

3.2. СОСТОЯНИЕ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ, ОТОПИТЕЛЬНЫЙ ПЕРИОД, ТРАНСПОРТ

Ведущие авторы: Н. В. Кобышева, О. А. Анисимов, Б. Г. Шерстюков

Автор: М. Л. Марков

Редактор-рецензент: А. Ф. Яковлев

3.2.1. Тепловой режим зданий и сооружений

Перспективные оценки последствий потепления в XXI веке для зданий и технических сооружений были впервые получены с использованием сценариев изменения климата, основанных на палеоаналогах (Ефимова и др., 1992; Ефимова, Байкова, 1994), на прогнозах изменения температуры воздуха на период до 2010–2015 гг. с помощью эмпирико-статистической модели (Материалы к стратегическому прогнозу..., 2005; Александрова, 2006) и на результатах расчетов по ряду моделей общей циркуляции атмосферы (Анисимов, 1999; Instanes et al., 2005). Полученные перспективные оценки зависят от используемого сценария изменения климата и заметно различаются между собой региональными деталями.

Все сценарии изменения климата дают довольно схожую картину изменений температуры воздуха в ближайшее десятилетие. Согласно оценкам Росгидромета (Материалы к стратегическому прогнозу..., 2005), к 2015 г. наибольшее повышение температуры холодных суток составит от 0,7–1,2°C на севере России и до 0,3–0,5°C на юге. На основании этого в работе (Александрова, 2006) сделан вывод об уменьшении продолжительности отопительного периода в России к 2015 г. на 1–4 суток. В этой же работе показано, что в предположении о повышении к концу XXI столетия температуры наиболее холодной пятидневки на северо-западе России на 2–3°C следует ожидать сокращения отопительного периода в этом регионе на 20–50 суток.

Перспективные оценки последствий изменения климата на более длительный период времени — до конца первой четверти и до середины XXI века — заметно различаются между собой, существенно зависят от выбранного сценария антропогенного воздействия на глобальный климат.

В работах (Ефимова и др., 1992; Ефимова, Байкова, 1994) на основе палеоаналоговых сценариев были построены карты, характеризующие сокращение продолжительности отопительного периода и дефицита тепла в Северном полушарии для конца первой четверти и до середины XXI века. Палеоаналоговые сценарии предполагали повышение к середине XXI века средней годовой глобально осредненной температуры воздуха в приповерхностном слое атмосферы по сравнению с 1990 г. на 2°C. Современные данные показывают, однако, что эти изменения едва ли превзойдут

величину 1,0–1,2°C. Таким образом, упомянутые выше оценки сокращения потребности в отоплении помещений являются несколько завышенными.

Более точные оценки могут быть получены с использованием современных сценариев антропогенного воздействия на глобальный климат и расчетов соответствующих изменений глобального климата с помощью моделей общей циркуляции атмосферы.

В Докладе по оценке последствий изменений климата в Арктике (Instanes et al., 2005) были получены оценки изменения продолжительности отопительного периода и дефицита тепла (см. определения показателей в разделе 2.1.2) для 2025, 2050 и 2080 гг. для сценария В2. При этом климат будущего рассчитывался с помощью пяти различных климатических моделей: CGCM2, HadCM3, ECHAM4, GFDL_R30 и CSM_1.4. Результаты расчетов для середины XXI века показаны на рис. 3.2.1 (для продолжительности отопительного периода) и 3.2.2 (для дефицита тепла). Оценки даны в процентах по отношению в норме за период 1961–1990 г.

В работе (Шерстюков, 2007) для оценки изменения продолжительности отопительного периода и дефицита тепла на территории России до 2025 и 2050 гг. по сравнению с нормой 1961–1990 гг. были использованы сценарные изменения климата, полученные в результате осреднения расчетов по трем моделям общей циркуляции: CGCM2, HadCM3 и ECHAM4. Во всех расчетах был использован сценарий эмиссии парниковых газов А2. Расчет двух исследуемых показателей, исходя из результатов моделирования климата будущего, проводился в соответствии с методикой, принятой Б. Г. Шерстюковым (см. раздел 2.1.2), которая отличается от использованной в работе (Instanes et al., 2005), в особенности в отношении затрат на отопление помещений. Результаты этих оценок представлены для продолжительности отопительного периода на рис. 3.2.3 и 3.2.4, а для затрат на отопление помещений — на рис. 3.2.5 и 3.2.6.

Сравнение результатов модельных оценок относительного изменения продолжительности отопительного периода и затрат на отопление помещений в XXI веке, приведенных на рис. 3.2.1 и 3.2.2, указывают на существенную зависимость результатов оценки от климатической модели, с помощью которой проводился расчет будущего климата при принятом сценарии антропогенного воздействия на глобальный климат. На рисунках для одинаковых моментов времени в будущем видны явные различия не только в региональных деталях, но и в доминирующих тенденциях.

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

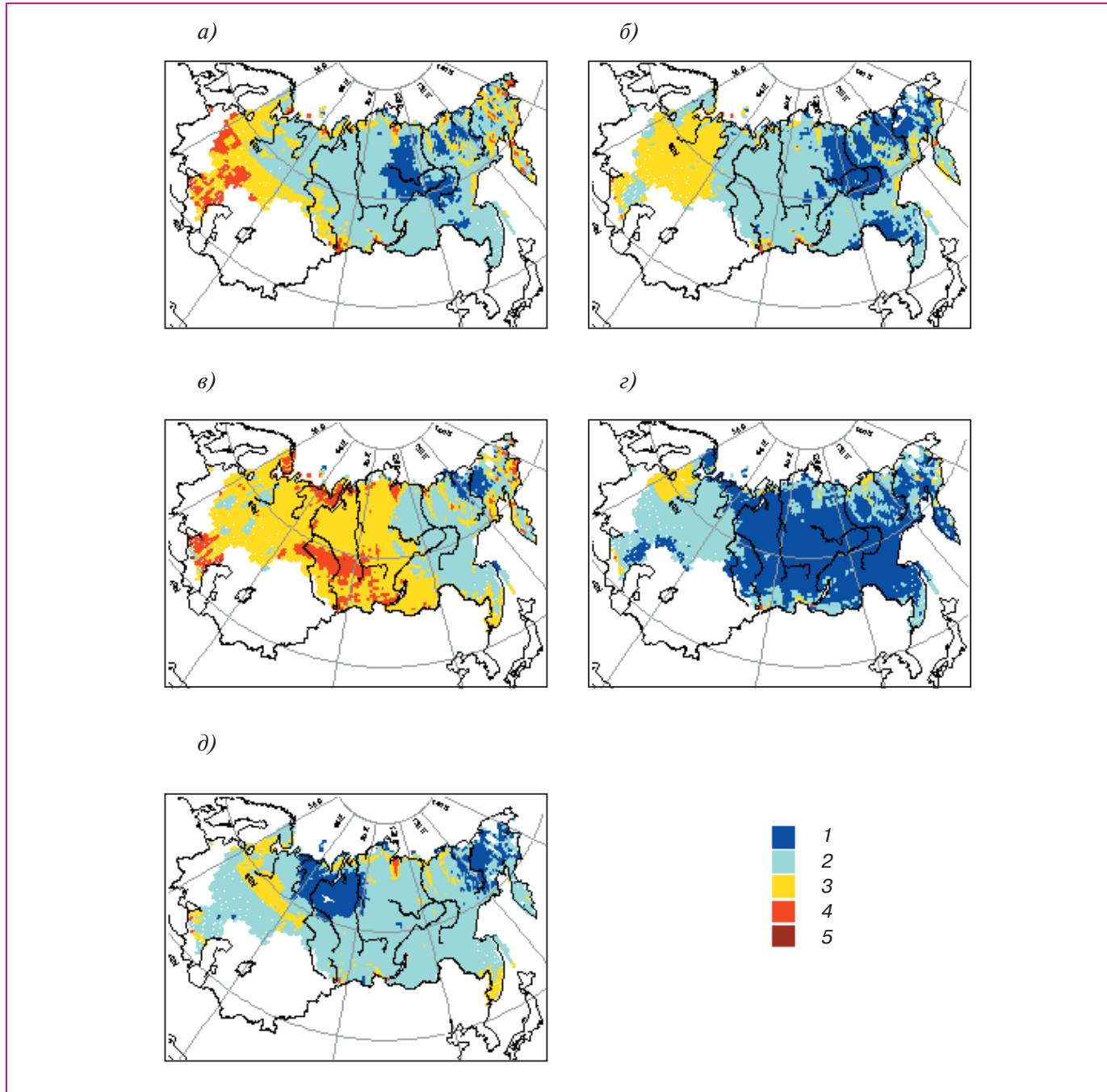


Рис. 3.2.1. Прогнозируемое изменение (%) продолжительности отопительного периода к 2050 г. по сравнению с нормой 1961–1990 г. (Instanes et al., 2005, с дополнениями О. А. Анисимова). а) модель CGCM2; б) HadCM3; в) ECHAM4; г) CSM_1.4; д) GFDLR30; 1) 1–5%; 2) 5–10%; 3) 10–15%; 4) 15–20%; 5) 20–100%.

Осредненные оценки, полученные с использованием мультимодельного среднего климата будущего (рис. 3.2.3–3.2.6), дают менее изменчивую в пространстве картину, обладают меньшей мозаичностью. Эти результаты можно суммировать следующим образом. По сравнению с нормой 1961–1990 гг. на большей части территории России продолжительность отопительного периода

сократится не более чем на 5% к 2025 г. и на 5–10% к середине XXI века. На юге и западе Европейской территории России, в некоторых северных и дальневосточных районах (например, на Камчатке, Чукотке) ожидаемое уменьшение продолжительности отопительного периода в 1,5–2 раза больше, чем в среднем по стране. Прогнозируемые относительные изменения затрат на

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

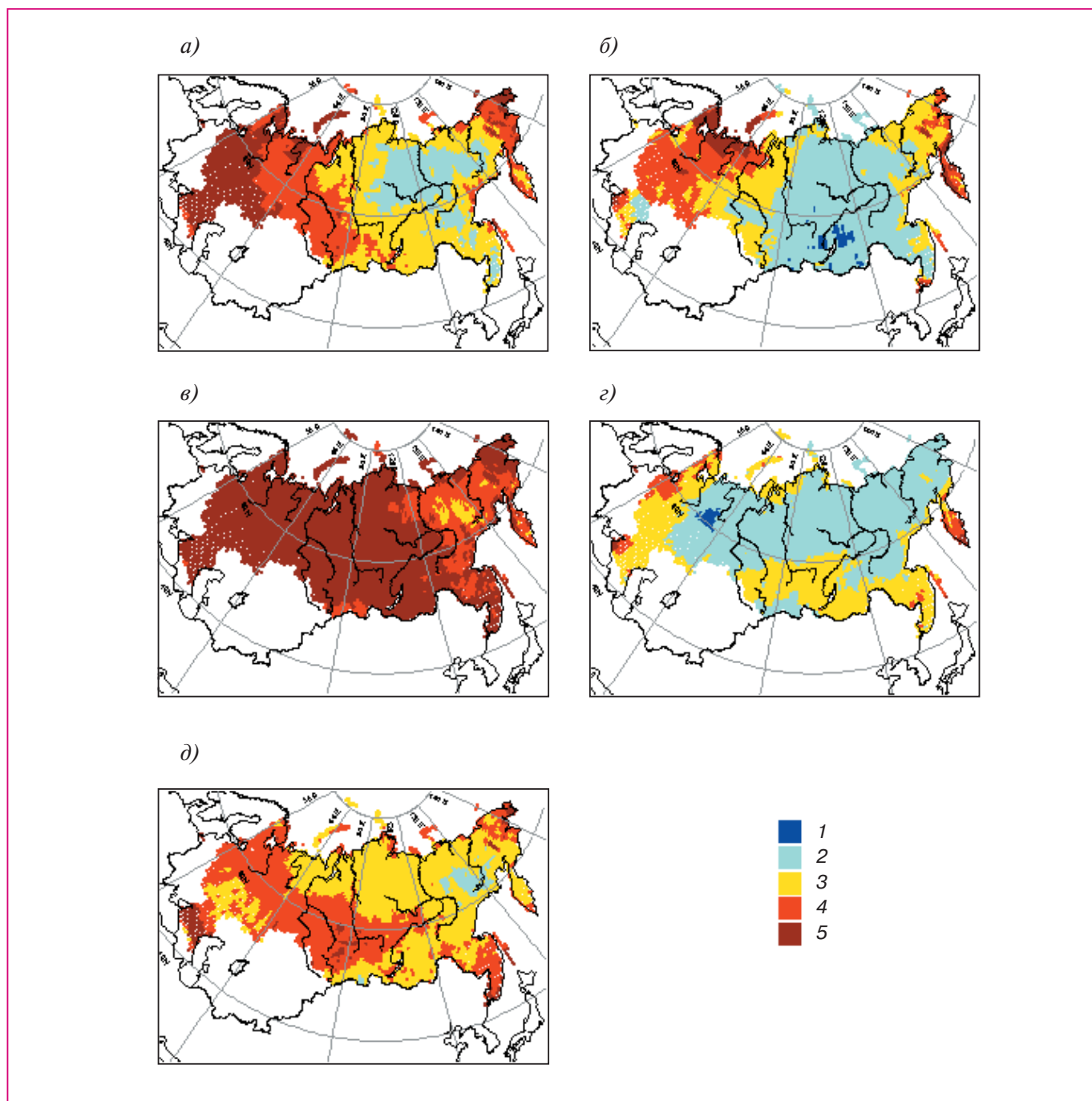


Рис. 3.2.2. Прогнозируемое изменение (%) дефицита тепла к 2050 г. по сравнению с нормой 1961–1990 г. (Instanes et al., 2005, с дополнениями О. А. Анисимова). Пояснения те же, что на рис. 3.2.1.

отопление помещений (индекс потребления топлива) имеют те же пространственные закономерности, но характеризуются приблизительно вдвое большими значениями.

Помимо отопительного сезона, который характеризует период низкой температуры, важную роль играет период наиболее высокой температуры. Она отрицательно влияет на здоровье людей, и кондиционирование помещений с целью пони-

жения температуры требует определенных затрат. Согласно оценкам А. А. Александровой (2006), к 2015 г. на территории России температура наиболее жарких суток календарного года заметно повысится, что приведет к увеличению затрат на кондиционирование (главным образом промышленных предприятий). Продолжительность периодов наиболее высокой температуры увеличится (рис. 3.2.7).

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

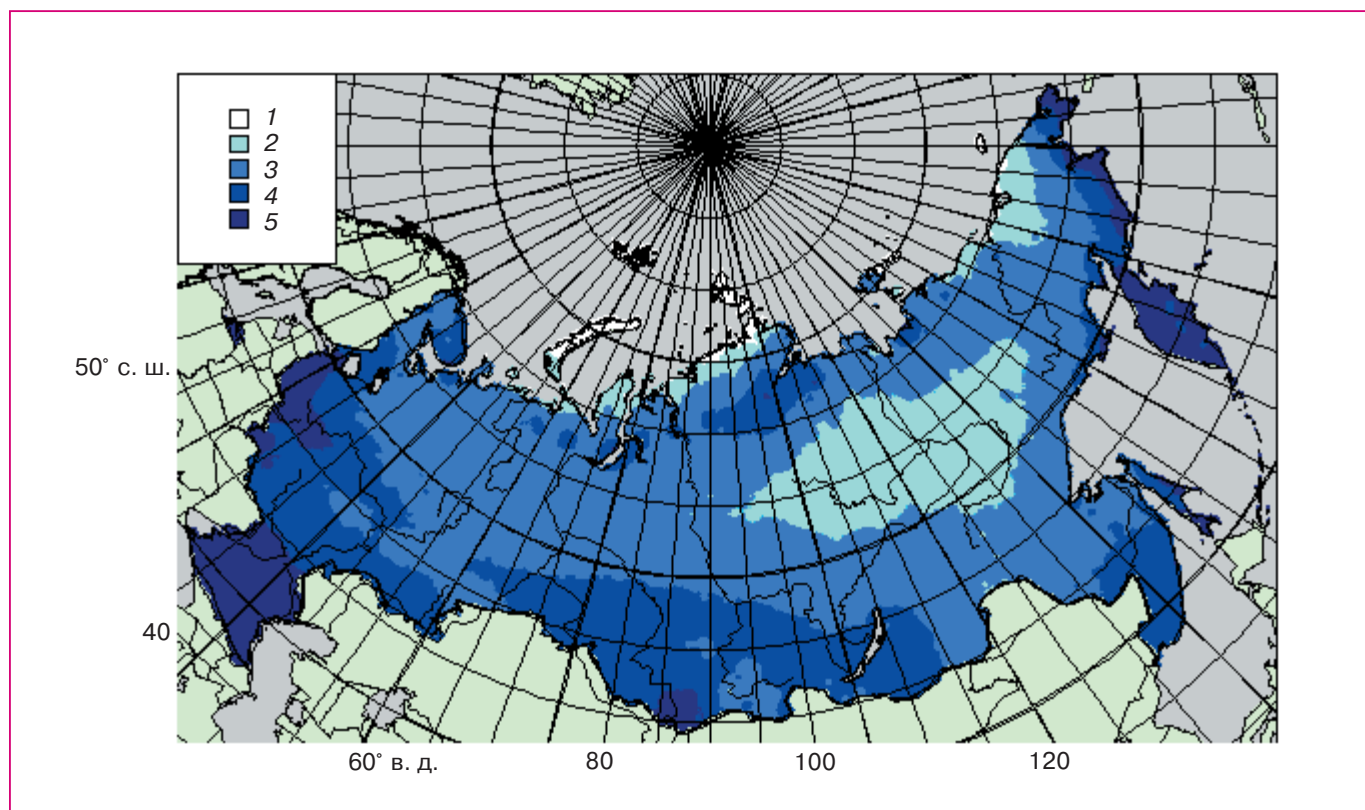


Рис. 3.2.3. Изменение (%) продолжительности отопительного периода на территории России к 2025 г. по сравнению с нормой 1961–1990 г. (Шерстюков, 2007). 1) 0...–1,9; 2) –2...–3,9; 3) –4...–5,9; 4) –6...–7,9; 5) –8...–10.

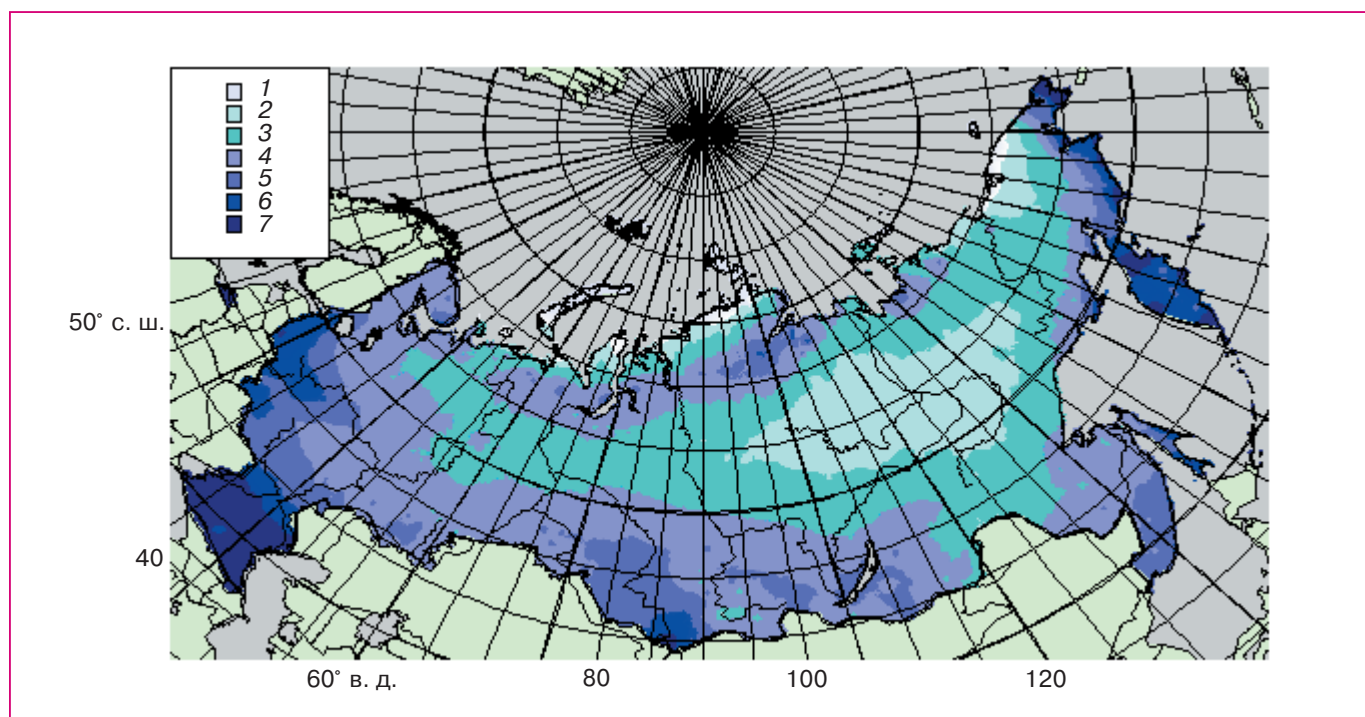


Рис. 3.2.4. Изменение (%) продолжительности отопительного периода на территории России к 2050 г. по сравнению с нормой 1961–1990 г. (Шерстюков, 2007). 1) 0...–3,9; 2) –4...–5,9; 3) –6...–7,9; 4) –8...–9; 5) –10...–11,9; 6) –12...–13,9; 7) –12...–14.

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

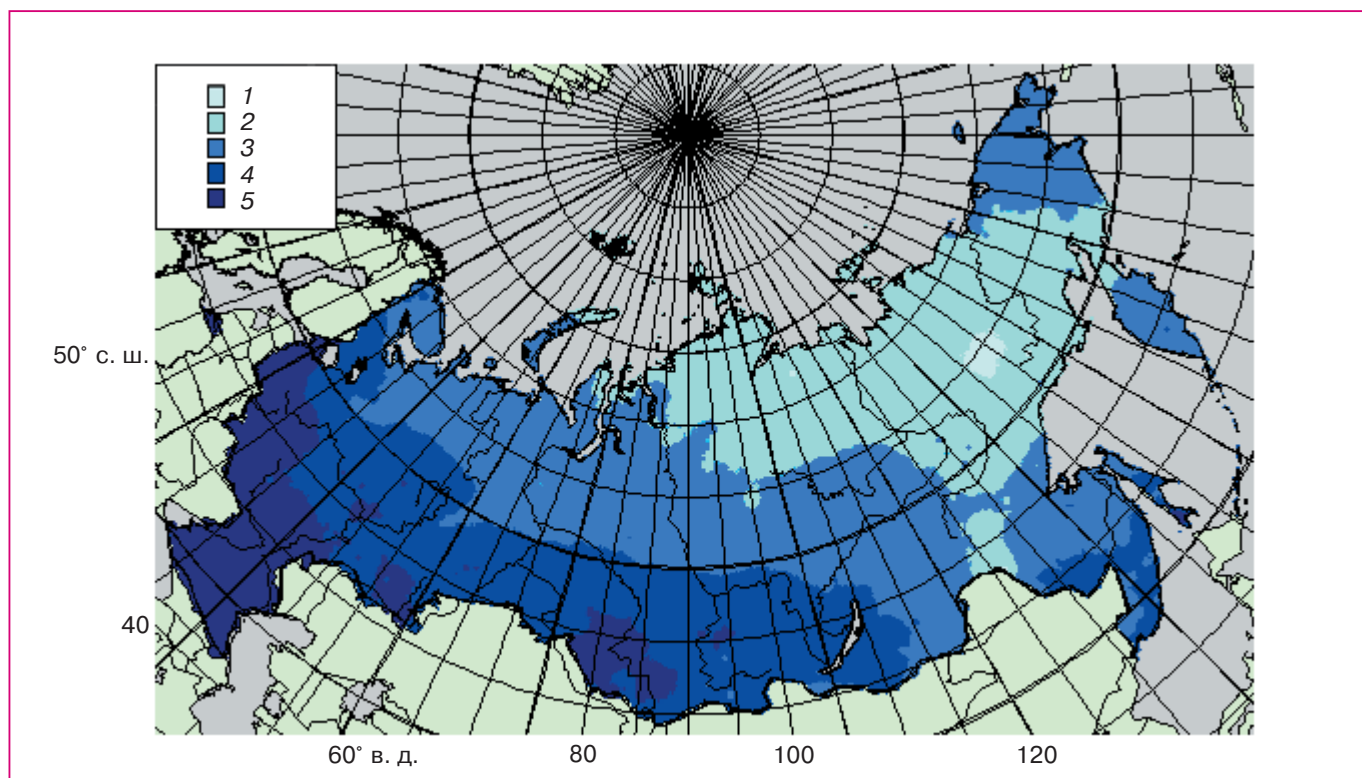


Рис. 3.2.5. Изменение (%) индекса потребления топлива на территории России к 2025 г. по сравнению с нормой 1961–1990 г. (Шерстюков, 2007). 1) –4...–5,9; 2) –6...–7,9; 3) –8...–9,9; 4) –10...–11,9; 5) –12...–14.

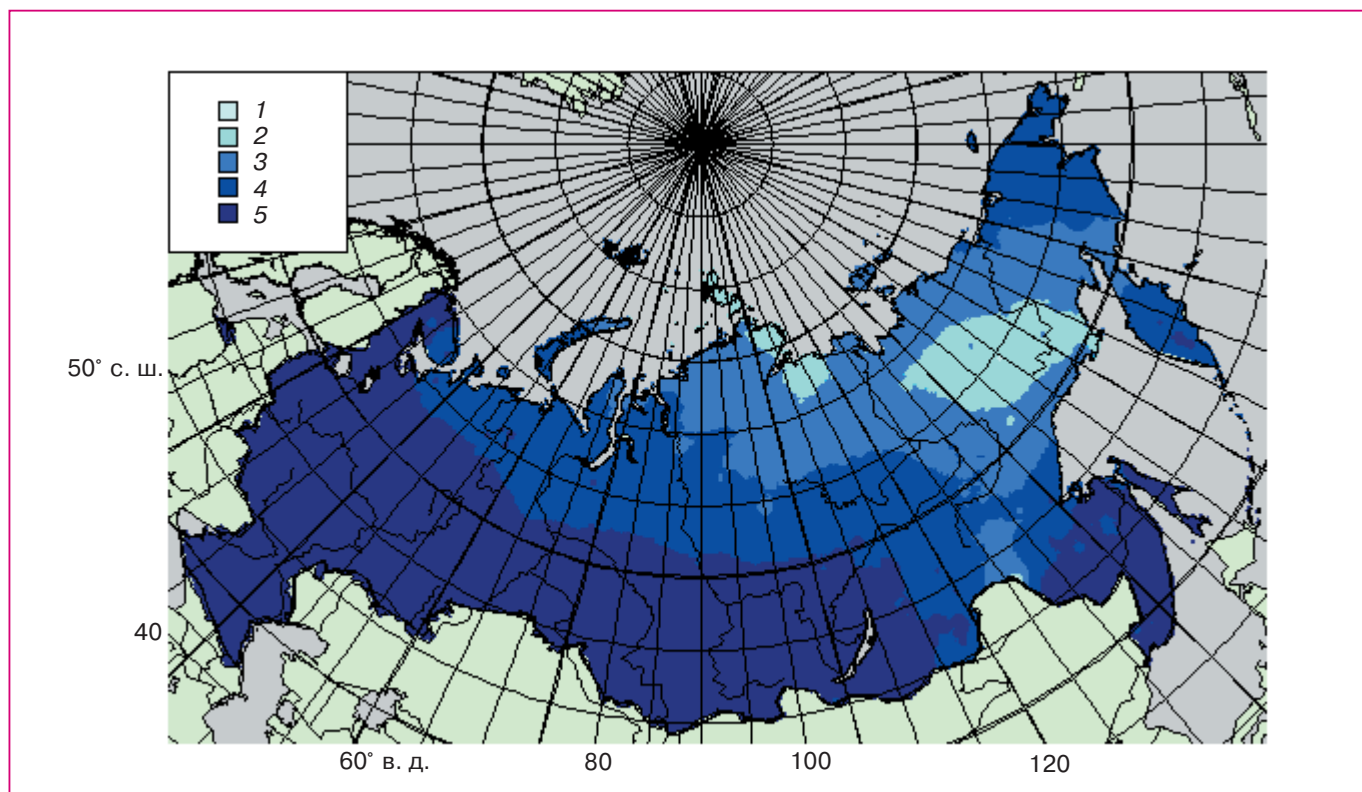


Рис. 3.2.6. Изменение (%) индекса потребления топлива на территории России к 2050 г. по сравнению с нормой 1961–1990 гг. (Шерстюков, 2007). 1) –6...–7,9; 2) –8...–9,9; 3) –10...–11,9; 4) –12...–13; 5) –14...–16.

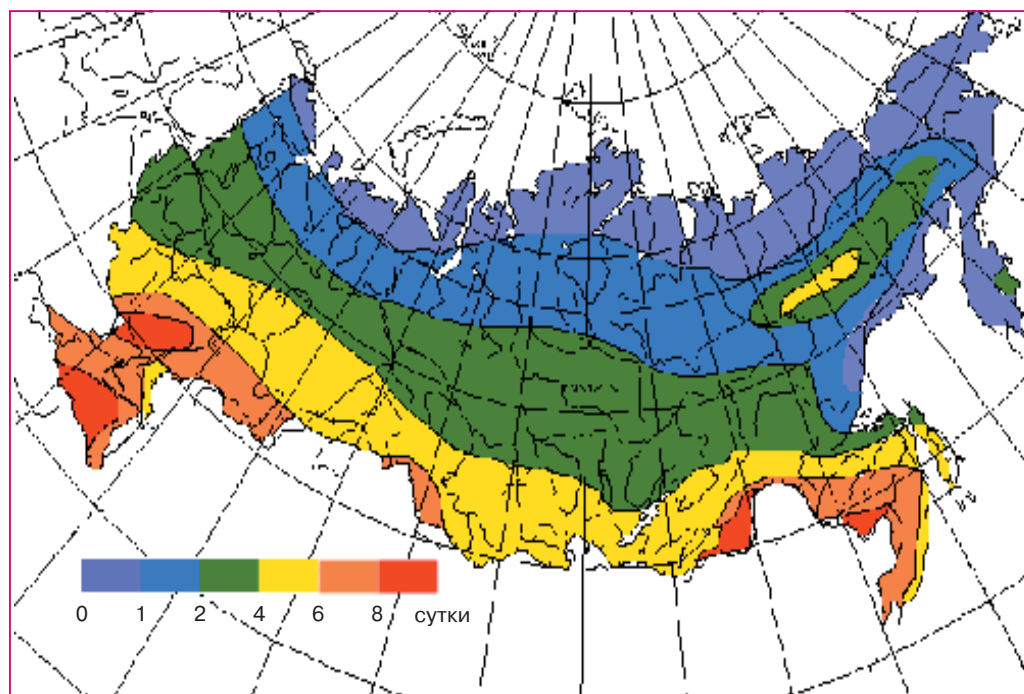


Рис. 3.2.7. Ожидаемое к 2015 г. увеличение максимальной продолжительности (сутки) периодов года с температурой выше 25°C (Материалы к стратегическому прогнозу..., 2005).

3.2.2. Механические воздействия на здания и сооружения

Увеличение повторяемости оттепелей и появление оттепелей в районах, где они ранее не наблюдались, приведет к сокращению долговечности зданий в северных районах в 2 раза (Кузнецов, Кобышева, 2004).

Вследствие изменения режима осадков и температуры воздуха в приповерхностном слое атмосферы существенно изменится режим накопления и таяния снега. Снеговые нагрузки должны существенно увеличиться на северной части территории России. Увеличение нагрузок, превышающих предусмотренные проектом, приведет к дополнительному риску разрушения зданий и сооружений.

Гололедные нагрузки в Северо-Западном федеральном округе увеличатся незначительно, так как здесь преобладает кристаллическая изморозь, и, хотя при потеплении повторяемость более плотных отложений увеличится, уменьшение скорости ветра не будет благоприятствовать росту плотных отложений. Аналогичная картина будет наблюдаться в Центральном, Уральском и в Сибирском федеральных округах. Гололедная нагрузка должна значительно увеличиться в Южном, Приволжском и Дальневосточном федеральных округах. На Дальнем Востоке произойдет увеличение отложения мокрого снега, и поэтому здесь возможно увеличение гололедной нагрузки, особенно значительное в прибрежных районах.

Ветровые нагрузки будут почти повсеместно уменьшаться. Судя по тенденциям уменьшения средних скоростей ветра последнего десятилетия XX века, увеличение ветровых нагрузок возможно лишь в некоторых районах Восточной Сибири (рис. 3.2.8).

Увеличение межледных расходов и уровней воды в реках в условиях уменьшения промерзания почвогрунтов будет способствовать повышению уровня грунтовых вод и подтоплению равнинных территорий Европейского севера, северо-запада и Верхней Волги, что приведет к серьезным негативным последствиям, в частности к ускорению деформации и разрушению фундаментов разного рода зданий и технических сооружений.

Главная опасность подтоплений состоит в воздействии на фундаменты и ослаблении несущей способности окружающих их грунтов, что со временем может вызывать деформацию зданий и технических сооружений (вплоть до разрушения). Заметим, что от подтопления серьезно страдают ценнейшие исторические памятники и архитектурные ансамбли Русского севера и Золотого кольца (Государственный доклад..., 2006).

Водонасыщение грунтов негативно скажется на их технических свойствах, что затруднит производство строительных работ и эксплуатацию сооружений, приведет в конечном итоге к существенному росту эксплуатационных расходов. Подтопление городов, расположенных на лессовых породах, вызовет просадки. В лессах они

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

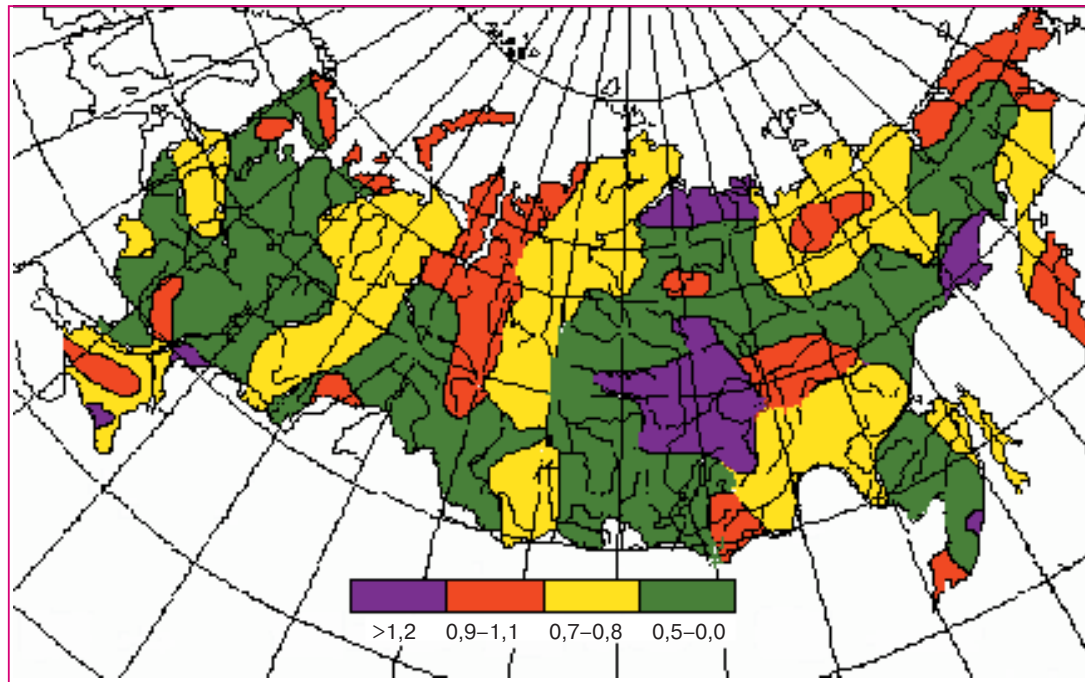


Рис. 3.2.8. Отношение ветровой нагрузки за последнее десятилетие XX века к ее среднему многолетнему значению в 1961–2000 гг. (Материалы к стратегическому прогнозу..., 2005).

возникают даже при незначительном (2–5%) увеличении влажности. Их величина может меняться в широких пределах — от 0,1 до 2,5–3 м. Просадки лессовых грунтов, оседание поверхности земли вызывают деформацию зданий и технических сооружений и последующее их разрушение. Такие тенденции уже наметились. Так, в Запорожье от просадок лессов уже деформировано 900 зданий.

Изменение гидрогеологических условий в связи с подтоплением приводит к трансформации карстовых процессов. Техногенный карст отличается от природного меньшей глубиной и площадью распространения, большей скоростью развития и интенсивностью проявления карстовых форм. Он может возникать там, где раньше не проявлялся, но где имеются растворимые горные породы. Формы проявления техногенного карста самые различные — от повышенной трещиноватости и кавернозности до возникновения провалов.

В России проложено около 50 тыс. км нефтепроводов и около 150 тыс. км газопроводов, пересекающих многие сотни и тысячи рек. Безаварийная эксплуатация переходов трубопроводов через реки во многом определяется деформациями дна и берегов реки, которые в свою очередь зависят от режима речного стока. Ожидаемые в связи с изменением климата увеличение годового и сезонного стоков, изменение ледового режима могут интенсифицировать размыв русел и приве-

сти к более раннему наступлению аварийных ситуаций на подводных участках трубопроводов, к созданию предпосылок экологических катастроф при разрыве трубопроводов и разливе нефти и выбросе газа. Ситуация обостряется тем, что многие трубопроводы построены еще до 1980-х годов, и проектный срок их эксплуатации, рассчитанный для условий стационарного климата, практически заканчивается.

Места наиболее проблемных подводных переходов трубопроводов расположены в Приволжском федеральном округе в бассейнах Верхней и Средней Волги, на малых и средних реках (области Нижегородская, Оренбургская, Самарская, Саратовская, Ульяновская, Пермский край, Республики Башкортостан, Марий Эл, Мордовия, Татарстан, Удмуртия и Чувашия); во всех субъектах Российской Федерации Южного федерального округа; в Тюменской области Уральского федерального округа; в Красноярском крае, в областях Новосибирская, Омская, Томская, Иркутская Сибирского федерального округа; в Хабаровском крае и в Сахалинской области Дальневосточного федерального округа.

3.2.3. Сухопутный транспорт

В связи с дальнейшим потеплением при учащении заморозков и оттепелей увеличится повторяемость гололедицы на дорогах. Прежде всего, это относится к большей части территории Севе-

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

ро-Западного, Центрального, Уральского и Приволжского федеральных округов, а также к центральным частям Сибирского и Дальневосточного федеральных округов.

В высоких широтах в отдельные месяцы начала и конца зимы могут таять “зимники”, создавая опасность для движения по дорогам.

На юге Уральского и Сибирского федеральных округов возможно увеличение повторяемости пыльных бурь, а также схода снежных лавин, что также увеличивает риски для наземного транспорта.

3.2.4. Состояние зданий и сооружений в районах многолетней мерзлоты

В связи с ожидаемым потеплением на территории России в XXI веке серьезную опасность может представлять дальнейшее уменьшение прочности и ослабление несущей способности фундаментов из-за деградации многолетнемерзлых грунтов (далее называемых многолетней мерзлотой). Так, по данным работы (Weller and Lange, 1999), их несущая способность будет заметно уменьшаться при увеличении температуры воздуха в приповерхностном слое атмосферы в диапазоне от 0,5

до 2,0°C по отношению к значениям конца XX века. Это приведет, в частности, к уменьшению ресурса фундаментов зданий и сооружений в некоторых районах Крайнего Севера (табл. 3.2.1).

Оценка возможных региональных проявлений этой тенденции выполнена с помощью индекса геокриологической опасности I_r (см. раздел 3.1.2). При расчете индекса геокриологической опасности были использованы данные о современных месячных нормах температуры воздуха и осадков, данные о процентном содержании льда в мерзлом грунте (один из входных параметров для оценки) в узлах регулярной сетки с шагом $0,5 \times 0,5^\circ$, а также перспективные оценки изменения температуры и осадков для середины XXI века, полученные по нескольким климатическим моделям. Методика расчетов, исходные данные и результаты описаны в ряде публикаций (Nelson et al., 2001, 2002; Анисимов, Белолуцкая, 2002; Анисимов, Лавров, 2004). Данные о процентном содержании льда в мерзлом грунте представляют собой электронный вариант геокриологической карты Международной ассоциации мерзлотоведения (Brown et al., 1997).

На рис. 3.2.9 приведена перспективная оценка геокриологической опасности, связанной с таяни-

Таблица 3.2.1. Уменьшение ресурса фундаментов строений в зависимости от года постройки по данным Л. Н. Хрусталева, опубликованным в работе (Weller and Lange, 1999)

Год постройки	Доля построек, выработавших свой ресурс прочности, %				
	1990	2000	2010	2020	2030
Воркута					
1950	10	18	39	44	60
1960	9	17	31	43	60
1970	7	15	29	42	59
1980	3	12	26	40	57
1990	0	9	24	38	56
Тикси					
1950	9	23	63	90	98
1960	7	20	62	90	98
1970	4	18	61	90	98
1980	2	16	60	90	98
1990	0	14	60	90	98
Якутск					
1950	8	28	72	94	100
1960	6	27	72	94	100
1970	4	25	71	94	100
1980	2	24	71	94	100
1990	0	22	70	94	100

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

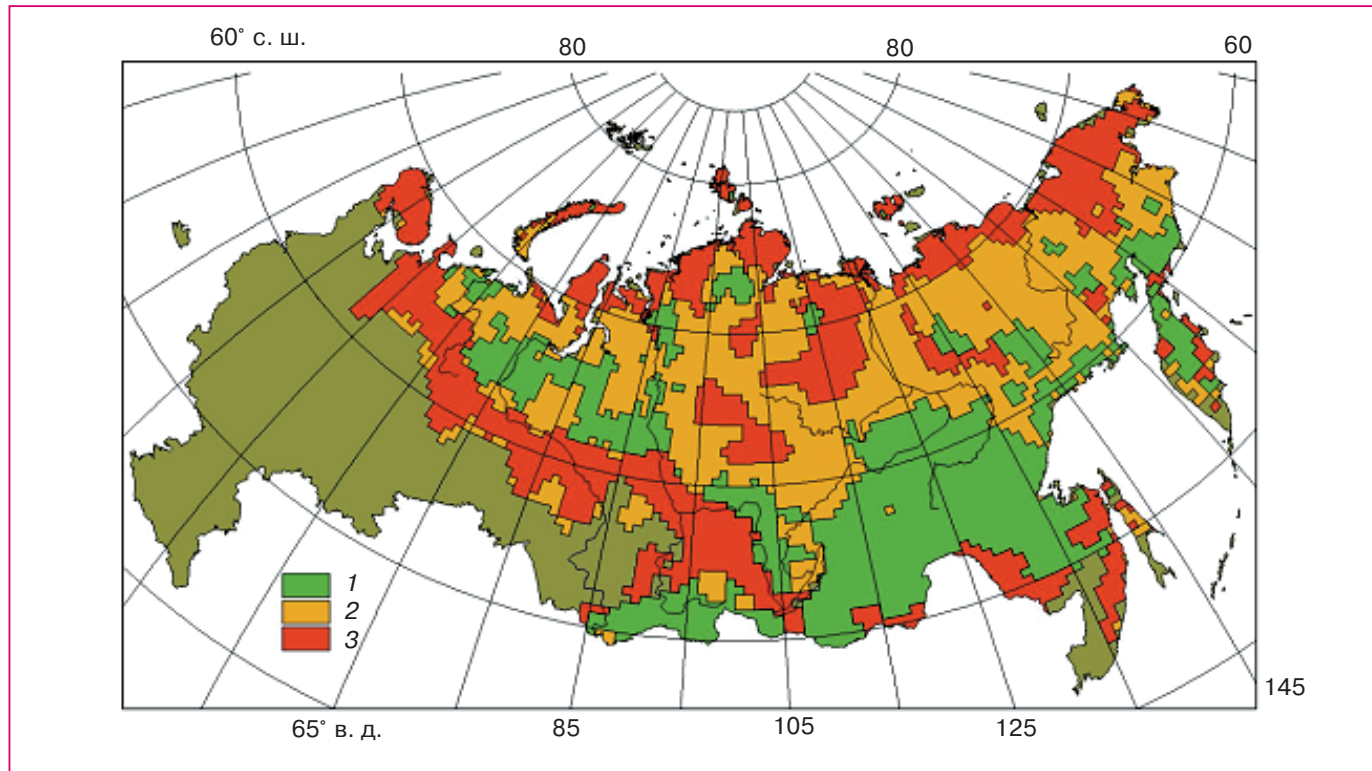


Рис. 3.2.9. Перспективная оценка геокриологической опасности, связанной с таянием многолетней мерзлоты, для середины XXI века; использованы сценарий В1 и климатическая модель GFDL. 1 — устойчивая область, 2 — зона умеренных рисков, 3 — зона высокой геокриологической опасности.

ем многолетней мерзлоты и угрозой повреждения стоящих на ней зданий и сооружений. Расчет для середины XXI века проводился с использованием сценария В1 и модели GFDL. При использовании других известных сценариев антропогенного воздействия на глобальный климат и моделей получаются близкие результаты.

В область наибольших значений индекса геокриологического риска попадают Чукотка, бассейны верхнего течения Индигирки и Колымы, юго-восточная часть Якутии, значительная часть Западно-Сибирской равнины, побережье Карского моря, Новая Земля, а также часть островной мерзлоты на севере европейской территории. В этих районах имеется развитая инфраструктура, в частности газо- и нефтедобывающие комплексы, система трубопроводов Надым — Пур — Таз на северо-западе Сибири, Билибинская атомная станция и связанные с ней линии электропередач от Черского на Колыме до Певека на побережье Восточно-Сибирского моря.

Деграляция многолетней мерзлоты на побережье Карского моря может привести к значительному усилению береговой эрозии, в результате которой в настоящее время берег ежегодно отступает (см. раздел 2.8). Особую опасность представляет ослабление многолетней мерзлоты на Новой Зем-

ле в зонах расположения хранилищ радиоактивных отходов. В то же время на обширных территориях Якутии и Западной Сибири запас надежности инженерных сооружений и построек на многолетней мерзлоте, рассчитанных на эксплуатацию в современных климатических условиях, уменьшится незначительно.

В северной части зоны высокого риска наибольшую опасность представляет возможное повреждение фундаментов домов и сооружений на многолетней мерзлоте из-за уменьшения ее несущей способности.

В южной части зоны высоких рисков потенциальные опасности связаны главным образом с возможными неравномерными просадками грунта за счет таяния льда и выносом протаивающего материала с образованием термокарстовых просадочных воронок. Наибольшую опасность это представляет для линейных сооружений (дорог, взлетно-посадочных полос, трубопроводов), пересекающих участки с интенсивным развитием термокарста.

Все сказанное относится также и к районам умеренной геокриологической опасности, при этом интенсивность и пространственные масштабы деструктивных процессов в них будут меньше.

3.2.5. Литература

- Александрова А. А., 2006.** Климатологическое обеспечение теплового режима зданий на северо-западе Европейской территории России, Автореферат на соискание ученой степени кандидата географических наук, СПб, 25 с.
- Анисимов О. А., 1999.** Влияние антропогенного изменения климата на обогрев и кондиционирование зданий, Метеорология и гидрология, № 6, с. 10–17.
- Анисимов О. А., Белолуцкая М. А., 2002.** Оценка влияния изменения климата и деградации вечной мерзлоты на инфраструктуру в северных регионах России, Метеорология и гидрология, № 6, с. 15–22.
- Анисимов О. А., Лавров С. А., 2004.** Глобальное потепление и таяние вечной мерзлоты: оценка рисков для производственных объектов ТЭК, Технологии ТЭК, № 3, с. 78–83.
- Государственный доклад “О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2005 году”, 2006.** М., АНО “Центр международных проектов”, 500 с.
- Ефимова Н. А., Байкова И. М., Лаперье В. С., 1992.** Влияние потепления климата на режим отопления зданий, Метеорология и гидрология, № 12, с. 95–98.
- Ефимова Н. А., Байкова И. М., 1994.** Влияние потепления зимних сезонов на расход топлива, Метеорология и гидрология, № 5, с. 91–93.
- Кузнецов Е. П., Кобышева Н. В., 2004.** Качество теплоснабжения городов, СПб, ПЭИПК, 293 с.

- Материалы к стратегическому прогнозу изменений климата Российской Федерации на период до 2010–2015 гг. и их влияние на отрасли экономики России, 2005.** М., Росгидромет, 28 с.
- Шерстюков Б. Г., 2007.** Климатические условия отопительного периода в России в XX и XXI веках, Труды ГУ ВНИИГМИ-МЦД, вып. 173, с. 163–170.
- Brown J., Ferrians O. J., Heginbottom J. A., and Melnikov E. S., 1997.** Circum-Arctic map of permafrost and ground ice conditions, Circum-Pacific Map Series.
- Instanes A., Anisimov O., Brigham L., Goering D., Ladanyi B., Larsen J. O., and Khrustalev L. N., 2005.** Infrastructure: Buildings, support systems, and industrial facilities, in: Arctic Climate Impact Assessment, ACIA, Ch. 16, Cambridge, Cambridge University Press.
- Nelson F. E., Anisimov O. A., and Shiklomanov N. I., 2001.** Subsidence risk from thawing permafrost, Nature, No. 410, pp. 889–890.
- Nelson F. E., Anisimov O. A., and Shiklomanov N. I., 2002.** Climate change and hazard zonation in the circum-Arctic permafrost regions, Natural Hazards, vol., 26, No. 3, pp. 203–225.
- Weller G. and Lange M. (eds.), 1999.** Impacts of global climate change in the Arctic regions, Report from a Workshop on the Impacts of Global Change, Center for Global Change and Arctic System Research, University of Alaska, Fairbanks, Tromse, Norway, 59 p.

3.3. СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО

Ведущий автор: О. Д. Сиротенко

Авторы: Е. В. Абашина, В. Н. Павлова, Е. Н. Попова, В. А. Романенков

Редактор-рецензент: А. И. Страшная

3.3.1. Общие замечания

Вопрос об оценке изменений климата для сельского хозяйства был поставлен еще в середине 1970 г. по инициативе М. И. Будыко и Ю. А. Израэля. В этой связи Г. В. Менжулиным (1984) и другими исследователями выполнен цикл методических и оценочных исследований, опирающихся на палеоклиматические сценарии изменения климата, которые не потеряли своего значения и в настоящее время (Будыко, Израэль, 1987; Будыко и др., 1991). В дальнейшем использовались главным образом сценарии, рассчитанные по моделям теории климата, а также привлекались динамические модели “Погода — урожай”, с помощью которых получены перспективные оценки влияния изменений климата на сельское хозяйство России (Сиротенко и др., 1990; Сиротенко, Абашина, 1994;

Сиротенко, Павлова, 1994; Сиротенко и др., 1995; Сиротенко, Абашина, 1998; Сиротенко, 2005).

Наиболее полной глобальной сводкой результатов исследований по проблеме является Третий оценочный доклад МГЭИК, вклад Рабочей группы II (Climate Change 2001, 2001). Имеющиеся там оценки развиты и уточнены во вкладе Рабочей группы II в Четвертый оценочный доклад МГЭИК (Climate Change, 2007, 2007а, 2007b). В последнее время появились также новые значительные оригинальные работы в этой области — по оценке влияния изменений климата на мировое сельское хозяйство (Lobell and Field, 2007) и для стран Европы и США (Александров, 2006).

3.3.2. Ожидаемые изменения агроклиматических ресурсов и продуктивности сельского хозяйства

Детальные данные о возможных изменениях агроклиматических условий на Европейской территории России к 2030 г. при реализации сценария

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

рия A1FI, предполагающего быстрое увеличение содержания CO₂ в атмосфере в результате интенсивного использования ископаемых видов топлива, представлены в табл. 3.3.1. Для расчета агроклиматических показателей, соответствующих этому сценарию, использовалась климатическая модель HadCM3. При реализации сценария A1FI ожидается существенное увеличение температуры воздуха как зимой, так и летом в приповерхностном слое атмосферы — на 3,7–3,8°C к 2030 г. Континентальность климата при этом практически не изменится. Содержание CO₂ в атмосфере к 2030 г. увеличится на 29% от уровня начала XXI века. Увеличение испарения за теплый период года значительно превысит рост осадков. Увеличение испаряемости приведет к значительному росту дефицита испарения (разности между потенциальным испарением и фактическим испарением).

В рамках рассматриваемого сценария увеличится повторяемость засух на ЕТР к 2030 г., о чем свидетельствует практически повсеместное уменьшение значений гидротермического коэффициента (ГТК). Это будет сопровождаться уменьшением влагозапасов почвы в теплый период года (см. табл. 3.3.1). Тем не менее ожидаемое уменьшение влагозапасов не затронет, по-видимому, засушли-

вых районов Поволжья, о чем свидетельствует некоторое увеличение минимальных влагозапасов почвы в этом регионе в июле.

Ожидаются следующие значимые для сельского хозяйства изменения агроклиматических показателей в среднем для ЕТР: продолжительность вегетационного периода увеличится на 26 суток, сумма температур больше 10°C за календарный год повысится на 778°C, годовая сумма осадков увеличится на 26 мм, увеличение фактического испарения составит 40 мм, а испаряемости — 140 мм за вегетационный период (см. табл. 3.3.1).

Рассмотренные выше изменения климата на ЕТР, описываемые моделью HadCM3, можно охарактеризовать как потепление аридного типа.

Однако на ЕТР возможно также изменение климата иного характера — потепление гумидного типа. Оно описывается региональной моделью климата ГГО (Школьник и др., 2006). Следует отметить, что наблюдаемые до настоящего времени изменения климата на территории России более соответствуют такому типу потепления. В табл. 3.3.2 приведены характеристики климата ЕТР в 2040 г., соответствующие потеплению аридного и гумидного типов. Приращение средней температуры воздуха в январе в обоих случаях отличается

Таблица 3.3.1. Изменения агроклиматических условий на ЕТР к 2030 г. — отклонения от условий последнего десятилетия XX века — при реализации сценария A1FI; климатическая модель — HadCM3 (Сиротенко, Грингоф, 2006)

Регион	Агроклиматические показатели								
	средняя температура воздуха, °C		сумма среднесуточных температур больше 10°C, °C	продолжительность вегетационного периода, сутки	сумма осадков за год, мм	испарение, мм		ГТК, мм/°C	влагозапасы почвы в июле, мм
	июль	январь				фактическое	потенциальное		
Северный	3,2	4,3	684	29	46	94	198	-0,42	-29
Северо-Западный	3,0	3,9	724	31	88	136	206	-0,28	-26
Калининградский	2,8	3,2	806	39	85	102	206	-0,34	-45
Центральный	3,4	3,9	748	29	48	43	157	-0,32	-25
Волго-Вятский	3,6	4,1	719	25	32	40	158	-0,22	-17
Центрально-Черноземный	3,9	3,9	841	27	53	6	104	-0,28	-10
Поволжье, север	3,9	3,9	788	24	30	12	104	-0,25	3
Поволжье, юг	3,8	3,8	837	22	36	15	74	-0,13	3
Северо-Кавказский	4,1	3,4	913	26	26	20	73	-0,11	-6
Уральский	3,9	3,8	759	24	21	34	165	-0,28	-15
ЕТР в целом	3,7	3,8	778	26	37	40	141	-0,25	-14

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

лишь на 0,4°C, тогда как повышение средней июльской температуры при аридном потеплении составляет 5,1°C, а при гумидном — 1,3°C. Гумидное потепление, предполагающее значительное уменьшение континентальности климата, гораздо более благоприятно для сельского хозяйства России, чем аридное (табл. 3.3.2).

Перспективные оценки возможных изменений урожайности зерновых и кормовых культур в XXI веке для разных вариантов гумидного и аридного потепления с учетом прямого влияния роста содержания CO₂ в атмосфере на продуктивность агроэкосистем представлены в табл. 3.3.3 и 3.3.4. Данные табл. 3.3.3 получены в рамках сценария удвоения концентрации CO₂ к концу XXI века по сравнению с уровнем конца XX века (для расчета климата будущего использована климатическая модель GFDL). Данные табл. 3.3.4 получены в рамках сценариев A1FI и B2 (в обоих случаях расчетная климатическая модель — HadCM3). Первые из этих данных можно рассматривать как верхние, а полученные в рамках сценария A1FI — как нижние границы ожидаемых изменений продуктивности растениеводства в соответствующих регионах.

При реализации потепления гумидного типа, благоприятного для сельского хозяйства России, следует ожидать роста урожайности, по крайней мере, до середины текущего столетия (Израэль, Сиротенко, 2003). В дальнейшем климатические условия для производства зерна, особенно на территории Черноземной зоны, по-видимому, будут ухудшаться. Климатообусловленная урожайность зерновых к концу столетия по сравнению с его серединой может снизиться до современного уровня или ниже. При этом урожайность зерновых на территории Нечерноземной зоны превысит современную на 11–29%, тогда как урожайность на территории Черноземной зоны будет ниже современного уровня на 10–13%, т. е. ожидается перераспределение урожайности в пользу Нечерноземной зоны. Наиболее значительным при этом ожидает-

ся снижение урожайности зерновых культур на юге Сибири — на 23–24%.

Потепление климата, оцениваемое как аридное, менее благоприятно для сельского хозяйства России. При реализации таких сценариев, как A1FI и B2, уже к 2010 г. (см. табл. 3.3.4) можно ожидать уменьшения климатообусловленной урожайности зерновых культур на 20–25% на Северном Кавказе и на 10–15% в Поволжье и на Урале. При этом (в отличие от гумидного потепления) в будущем не ожидается заметного климатообусловленного роста урожайности в целом на ЕТР. К 2010 г. дефицит производства зерна в России, равный 7–8%, будет только увеличиваться и к 2050 г. достигнет 16–17%. Обращает на себя внимание возможное значительное падение урожайности зерновых в основных зонах производства товарного зерна уже к 2010 г.

Для получения перспективных оценок влияния изменений климата на сельское хозяйство возможно также использовать метод агроклиматических аналогов (Сиротенко, Павлова, 2003), который применялся ранее для обоснования интродукции новых видов растений. В нем будущие климатические условия задаются в соответствии с результатами расчетов с помощью глобальных климатических моделей (HadCM3 и GFDL), на вход которых подаются определенные сценарии антропогенного воздействия на состав атмосферы. Агроклиматические условия характеризуются суммой температур больше 10°C за календарный год, дефицитом испарения за теплый период года и средней температурой самого холодного месяца. С помощью этих величин установлены современные агроклиматические аналоги для разных территорий с климатом 2020–2030 гг. и климатом 2050–2060 гг. Обнаружено, что современные аналоги рассматриваемых сценариев изменения климата “смещаются” с юго-запада на северо-восток Русской равнины.

В табл. 3.3.5 представлены агроклиматические аналоги областей и республик Российской Феде-

Таблица 3.3.2. Сравнительные оценки изменений климата при двух типах потепления

Тип потепления	Средняя температура воздуха, °C		Сумма среднесуточных температур больше 10°C, °C	Продолжительность вегетационного периода, сутки
	июль	январь		
Аридный (сценарий A1FI, климатическая модель HadCM3)	5,1	5,2	1094	34
Гумидный (региональная модель ГГО)	1,3	4,8	266	13

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

Таблица 3.3.3. Изменение урожайности сельскохозяйственных культур (% уровня последнего десятилетия XX века) при возможном увеличении содержания CO₂ в атмосфере и изменении климата (Израэль, Сиротенко, 2003)

Экономический район	XXI век, годы					
	30–40	60–70	90–100	30–40	60–70	90–100
	Зерновые культуры			Кормовые культуры		
Северный	26	24	13	22	32	31
Северо-Западный	22	12	22	21	24	30
Калининградский	34	25	29	22	22	20
Центральный	27	25	13	19	24	17
Волго-Вятский	20	26	11	21	30	19
Центрально-Черноземный	15	15	-7	20	24	7
Поволжье, север	16	19	-10	24	30	8
Поволжье, юг	7	30	20	5	14	1
Северо-Кавказский	-6	-7	-13	2	3	-7
Уральский	11	16	-7	14	28	17
Западно-Сибирский	-7	-1	-23	6	19	1
Восточно-Сибирский	-12	-18	-24	0	0	-4
Дальневосточный	10	12	5	6	13	7
Россия в целом	11	14	-1	13	21	11

Таблица 3.3.4. Изменение урожайности сельскохозяйственных культур (% уровня последнего десятилетия XX века) в первую половину XXI века при реализации сценариев A1FI и B2, модель HadCM3 (Сиротенко, Грингоф, 2006)

Регион ЕТР	Зерновые культуры					Кормовые культуры				
	2010	2020	2030	2040	2050	2010	2020	2030	2040	2050
Сценарий A1FI										
Северный	4,8	7,1	6,6	6,3	9,1	5,6	6,0	14,5	18,4	17,9
Северо-Западный	4,0	7,9	8,2	10,5	9,2	8,1	13,3	17,4	21,6	22,9
Центральный	-1,9	-0,8	0,2	-1,3	-6,7	1,0	3,4	5,0	4,6	-0,7
Волго-Вятский	-5,6	-6,8	-5,2	-8,2	-13,0	0,9	2,8	4,1	3,2	-0,9
Центрально-Черноземный	-6,9	-14,1	-19,1	-26,9	-34,0	-7,2	-7,5	-12,4	-19,3	-24,9
Поволжье, север	-12,9	-13,3	-13,9	-27,4	-40,0	-1,5	-2,6	-4,1	-9,6	-22,9
Поволжье, юг	-3,0	-1,3	2,2	1,0	3,1	-8,0	-8,7	-9,0	-11,5	-12,5
Северо-Кавказский	-22,1	-23,8	-26,4	-25,9	-19,0	-12,7	-14,4	-17,1	-21,3	-24,9
Уральский	-14,2	-15,9	-19,0	-26,4	-32,0	-1,5	-0,4	0,5	-1,5	-10,1
ЕТР в целом	-8,1	-8,6	-9,3	-13,2	-17,0	-2,0	-1,0	-0,4	-2,1	-7,4
Сценарий B2										
Северный	5,3	3,6	3,6	2,1	4,5	4,6	5,0	11,0	12,1	11,9
Северо-Западный	3,8	4,1	2,6	3,1	6,0	8,8	11,9	13,2	15,3	16,4
Центральный	-1,5	-1,8	-3,8	-4,8	-4,8	1,3	2,1	0,8	1,2	0,0
Волго-Вятский	-4,2	-9,4	-10,0	-11,4	-11,0	1,2	-0,9	-1,5	-1,3	-0,6
Центрально-Черноземный	-7,6	-13,8	-20,4	-24,4	-28,0	-7,4	-11,2	-16,0	-20,4	-24,0
Поволжье, север	-12,3	-12,4	-17,6	-26,4	-33,0	-2,8	-4,9	-8,4	-10,9	-15,0
Поволжье, юг	-4,6	-1,4	-2,3	-3,1	0,2	-8,5	-10,2	-14,1	-14,1	-14,0
Северный Кавказ	-19,6	-24,8	-28,1	-27,3	-26,0	-13,0	-16,9	-20,6	-23,2	-26,8
Уральский	-13,8	-17,9	-22,0	-26,2	-31,0	-1,3	-2,6	-4,4	-4,9	-6,3
ЕТР в целом	-7,7	-10,0	-12,8	-15,2	-16,0	-2,0	-3,2	-4,9	-5,4	-6,7

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

рации при изменении климата к 2020–2030 гг. (расчетная климатическая модель — HadCM3; сценарий существенного значения не имеет из-за “краткосрочности” перспективной оценки). Показатель K характеризует степень близости агроклиматических условий по указанным выше показателям. Из данных работы (Сиротенко, Павлова, 2003) следует, что при установлении климатических аналогов, согласно табл. 3.3.5, биоклиматический потенциал территории Нечерноземной зоны ЕТР увеличится в среднем на 23%. Максимальное увеличение продуктивности ожидается в Ленинградской области — на 36% при реализации там современного климата Ивано-Франковской области (Украина), наименьшее (на 10%) — в Тамбовской области при реализации там современных агроклиматических условий, характерных для Черкасской области (Украина).

Пространственно-временные аналоги будущих агроклиматических условий могут давать такую информацию о влиянии климата на сельское хозяйство, которую трудно или невозможно получить другими методами. Вместе с тем рассмотренный подход имеет ряд ограничений. Аналог по определению не полностью адекватен оригиналу, степень их отличия оценивается коэффициентом K . Поэтому при интерпретации полученных этим методом результатов необходимо проявлять опре-

деленную осторожность. Найденные пространственные аналоги будущих агроклиматических условий могут значительно отличаться от оригиналов по почвенным условиям, во многом определяющим эффективность современного сельскохозяйственного производства России, но влияние различий почвенных условий уменьшается по мере интенсификации земледелия.

3.3.3. Возможные изменения размещения сельскохозяйственных культур

При развитии глобального потепления создаются условия для изменения физико-географической зональности территории России (Сиротенко, Абашина, 1998). При дальнейшем глобальном потеплении (сценарий — удвоение концентрации CO_2 за XXI век, модели — GFDL и CCC) северная граница земледелия на ЕТР (определяется изолинией 1000°C для суммы среднесуточных значений температуры воздуха больше 10°C за календарный год) к середине XXI столетия приблизится к Арктическому побережью; оценка получена в предположении об удвоении концентрации CO_2 за XXI век. При этом площадь сельскохозяйственной зоны России увеличится на 4,7–4,8 млн. km^2 , т. е. примерно в 1,5 раза. Изолиния 2200°C для суммы температур больше 10°C определяет северную грани-

Таблица 3.3.5. Агроклиматические аналоги областей и республик Российской Федерации при изменении климата к 2020–2030 гг., модель HadCM3 (Сиротенко, Павлова, 2003)

Область, республика	будущие условия			Агроклиматический аналог			K	
				Область, республика	современные условия ³			
	$\sum_{T > 10^\circ\text{C}} T$, °C	ΔE , мм	T_{\min} , °C		$\sum_{T > 10^\circ\text{C}} T$, °C	ΔE , мм		T_{\min} , °C
Ленинградская	2054	61	-5,8	Ивано-Франковская	2134	66	-5,3	6,9
Новгородская	2247	94	-7,0	Могилевская	2214	97	-7,5	3,7
Ярославская	2228	131	-9,0	Брянская	2287	102	-8,1	14,3
Ивановская	2276	168	-9,9	Орловская	2241	252	-9,4	13,4
Московская	2411	189	-8,7	Курская*	2380	293	-8,8	12,6
Калужская	2512	142	-6,9	Черниговская	2480	142	-7,8	1,0
Рязанская	2711	340	-9,3	Липецкая	2427	325	-10,1	8,7
Марий Эл	2373	284	-11,6	Мордовия	2246	302	-12,0	5,0
Тамбовская	3010	417	-9,5	Волгоградская*	2966	586	-9,5	10,1
Пензенская	2733	399	-10,4	Тамбовская	2429	388	-11,1	7,2
Татарстан	2547	397	-11,6	Тамбовская	2429	388	-11,1	3,9
Башкортостан (север)	2523	441	-13,6	Самарская	2474	482	-13,6	3,3

Примечание. * — второй аналог: Орловская область, $\Delta E = 252$ мм; ** — второй аналог: Белгородская область, $\Delta E = 430$ мм. $\sum_{T > 10^\circ\text{C}} T$ — сумма среднесуточных значений температуры воздуха больше 10°C ; ΔE — дефицит испарения; T_{\min} — температура самого холодного месяца года.

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

цу той территории, где в 90% лет могут созревать ранние сорта кукурузы, т. е. возможно интенсивное земледелие. В России площадь таких земель значительно меньше, чем в США, например. При удвоении содержания CO_2 в атмосфере за XXI век площадь земель с суммой температур больше 10°C от 2000 до 3000°C увеличится с 1,5 до 7,2 млн. km^2 , т. е. почти в 5 раз. Более того, на территории России появится зона (площадью не менее 1 млн. km^2), где сумма температур больше 10°C превысит $3400\text{--}3600^\circ\text{C}$. Здесь может быть создана база субтропического земледелия (как в Узбекистане и Азербайджане).

Уже к 2010 г. граница территории, где по климатическим условиям можно выращивать среднеспелые сорта кукурузы на зерно и позднеспелые сорта подсолнечника, продвинется к северу до широты Москва — Владимир — Йошкар-Ола — Челябинск, что соответствует положению изолинии 2500°C для суммы температур больше 10°C . Окажется возможным расширение посевов сахарной свеклы до линии Иваново — Ижевск — Курган. Увеличение тепловых ресурсов на Северном Кавказе к 2010 г. создаст предпосылки для промышленного возделывания хлопчатника, позднеспелых сортов винограда, арахиса, а также ряда ценных технических эфиромасличных культур.

При удвоении содержания CO_2 в XXI веке площадь земледельческой зоны России увеличится примерно в 1,5 раза, а площадь земель, пригодных для высокопродуктивного земледелия (которых в России значительно меньше, чем в США, например), увеличится в несколько раз. Таким образом, дальнейшее глобальное потепление может благоприятно сказаться на возможностях производства продовольствия в России.

В России сосредоточено 8% мировых площадей посевов зерновых культур, однако производство зерна составляет 4% мирового производства, что связано с низкой урожайностью зерновых культур — она в 1,7 раза ниже среднемирового уровня, в 3 раза ниже, чем в США. Вместе с тем сельское хозяйство России по нереализованной доле своего современного биоклиматического потенциала превосходит страны Европейского Союза в 2–3 раза. Особенно велика доля неиспользованных климатических ресурсов в сельском хозяйстве Нечерноземной зоны России.

3.3.4. Ожидаемые изменения биоклиматического потенциала и углеродного режима пахотных почв

Моделирование углеродного режима пахотных почв в рамках имитационной системы “Климат — почва — урожай” позволило оценить влияние ожидаемых изменений климата на углеродный ба-

ланс пахотных почв Нечерноземной зоны России (Сиротенко и др., 2005).

Из четырех групп сценариев антропогенного воздействия на будущий климат — A1, A2, B1 и B2, рекомендуемых МГЭИК (Special Report on Emission Scenarios, 2000; Climate Change 2001, 2001), выбрана сюжетная линия A1FI, предполагающая быстрое увеличение содержания CO_2 в атмосфере — до 567 млн^{-1} в 2050 г., что превышает уровень 1990 г. на 61%. Характеристики будущих климатов, соответствующих этим сценариям, были рассчитаны с помощью модели HadCM3.

Рассчитанные для этих условий изменения биоклиматического потенциала (БКП, характеризует первичную биологическую продуктивность агроэкосистем) и коэффициента увлажнения Чиркова (КУ) для Нечерноземной зоны России приведены в табл. 3.3.6. Результаты этих расчетов указывают на рост обусловленной климатом продуктивности сельского хозяйства Нечерноземной зоны России. Увеличение БКП к 2050 г. может составить 30–45% уровня 1990 г. для значительной части территории Нечерноземной зоны. Уменьшение БКП до 5–7% ожидается лишь на южных и юго-восточных ее границах.

Как показывают данные табл. 3.3.6, увеличение БКП будет сопровождаться некоторым уменьшением влажности почвы. Особенно сильно это проявится на территории Северного и Северо-Западного экономических районов, где часто наблюдается переувлажнение пахотных земель. Уменьшение увлажненности улучшит условия сельскохозяйственного производства практически на всей территории региона.

Изменение климата, ожидаемое в рамках рассматриваемого сценария, увеличит приходную и уменьшит расходную составляющие углеродного баланса пахотных почв Нечерноземной зоны. Увеличение приходной составляющей ожидается в результате увеличения биологической продуктивности, а уменьшение расходной — как следствие уменьшения влажности почвы и замедления в связи с этим процессов разложения гумуса и других органических веществ в почве.

В табл. 3.3.7 представлены необходимые доли посевов многолетних трав в севооборотах и дозы органических удобрений, обеспечивающие бездефицитный баланс органического углерода как для современного климата (1990 г.), так и для условий 2010, 2030 и 2050 гг. При потеплении климата (сценарий A1FI, расчетная климатическая модель HadCM3) снижается уровень насыщенности севооборотов многолетними травами, который необходим для поддержания стационарного состояния (в частности состава) пахотных почв. Особенно значительные изменения условий сохранения плодородия почв ожидаются на территории

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

Таблица 3.3.6. Изменение биоклиматического потенциала и увлажнения территории Нечерноземной зоны России при изменении климата в XXI веке, сценарий A1FI, модель HadCM3 (Сиротенко и др., 2005)

Субъект Российской Федерации	Изменение БКП, %			Изменение коэффициента увлажнения КУ, мм/°С			
	Годы						
	2010	2030	2050	1990	2010	2030	2050
Калининградская	110	118	127	0,89	0,84	0,76	0,75
Ленинградская	114	130	145	0,72	0,62	0,62	0,58
Псковская	115	124	134	0,76	0,69	0,69	0,63
Новгородская	110	120	133	0,76	0,69	0,67	0,65
Вологодская, восток	117	122	138	0,74	0,62	0,58	0,59
Вологодская, запад	116	128	143	0,75	0,64	0,61	0,61
Калининская	112	120	132	0,72	0,64	0,61	0,61
Ярославская	111	125	132	0,70	0,60	0,59	0,60
Костромская, восток	117	127	135	0,71	0,60	0,58	0,59
Костромская, запад	115	125	133	0,67	0,59	0,56	0,59
Ивановская	111	123	127	0,60	0,54	0,52	0,57
Смоленская	110	120	124	0,72	0,65	0,65	0,62
Московская	109	116	120	0,62	0,54	0,54	0,55
Владимирская	109	115	116	0,54	0,48	0,48	0,50
Калужская	108	116	118	0,67	0,60	0,61	0,59
Тульская	110	113	107	0,50	0,46	0,47	0,48
Рязанская	100	110	95	0,44	0,43	0,43	0,45
Брянская	107	112	110	0,56	0,55	0,55	0,53
Орловская	103	106	95	0,50	0,49	0,48	0,49
Кировская, север	112	124	138	0,68	0,58	0,53	0,54
Кировская, юг	115	121	120	0,54	0,48	0,47	0,49
Нижегородская, север	107	116	120	0,56	0,50	0,49	0,51
Нижегородская, юг	106	113	100	0,49	0,47	0,46	0,47
Марий Эл	108	108	109	0,50	0,45	0,45	0,46
Чувашская	103	110	98	0,46	0,43	0,41	0,46
Мордовская	98	100	93	0,45	0,43	0,44	0,45
Удмуртская	109	111	104	0,50	0,45	0,44	0,45
Пермский край, север	113	128	135	0,68	0,59	0,54	0,53
Пермский край, юг	117	120	125	0,58	0,50	0,48	0,50
В среднем	110	118	121	0,62	0,56	0,54	0,55

Калининградской области. Необходимая насыщенность севооборотов многолетними травами на территории этой области может уменьшиться почти в 2 раза — с 45% в 1990 г. до 24% в 2050 г. По сравнению с 1990 г. к 2050 г. в Московской и Ленинградской областях необходимая для поддержания плодородия почв доля посева многолетних трав в севообороте в результате изменений климата может быть снижена с 57 и 53% до 40 и 44% соответственно. Из данных табл. 3.3.7 также видно, что при дальнейшем глобальном потеплении дозы органических удобрений, необходимые для поддержания бездефицитного баланса органического углерода почвы и нулевого нетто-потока CO₂ из почвы в атмосферу, уменьшатся в среднем в два раза.

Полученные в этом разделе оценки позволяют сделать следующие выводы:

— пахотные почвы Нечерноземной зоны России при интенсивном земледелии могут быть трансформированы из источника в сток атмосферного углерода. Для достижения нулевого нетто-потока CO₂ из пахотных почв в атмосферу необходимо увеличить насыщенность севооборотов многолетними травами, снизив соответственно долю пропашных культур;

— увеличение теплообеспеченности и уменьшение переувлажненности Нечерноземной зоны приведет к улучшению условий сельскохозяйственного производства. Ожидается повышение обусловленной климатом продуктивности пахотных земель Нечерноземной зоны в среднем

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

Таблица 3.3.7. Условия бездефицитного баланса органического углерода в почве и нулевого нетто-потока CO₂ из почвы в атмосферу для пахотных почв Нечерноземной зоны России при изменении климата в XXI веке, сценарий A1FI, модель HadCM3 (Сиротенко и др., 2005)

Субъект Российской Федерации	Необходимая доля посева многолетних трав в севообороте, %				Необходимая доза органических удобрений, т/га в год			
	1990	2010	2030	2050	1990	2010	2030	2050
Калининградская	45	39	33	24	4	2	1	0
Ленинградская	57	52	46	40	15	8	4	2
Псковская	53	47	42	37	9	4	3	1
Новгородская	53	49	45	39	9	6	4	2
Вологодская, восток	59	53	51	46	18	9	7	4
Вологодская, запад	58	53	48	42	16	8	5	3
Калининская	54	49	46	40	10	6	4	2
Ярославская	56	52	46	43	12	8	4	3
Костромская, восток	59	53	50	47	18	9	6	4
Костромская, запад	59	53	50	47	17	9	6	4
Ивановская	56	52	48	46	13	8	5	4
Смоленская	51	46	41	39	7	4	2	2
Московская	53	49	46	44	8	5	4	3
Владимирская	54	50	48	47	9	6	5	5
Калужская	49	46	42	41	6	4	3	2
Тульская	52	48	47	49	8	5	4	6
Рязанская	52	52	48	54	8	8	5	10
Брянская	47	44	41	42	5	3	2	2
Орловская	49	47	46	51	6	5	4	7
Кировская, север	60	56	52	47	20	12	8	5
Кировская, юг	58	53	51	51	16	8	7	7
Нижегородская, север	54	51	48	46	10	7	5	4
Нижегородская, юг	54	51	48	54	9	7	5	9
Марий Эл	55	52	51	51	11	8	7	7
Чувашская	53	52	49	54	9	8	6	10
Мордовия	53	53	53	56	9	9	8	12
Удмуртская	56	53	52	55	13	9	8	11
Пермский край, север	63	58	53	51	27	16	9	7
Пермский край, юг	59	53	52	50	17	9	8	6
В среднем	54,5	50,6	47,4	46,0	11,7	7,3	5,1	5,0

на 10, 18 и 21% к 2010, 2030 и 2050 гг. соответственно;

— ожидаемые изменения климатических условий будут способствовать увеличению приходной части углеродного баланса пахотных почв (в результате увеличения продуктивности агроэкосистем) и уменьшению расходной составляющей (в результате уменьшения влажности почвы и замедления процессов разложения органических веществ). В результате этого устойчивое развитие сельского хозяйства, которому соответствует бездефицитный баланс органического углерода и нулевой нетто-поток CO₂ из почвы в атмосферу, будет достигаться при меньших экономических затратах.

3.3.5. Воздействие ожидаемых изменений климата на вредителей сельскохозяйственных растений

В предыдущих разделах обсуждалось влияние ожидаемых изменений климата на продукцию растениеводства в России, которое оказалось в основном положительным. Однако это касается воздействия меняющегося климата на первичную продукцию агроэкосистем, которой человек вынужден “делиться” с консументами-фитофагами, в том числе с насекомыми-фитофагами. Многие из них являются существенно климатозависимыми организмами, и если изменения климата в будущем окажутся для них благоприятными, то увеличение первичной продукции агроэкосистем мо-

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

жет не привести к приросту урожая или же этот прирост окажется меньше ожидаемого вследствие того, что насекомые-вредители потребят больше продукции биомассы растений. Учет этого фактора — сложная проблема. В данном разделе будут кратко рассмотрены лишь два частных, но важных вопроса — влияние ожидаемых изменений климата на саранчовых и на колорадского жука.

3.3.5.1. Изменения климата и распространение саранчовых

Миграция и массовое размножение саранчовых — процессы, существенно зависящие от погоды. Тем самым их ареал, долговременный уровень численности, цикличность вспышек массового размножения и депрессий в значительной степени определяются климатом и меняются вместе с ним. Проблема погода — состояние популяций саранчовых детально изучалась отечественными специалистами (Предтеченский, 1930; Рубцов, 1935; Винокуров, 1949; Цыпленков, 1970; Сафарова, 1987; Ермаков, 1998; Столяров, 2000, 2005).

Потепление климата во многих обширных регионах Палеарктики, в том числе и в России, особенно проявившееся в конце XX века и ожидаемое в XXI веке в соответствии со многими сценариями, способствует резким изменениям характера атмосферной циркуляции, резким колебаниям температуры и суммы осадков, способствует увеличению частоты и продолжительности экстремальных метеорологических явлений (Climate Change 2007, 2007a, 2007b).

И при аридном, и при гумидном потеплении на территории России в XXI веке темпы опустынивания (сейчас площадь пустынь ежегодно увеличивается на 6 млн. га) могут не снизиться, как и продолжительность и интенсивность засух (Столяров, 2000, 2005; Золотокрылин, 2003, 2005). При сохранении подобных тенденций будет нарастать риск массовых размножений многих теплолюбивых аридных животных, в том числе и саранчовых. К тому же на юге России в ближайшее время вряд ли существенно уменьшится количество земель, выведенных из севооборота, а значит и площадь вторичных очагов обитания стадных саранчовых в агроландшафтах существенно не уменьшится. При сохранении этих тенденций можно ожидать, что в последующее десятилетие риск для растениеводства, связанный с саранчовыми, не исчезнет. Существует также вероятность изменения характера циклов в динамике их численности: увеличение продолжительности периодов массового размножения и сокращение периодов депрессии между вспышками; при таком развитии событий особое значение приобретает постоянный и качественный мониторинг (Столяров, 1998, 2000, 2005).

Имеющиеся предпосылки позволяют ожидать дальнейшего распространения и укоренения саранчовых не только в Ставропольском крае, Калмыкии, Волгоградской, Астраханской, Саратовской и Ростовской областях, но и в Омской и Читинской областях, Краснодарском и Красноярском краях, республиках Саха (Якутия) и Тыва, а также в ряде других регионов России (Ермаков, 1998).

3.3.5.2. Возможные изменения климата и ареал колорадского жука

Для оценки возможных изменений урожая картофеля при тех или иных изменениях условий среды, в частности климатических условий, используются модели агроэкосистемы культура — вредитель — среда обитания. Они применяются при программировании урожая и выработке рекомендаций по совершенствованию технологии возделывания картофеля в условиях конкретного хозяйства (Брежнев, Малинина, 1984; Малинина, 1984) и требуют значительного объема информации о свойствах местообитания. В основу этих моделей положены представления о популяциях как о динамических системах, развивающихся под воздействием внутренних и внешних факторов (Полуэктов и др., 1981).

Моделирование влияния агрометеорологических условий на развитие колорадского жука в разных почвенно-климатических условиях выполнено в работе (Вольвач, 1987). Результатом этой работы была, в частности, количественная оценка средних многолетних значений коэффициента размножения и границ периода активности колорадского жука для конкретных областей СССР.

В работе (Ясюкевич и др., 2007) получена оценка потенциального ареала колорадского жука на территории стран СНГ и Балтии в XX веке, исходя из простого биоклиматического критерия (Trouvelot, 1936): изотерма среднегодовой температуры 0°C ограничивает его потенциальный ареал на севере и востоке, а изотерма среднемесячной температуры июля 27°C на юге. По данным Trouvelot (1936), именно эти изотермы ограничивают границы ареала колорадского жука на севере и юге Американского континента, где его формирование считается завершенным.

На рис. 3.3.1 изображены потенциальный ареал колорадского жука на территории стран СНГ и Балтии в 1936–1965 гг. (ограниченный изотермами среднегодовой температуры 0°C и среднемесячной температуры июля 27°C) и его изменение в 1966–1995 гг. по сравнению с 1936–1965 гг. Картограмма ареала построена с помощью имитационно-картографической системы, описанной в работе (Семенов и др., 2006).

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



Рис. 3.3.1. Потенциальный ареал колорадского жука на территории стран СНГ и Балтии в XX веке и его изменения в 1966–1995 гг. по сравнению с 1936–1965 гг. (Ясюкевич и др., 2007). 0 — в ареал не входят в оба периода времени, 1 — сокращение ареала, 2 — приращение ареала, 3 — входит в ареал в оба периода времени.

Если принять инерционный сценарий изменения климата, т. е. предположить, что климат 1996–2025 гг. будет так же отличаться от климата 1966–1995 гг., как последний от климата 1936–1965 гг., то доминирующей тенденцией на территории стран СНГ и Балтии останется потепление, в частности увеличение среднегодовой температуры воздуха. Именно так было в 1966–1995 гг. по сравнению с периодом 1936–1965 гг. — исключение составляли северо-запад и северо-восток России в полярных широтах (Семенов, Гельвер, 2002). Следовательно, в условиях изменения климата за период 1996–2025 гг. можно ожидать дальнейшее продвижение северной границы ареала колорадского жука на север. Однако это не окажет существенного влияния на производство картофеля, поскольку данные изменения будут происходить вне основных картофелеводческих районов страны.

3.3.6. Литература

- Александров В. А., 2006.** Колебания и изменения климата и их влияние на экосистемы Юго-Восточной и Центральной Европы, а также юго-восточных районов США, Диссертация на соискание ученой степени доктора физико-математических наук, СПб, 98 с.
- Брежнев А. И., Малинина В. Г., 1984.** Математическое моделирование экологических взаимодействий в агроэкосистеме картофель — вре-

дитель — среда обитания, в кн.: Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем, Л., Гидрометеиздат, т. 7, с. 51–69.

- Будыко М. И., Израэль Ю. А., 1987.** Антропогенные изменения климата, Л., Гидрометеиздат, 406 с.
- Будыко М. И., Израэль Ю. А., Маккракен М. С., Хекта А. Д., 1991.** Предстоящие изменения климата, Л., Гидрометеиздат, 272 с.
- Винокуров Г. М., 1949.** Метод прогноза начала отрождения вредных саранчовых Сибири, Труды Алтайской станции защиты растений, т. 1, Барнаул.
- Вольвач В. В., 1987.** Моделирование влияния агрометеорологических условий на развитие колорадского жука, Л., Гидрометеиздат, 240 с.
- Ермаков А. В., 1998.** Будет ли саранча в 1998 году? Защита и карантин растений, № 3, с. 18–19.
- Золотокрылин А. Н., 2003.** Климатическое опустынивание, отв. ред. А. Н. Кренке, М., Наука, 246 с.
- Золотокрылин А. Н. 2005.** Мониторинг климатической составляющей опустынивания, в кн.: Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем, т. 20, СПб, Гидрометеиздат, с. 105–123.
- Израэль Ю. А., Сиротенко О. Д., 2003.** Моделирование влияний изменений климата на продуктивность сельского хозяйства России, Метеорология и гидрология, № 6, с. 5–17.

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

- Малинина В. Г., 1984.** Математическая модель агроэкосистемы картофеля — вредитель — среда обитания, Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук, Л., 19 с.
- Менжулин Г. В., 1984.** Влияние современных изменений климата и содержания углекислого газа на продуктивность сельскохозяйственных растений, Метеорология и гидрология, № 4, с. 95–101.
- Полуэктов Р. А., Пых Ю. А., Швытов Н. А., 1981.** Динамические модели экологических систем, Л., Гидрометеиздат, 286 с.
- Предтеченский С. А., 1930.** Практические результаты экологического изучения саранчи в Средней России, Труды по защите растений, сер. энтомология, т. 1, вып. 1.
- Рубцов И. А., 1935.** Районирование резерваций саранчовых Сибири и прогноз массовых размножений по коэффициентам увлажнения, в кн.: Вредители и болезни сельскохозяйственных растений Восточной Сибири.
- Сафарова И. Л., 1987.** Особенности эмбрионального развития итальянской саранчи, в сб.: Саранчовые — экология и меры борьбы, Л., ВАСХНИЛ, ВНИИ защиты растений, с. 75–83.
- Семенов С. М., Гельвер Е. С., 2002.** Изменение годового хода среднесуточной температуры воздуха на территории России в XX веке, Доклады РАН, сер. геофиз, т. 386, № 3, с. 389–394.
- Семенов С. М., Ясюкевич В. В., Гельвер Е. С., 2006.** Выявление климатогенных изменений, М., Издательский центр “Метеорология и гидрология”, 324 с.
- Сиротенко О. Д., 2005.** Усовершенствованная методика расчета оценок климатообусловленного риска для сельского хозяйства с учетом текущих изменений климата, в сб.: Климатические ресурсы и методы их представления для прикладных целей, СПб, Гидрометеиздат, с. 131–145.
- Сиротенко О. Д., Абашина Е. В., 1994.** Влияние глобального потепления на агроклиматические ресурсы и продуктивность сельского хозяйства России, Метеорология и гидрология, № 4, с. 101–112.
- Сиротенко О. Д., Абашина Е. В., 1998.** Агроклиматические ресурсы и физико-географическая зональность территории России при глобальном потеплении, Метеорология и гидрология, № 3, с. 92–103.
- Сиротенко О. Д., Абашина Е. В., Павлова В. Н., 1995.** Чувствительность сельского хозяйства России к изменениям климата, химического состава атмосферы и плодородия почв, Метеорология и гидрология, № 4, с. 107–114.
- Сиротенко О. Д., Абашина Е. В., Романенков В. А., 2005.** Моделирование влияния изменений климата на динамику органического углерода в пахотных почвах, эмиссию CO₂ и продуктивность агроэкосистем, Метеорология и гидрология, № 8, с. 83–95.
- Сиротенко О. Д., Величко А. А., Долгий-Трач В. А., Климанов В. А., 1990.** К оценке агроклиматических ресурсов Русской равнины в связи с глобальным потеплением климата, Известия АН СССР, сер. географ., с. 29–38.
- Сиротенко О. Д., Грингоф И. Г., 2006.** Оценки влияния ожидаемых изменений климата на сельское хозяйство Российской Федерации, Метеорология и гидрология, № 8, с. 92–101.
- Сиротенко О. Д., Павлова В. Н., 1994.** Парниковый эффект и продовольственная проблема России, Метеорология и гидрология, № 7, с. 5–16.
- Сиротенко О. Д., Павлова В. Н., 2003.** Оценка влияния изменений климата на сельское хозяйство методом пространственно-временных аналогов, Метеорология и гидрология, № 8, с. 89–99.
- Столяров М. В., 1998.** Саранча на юге России, Защита и карантин растений, № 3, с. 16–17.
- Столяров М. В., 2000.** Проблема массовых размножений стадных саранчовых на юге России на рубеже столетий, в кн.: Актуальные вопросы биологизации защиты растений, под ред. М. С. Соколова и Е. П. Угрюмова, Пушкино, с. 94–100.
- Столяров М. В., 2005.** Некоторые особенности прогнозирования динамики численности стадных саранчовых. Надолго ли затихает их размножение?, Защита и карантин растений, № 1, с. 38–41.
- Цыпленков Е. П., 1970.** Вредные саранчовые насекомые в СССР, Л., Колос, 272 с.
- Школьник И. М., Мелешко В. П., Катцов В. М., 2006.** Возможные изменения климата на Европейской части России и сопредельных территориях к концу XXI века: расчет с региональной моделью ГГО, Метеорология и гидрология, № 3, с. 5–16.
- Ясюкевич В. В., Попова Е. Н., Гельвер Е. С., Ривкин Л. Е., 2007.** Влияние климатических факторов на формирование ареала колорадского жука (*Leptinotarsa decemlineata* Say), в кн.: Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем, т. 21, СПб, Гидрометеиздат, с. 348–379.
- Alcamo J., 2003.** Will Climate Change Affect Food and Water Security in Russia?, Summary Report to the International Project on Global Environmental Change and its Threat to Food and Water Security in Russia, Draft 13.
- Climate Change 2001, 2001.** Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the