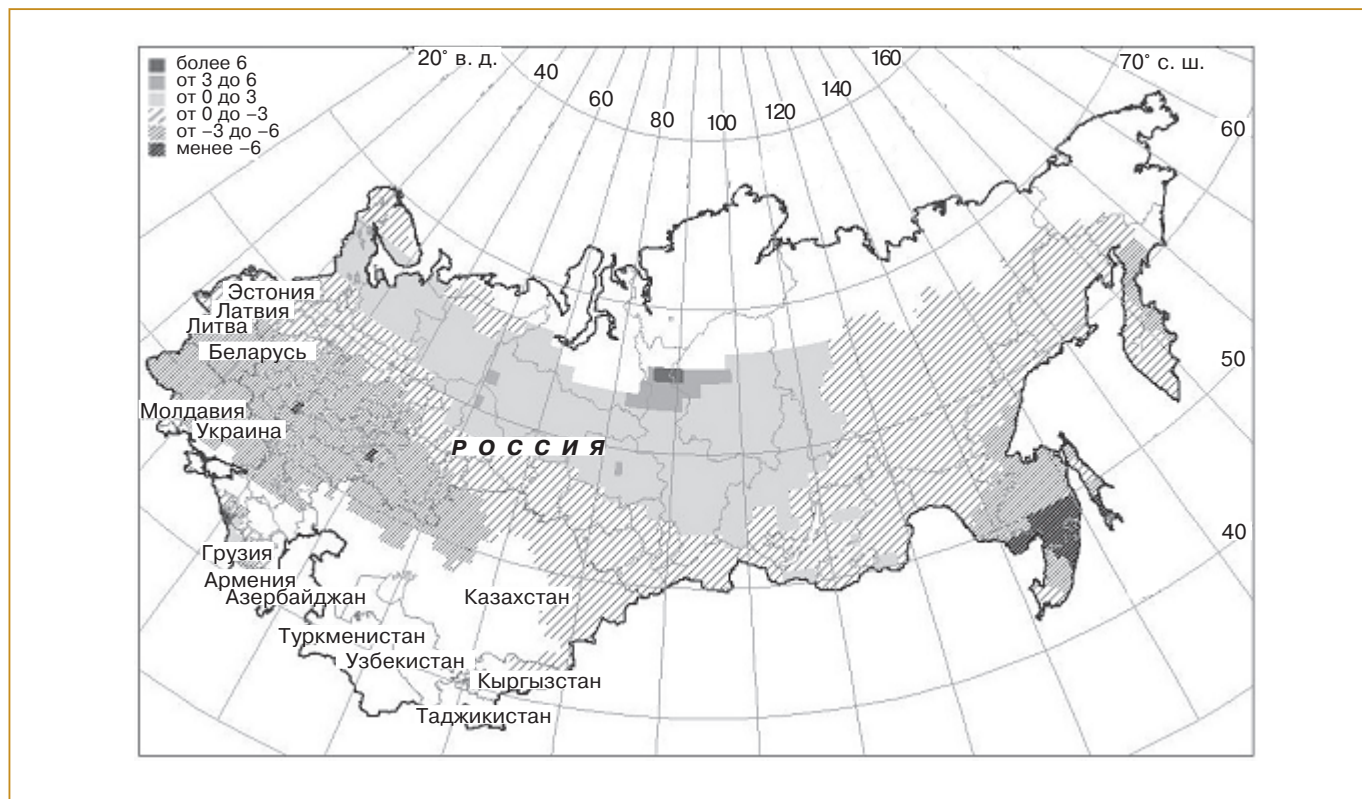


Рис. 2.6.5. Изменение расчетного срока (сутки) события распускания листьев у осины *P. tremula* в 1966–1995 гг. по сравнению с 1936–1965 гг. Сдвиг во времени указан оттенками серого цвета и штриховкой; белый цвет означает, что точка в ареал осины не входит (Семенов и др., 2006).

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-

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

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 обсуждавшимися 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.

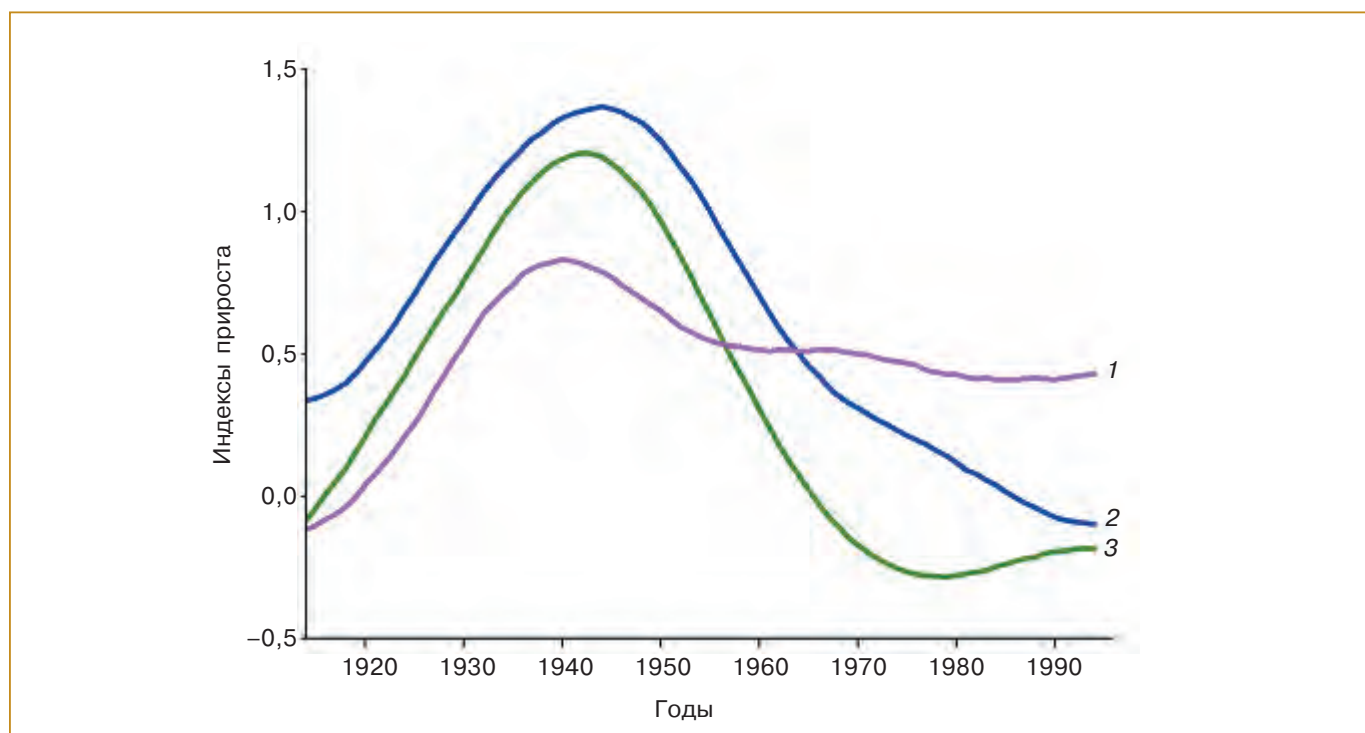


Рис. 2.6.6. Радиальный прирост деревьев (индексы прироста), произрастающих на полярной (1 — Индигирка; 2 — Таймыр) и верхней (в горах Тувы — 3) границах ареала на севере и юге Сибири.

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.

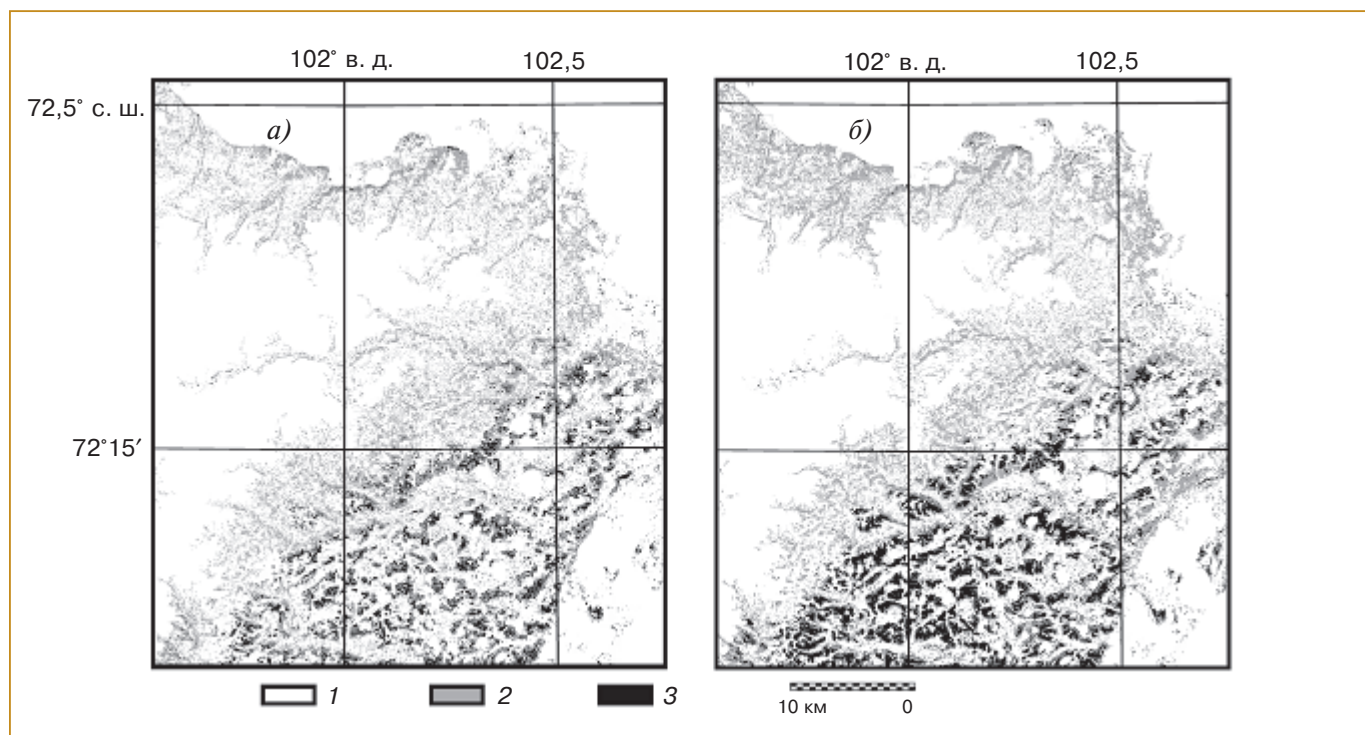


Рис. 2.6.7. Картограммы урочища Ары-Мас (Ваганов и др., 1996; Харук и др., 2006). а) снимок 1973 г.; б) снимок 2000 г.; 1 — фон (тундра и пойма реки), 2 — редины и редколесья (сомкнутость крон < 0,3), 3 — древостои (сомкнутость крон ≥ 0,3).

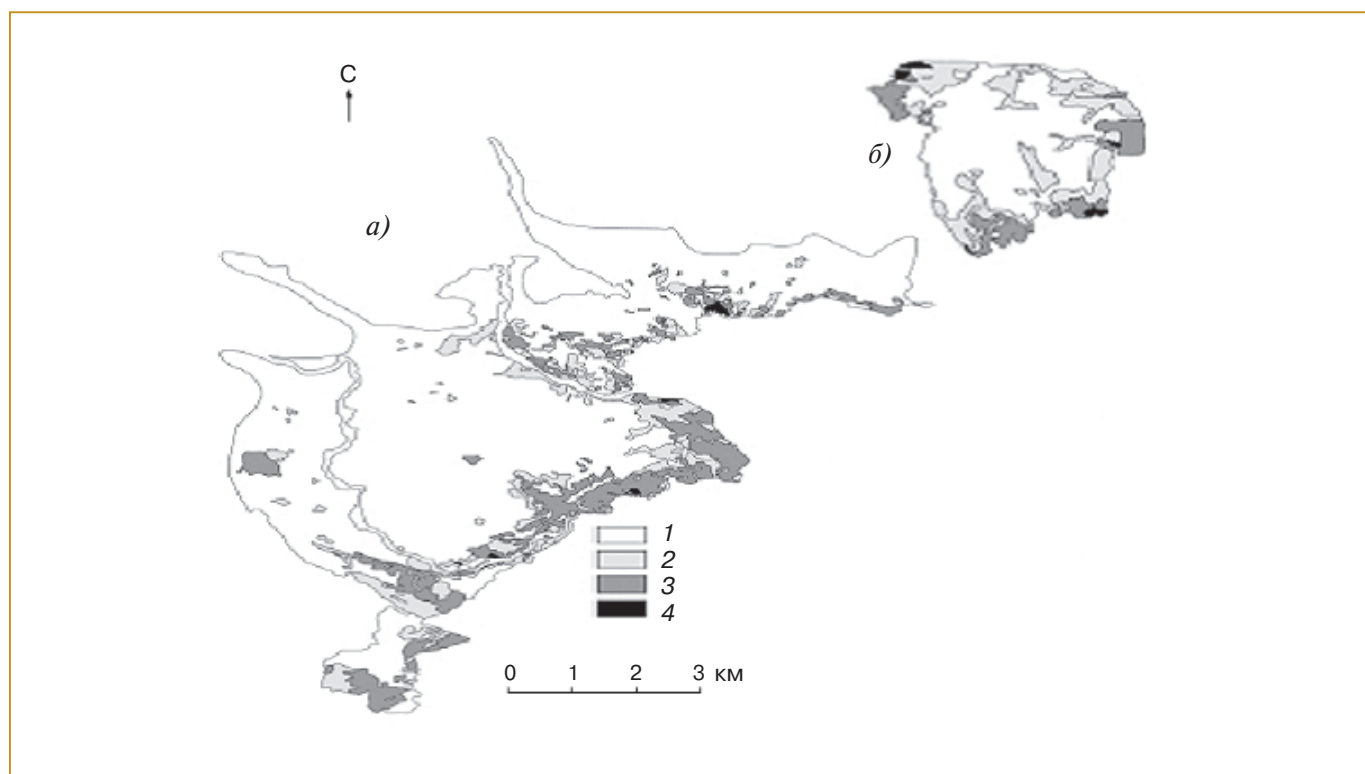


Рис. 2.6.8. Распределение различных типов лесотундровых сообществ в начале 1910-х годов. а) район массива Рай-Из и гор Черная и Малая Черная, б) район горы Сланцевая (восточный макросклон Полярного Урала, бассейн р. Собь, 66°46'–66°55' с. ш., 65°22'–65°49' в. д.). 1 — тундра с одиночными деревьями; 2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

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

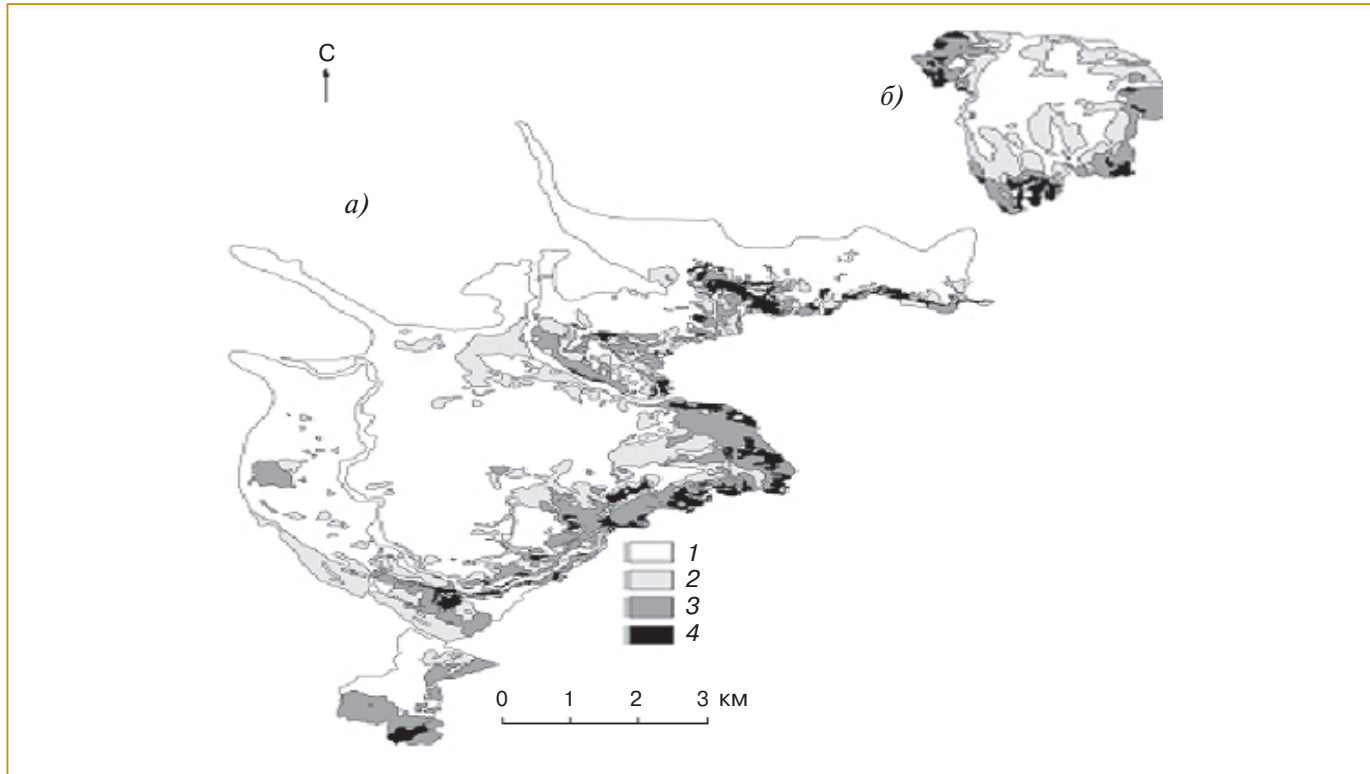


Рис. 2.6.9. Распределение различных типов лесотундровых сообществ в начале 1960-х годов. Пояснения те же, что на рис. 2.6.8.

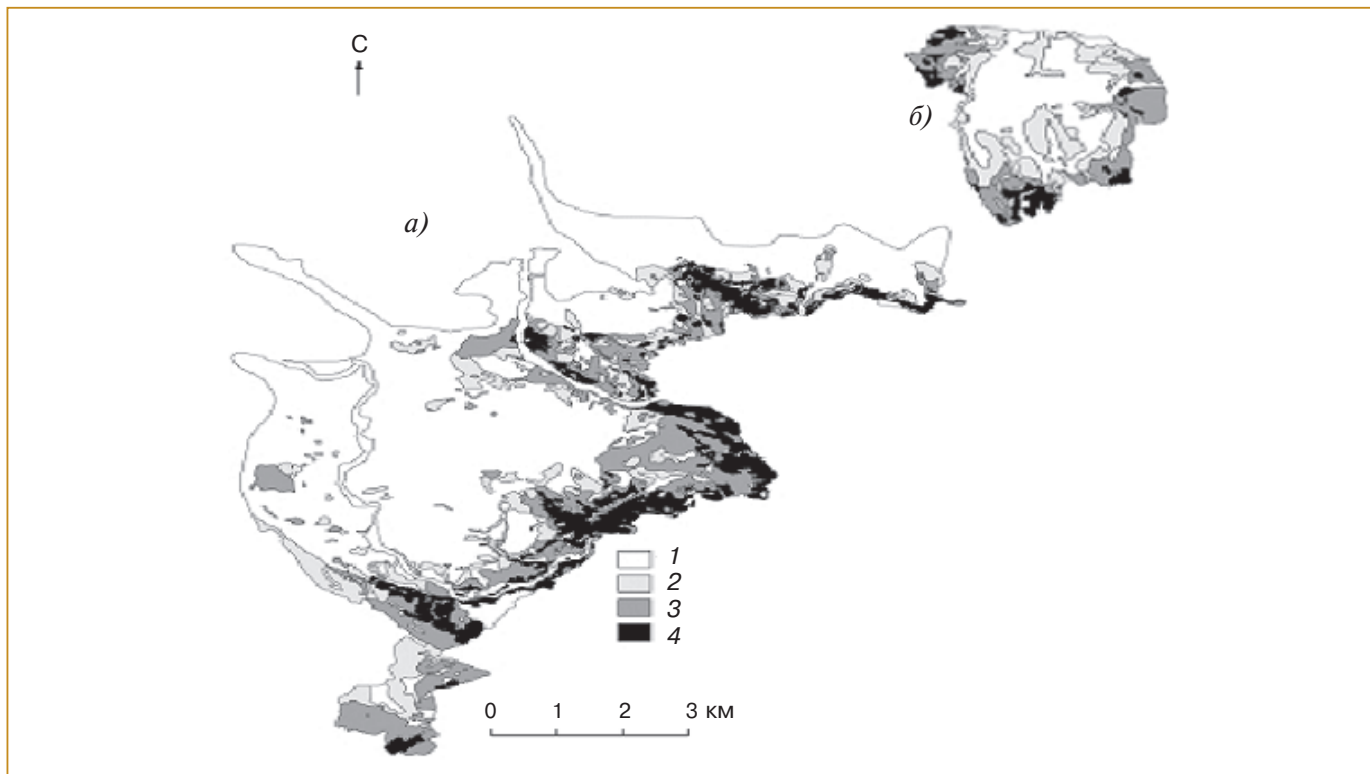


Рис. 2.6.10. Распределение различных типов лесотундровых сообществ в конце XX века. Пояснения те же, что на рис. 2.6.8.

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

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-

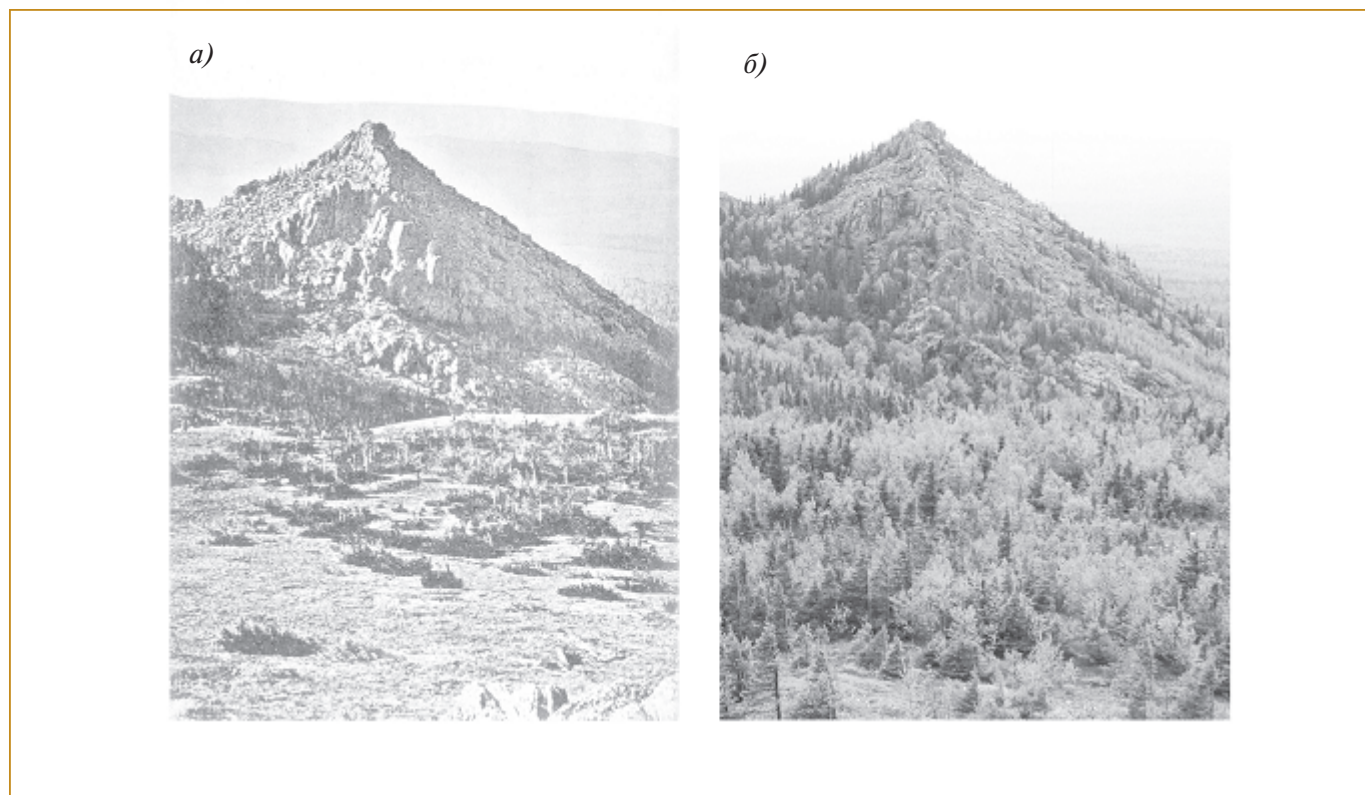


Рис. 2.6.11. Изменение верхней границы леса. Южный Урал, район вершины Три Сестры, 1027,5 м над уровнем моря в 1903 (а) и 2000 гг. (б) (Шиятов и др., 2001).

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 возникала 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 полусухих 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 солончаках, 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.

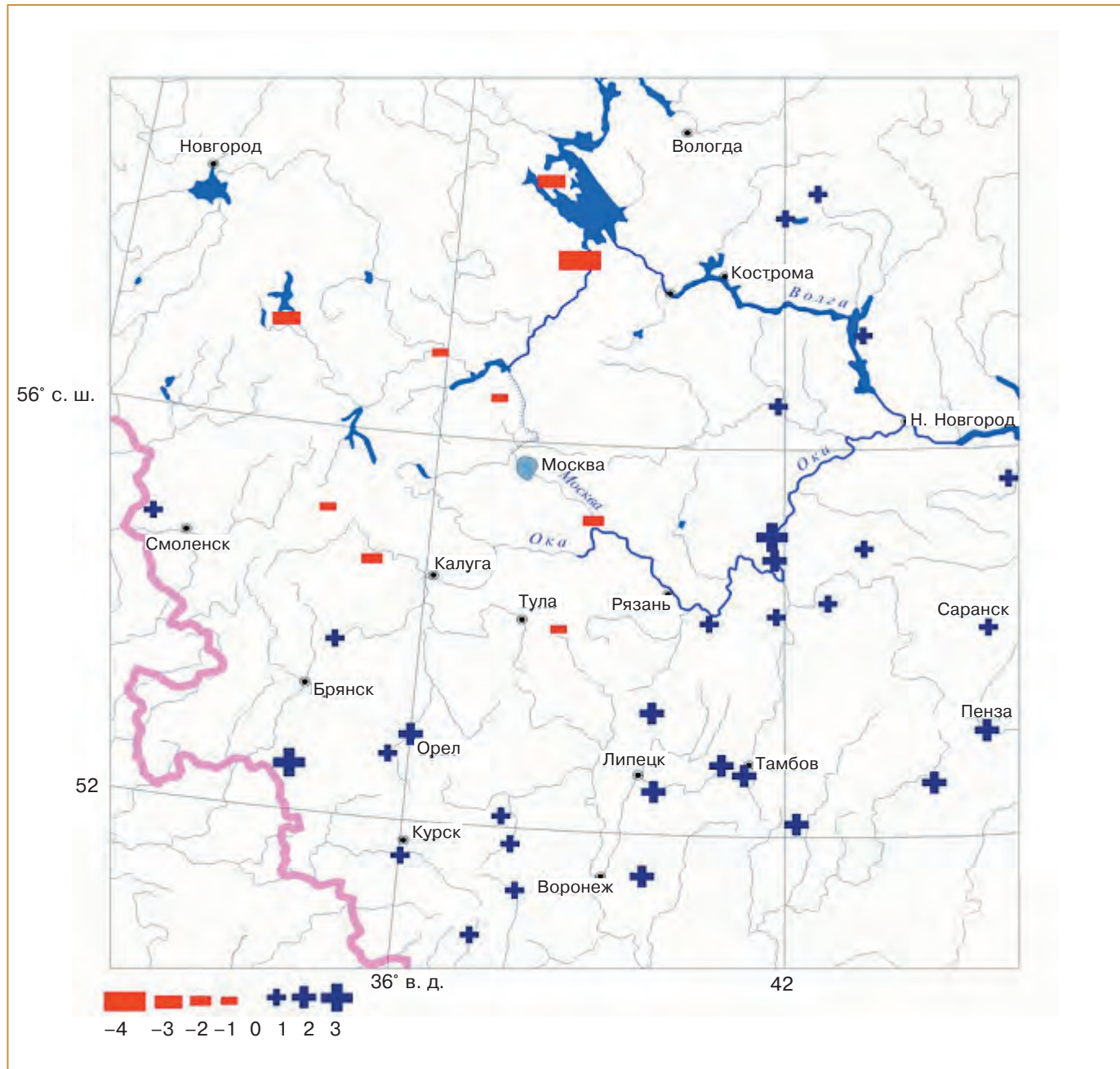


Рис. 2.6.12. Изменение сроков (сутки) первого кукования кукушки обыкновенной за 1970–2000 гг. (Воскова, 2006).

По материалам заповедников и данным добровольных корреспондентов-фенологов прилет большинства видов воробьиных птиц за последние десятилетия в целом стал происходить раньше (Минин, 2000а, 2000б). 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-Террасном 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.

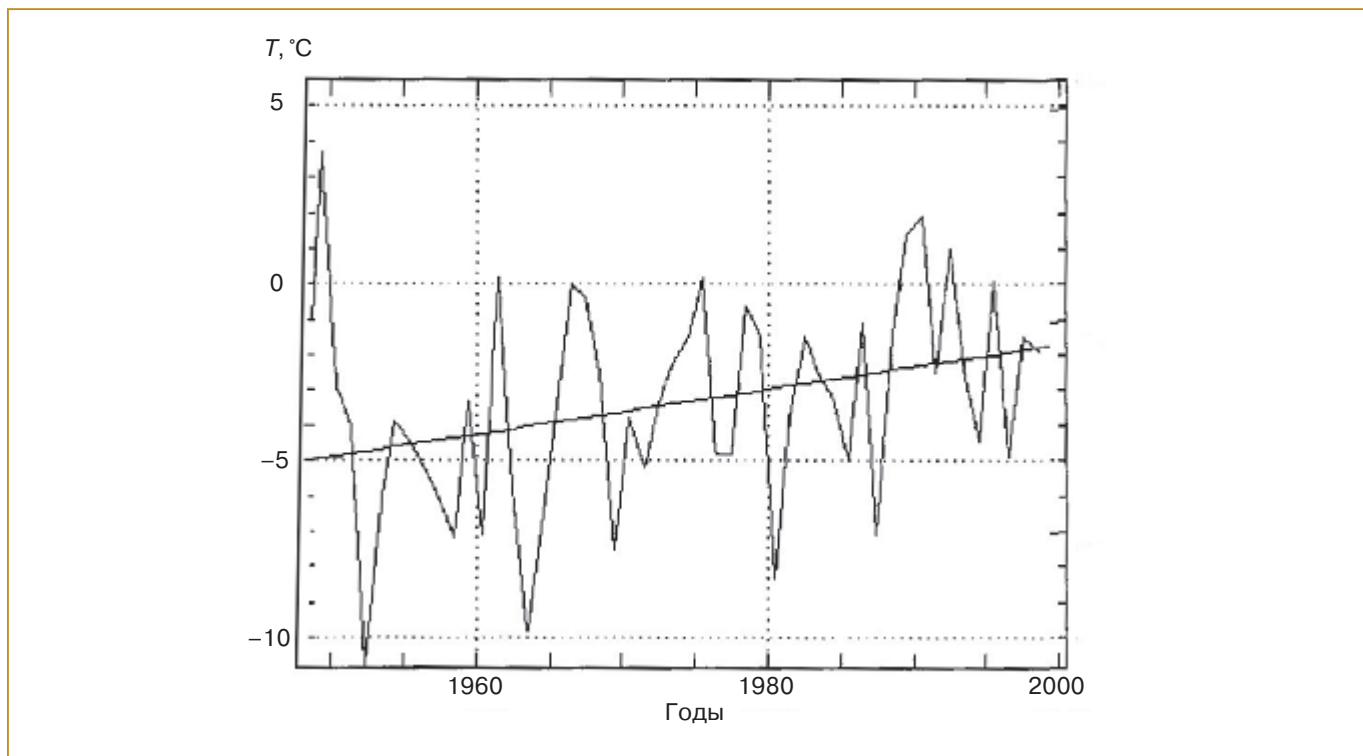


Рис. 2.6.13. Среднемесячные значения температуры воздуха в марте и их линейный тренд (Осипов и др., 2001).

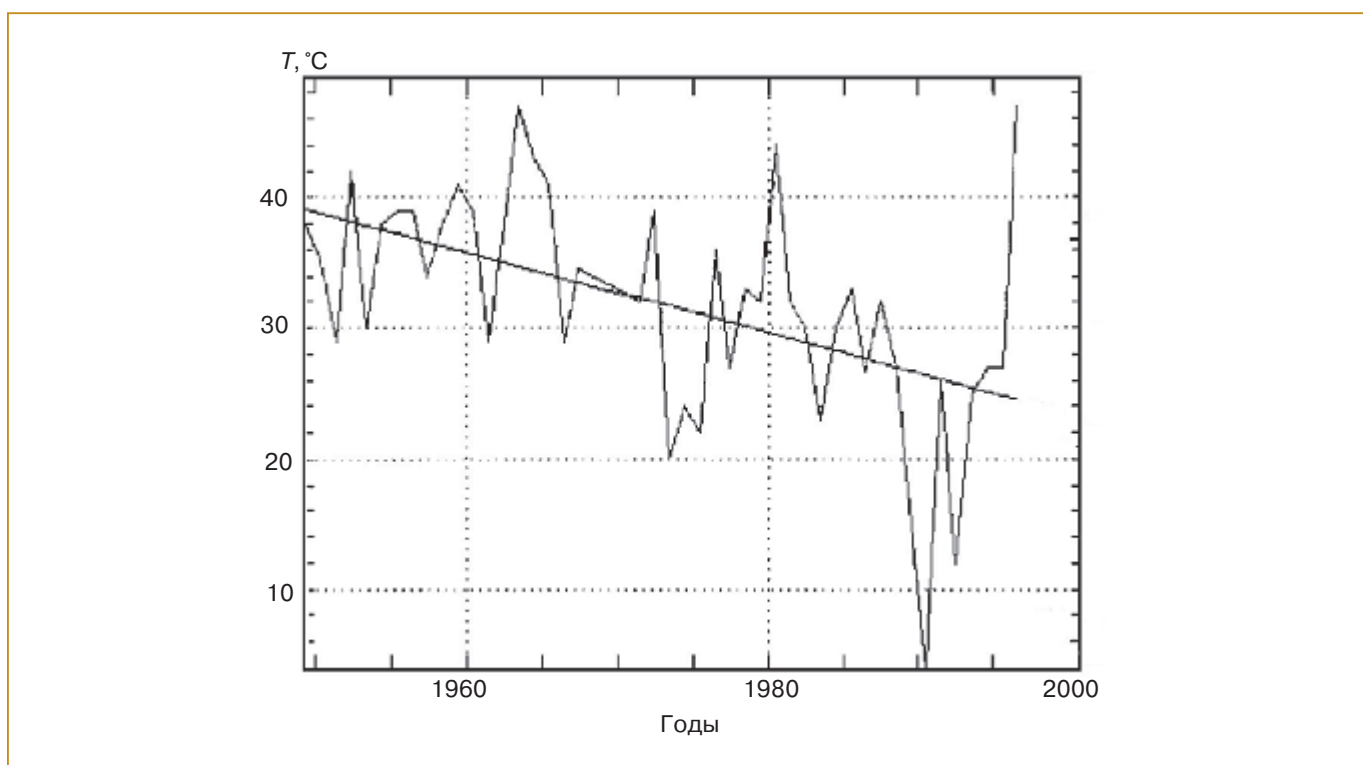


Рис. 2.6.14. Даты прилета кряквы и их линейный тренд (Осипов и др., 2001).

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. озеру 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 неблагоприятно-го 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.

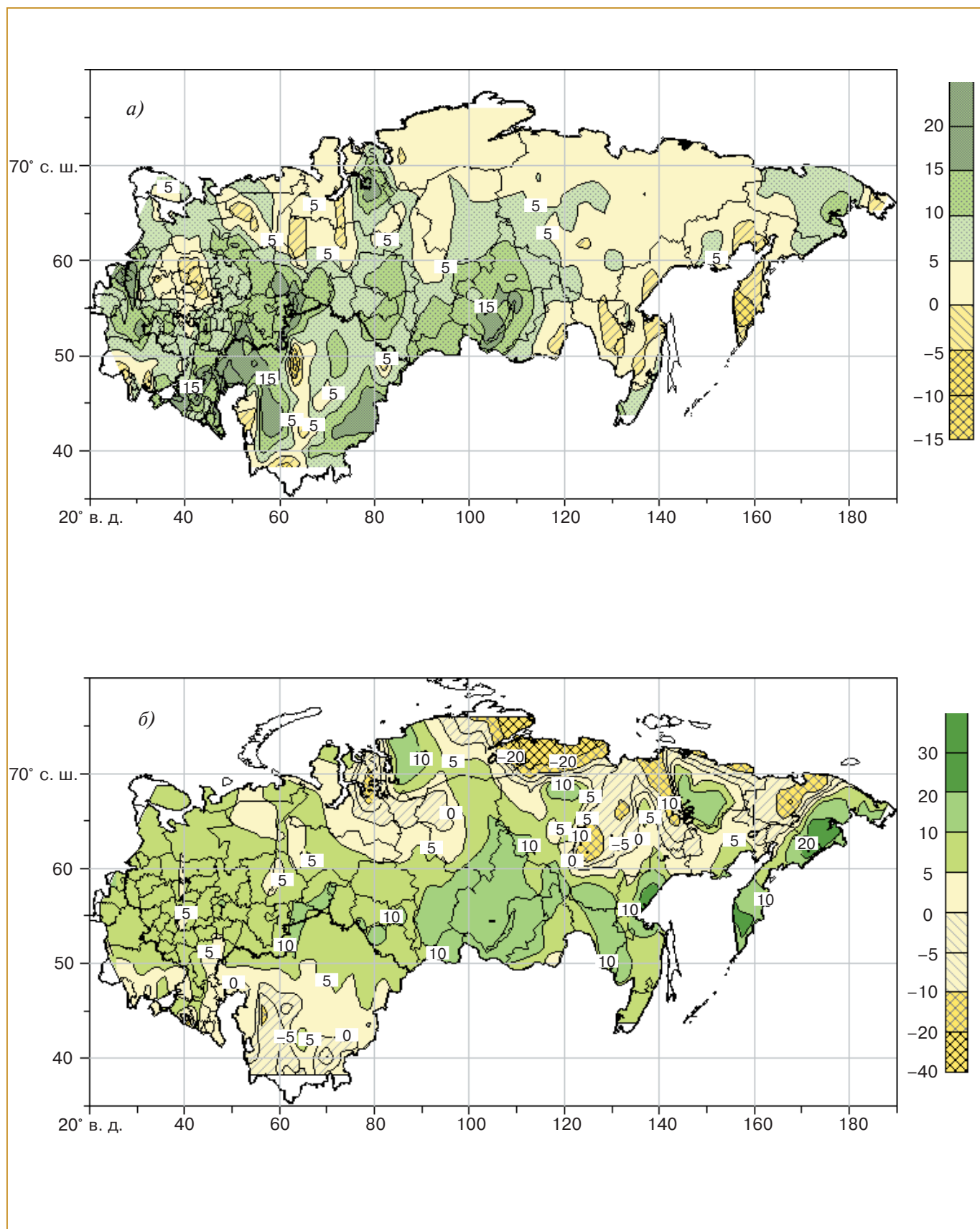


Рис. 2.6.15. Потенциальные климатогенные изменения (%) годичной первичной продукции экосистем (а) и содержания органического углерода (б) за период 1975–2004 гг. (Сиротенко, Абашина, 2008).

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 г. 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 г. 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., Дарихалов 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. Минина, М., Русский университет, ч. 2, с. 1–8.
- Анохин Ю. А., Болтнева Л. И., Мяс 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., Татиши Р., 2000.** Опустынивание засушливых земель Прикаспийского региона, Ростов-на-Дону, Изд-во СКНЦ ВШ, 89 с.
- Бурлакова Л. М., 2005.** Дegradaция 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, Гидрометеоиздат, с. 14–40.
- Громыко 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.
- 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.
- 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, Гидрометеоиздат, 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 CO_2 и биомасса лесных ценозов. К методике оценки стока CO_2 , 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. Минаина, 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. Минаина, 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.

2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

- 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. Минаева, 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 агрофермой, 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., Милокова 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.

Деградация многолетней мерзлоты уже сейчас причиняет заметный ущерб населению и экономике многих северных стран, и перспектива ее усиления вызывает серьезные опасения (Fedogov, 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 деградации 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.