

---

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

---

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

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

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

*Редактор-рецензент:* Г. В. Груза

#### 2.1.1. Общая характеристика

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

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

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

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

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

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

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

— Центральной аэрологической обсерваторией (ЦАО);

— Государственным гидрологическим институтом (ГГИ);

— Государственным океанографическим институтом (ГОИН);

— Научно-исследовательским центром космической гидрометеорологии “Планета”.

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

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

## 2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## 2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

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

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

участием Русского географического общества (Минин, 2002).

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

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

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

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

## 2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

Продолжение таблицы 2.1.1

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

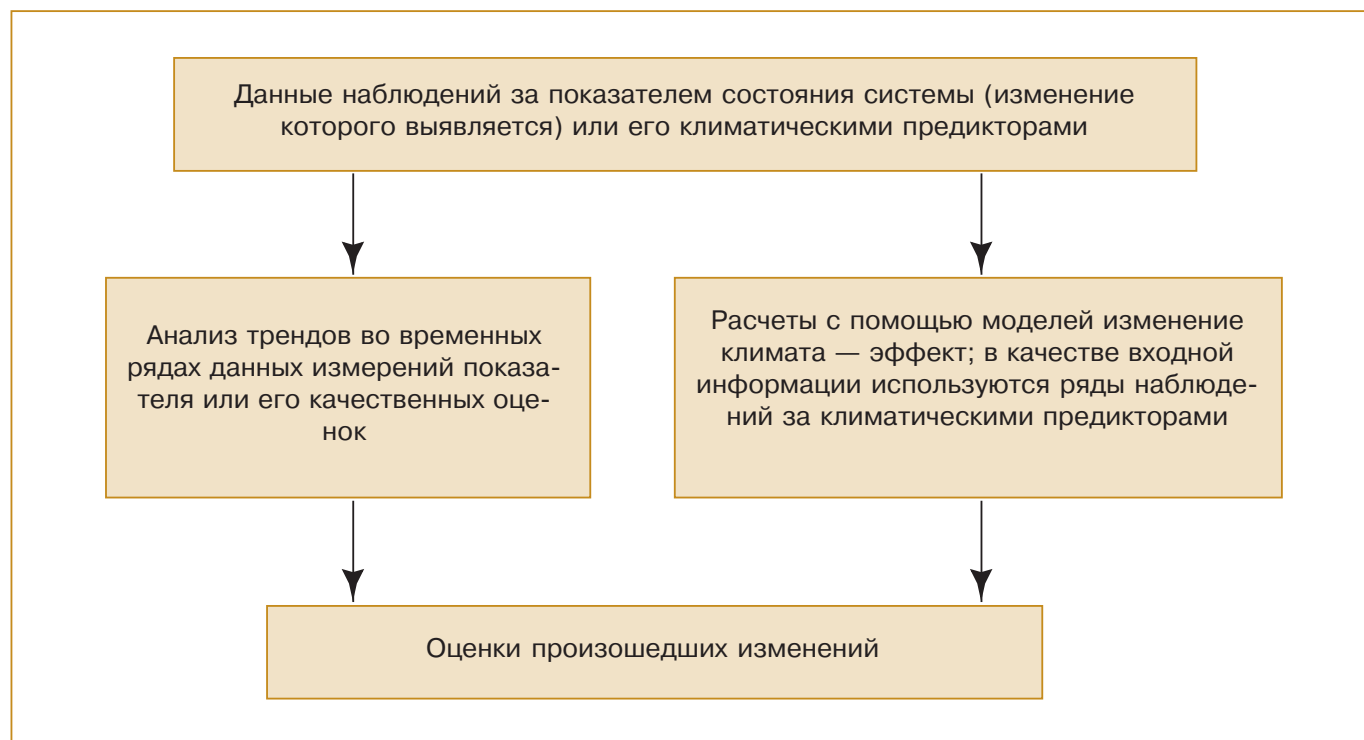
## 2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

Продолжение таблицы 2.1.1

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



## 2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.



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

теризованы некоторые из объектов наблюдений и методы получения оценок.

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

### 2.1.2. Состояние зданий и сооружений, отопительный период, транспорт

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Основными направлениями автодорожной отрасли, требующими учета климата, являются:

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

## 2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

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

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

### 2.1.3. Сельское хозяйство

#### 2.1.3.1. Растения

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

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

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

Здесь  $\Sigma R_{L-M}$  — сумма осадков за месяцы, указанные в индексе римскими цифрами (от  $L$ -го до  $M$ -го),  $\Sigma T_{10}$  — сумма за календарный год среднесуточных значений температуры воздуха больше  $10^\circ\text{C}$ ,  $\Sigma T_{L-M}$  — сумма среднесуточных значений температуры воздуха за месяцы, указанные в индексе римскими цифрами (от  $L$ -го до  $M$ -го).

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

В заключение отметим, что размерность индексов  $\Sigma T_5$  и  $\Sigma T_{10}$  требует некоторого внимания

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

#### 2.1.3.2. Насекомые — вредители сельскохозяйственных культур

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

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

Нижний температурный порог развития саранчовых — около  $10^\circ\text{C}$  (Цыпленков, 1970; Гаппаров, 1987). Однако он варьирует у разных видов. Так, нижний температурный порог развития яиц



## 2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

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

| Показатель, размерность   | Обозначение                 | Способ расчета |
|---|-----------------------------|----------------|
| <b>Характеристики термического режима</b>   |                             |                |
| Суммы среднесуточных значений температуры за календарный год, больших 5 и 10°C соответственно   | $\Sigma T_5, \Sigma T_{10}$ | *              |
| Даты устойчивого перехода среднесуточной температурой значений 5 и 10°C весной и осенью соответственно, сутки   | $d_5, d_{10}$               | *              |
| Продолжительность периодов со среднесуточными температурами выше 5 и 10°C соответственно — характеризуют продолжительность вегетационного периода растений умеренной зоны и теплолюбивых растений соответственно, сутки               | $N_5, N_{10}$               | *              |
| Средние значения температуры января и июля соответственно, °C   | $T_1, T_7$                  | *              |
| Амплитуда годового хода среднесуточной температуры, °C  | $A_T$                       | *              |
| Продолжительность вегетационной весны (период времени от устойчивого перехода среднесуточной температурой значения 5°C до устойчивого перехода значения 15°C) и вегетационной осени (период обратного перехода) соответственно, сутки | $N_{5-15}, N_{15-5}$        | *              |
| <b>Характеристики увлажнения</b>  |                             |                |
| Суммы осадков за период календарного года со среднесуточной температурой выше 5 и 10°C соответственно, мм   | $R_5, R_{10}$               | *              |
| Суммарное испарение за вегетационный период, мм   | $E$                         | **             |
| Испаряемость за вегетационный период, мм  | $E_0$                       | *              |
| Влагозапасы почвы в слоях 0–20 и 0–100 см соответственно за теплый период года, мм  | $W_{20}, W_{100}$           | **             |
| Гидротермический коэффициент Селянинова   | $ГТК$                       | *              |
| Индекс сухости Будыко   | $ИС$                        | *              |
| Коэффициент увлажнения Чиркова  | $КУ$                        | *              |
| Дефицит испарения Будаговского, мм  | $\Delta E$                  | **             |
| <b>Биоклиматический потенциал (БКП), т/га</b>   |                             |                |
| при низкозатратном земледелии   | $BKP_0$                     | **             |
| при оптимальном увлажнении  | $BKP_W$                     | **             |
| при оптимальном минеральном питании   | $BKP_N$                     | **             |
| при оптимальных увлажнении и минеральном питании  | $BKP_{WN}$                  | **             |
| <b>Климатообусловленная урожайность, т/га</b>   |                             |                |
| при низкозатратном земледелии   | $Y_0$                       | **             |
| при оптимальном увлажнении  | $Y_W$                       | **             |
| при оптимальном минеральном питании   | $Y_N$                       | **             |
| при оптимальных увлажнении и минеральном питании  | $Y_{WN}$                    | **             |

*Примечание.*

\* По данным мониторинга климата Росгидромета.

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

## 2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

### 2.1.4. Водные ресурсы

#### 2.1.4.1. Вводные замечания

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

## 2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

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

### 2.1.4.2. Изменение стока рек

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

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

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

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

### 2.1.4.3. Испарение

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

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

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



## 2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

### 2.1.5. Здоровье населения

#### 2.1.5.1. Вводные замечания

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

#### 2.1.5.2. Экстремально высокая температура (волны тепла)

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

Выявление соответствующих взаимосвязей ведется на основе сравнения гидрометеорологичес-

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

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

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

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

## 2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

### 2.1.5.3. Инфекционные и паразитарные болезни

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



## 2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

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

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

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

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

### 2.1.6. Природные экосистемы суши

#### 2.1.6.1. Параметры биоты

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

тогенные изменения биоты суши по следующим ее параметрам:

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

#### 2.1.6.2. Фенологические события в жизни растений и животных

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

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

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

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

## 2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

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

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

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

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

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

### 2.1.6.3. Прирост деревьев

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

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

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

Для анализа изменчивости во времени радиального прироста древесных растений использу-

## 2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

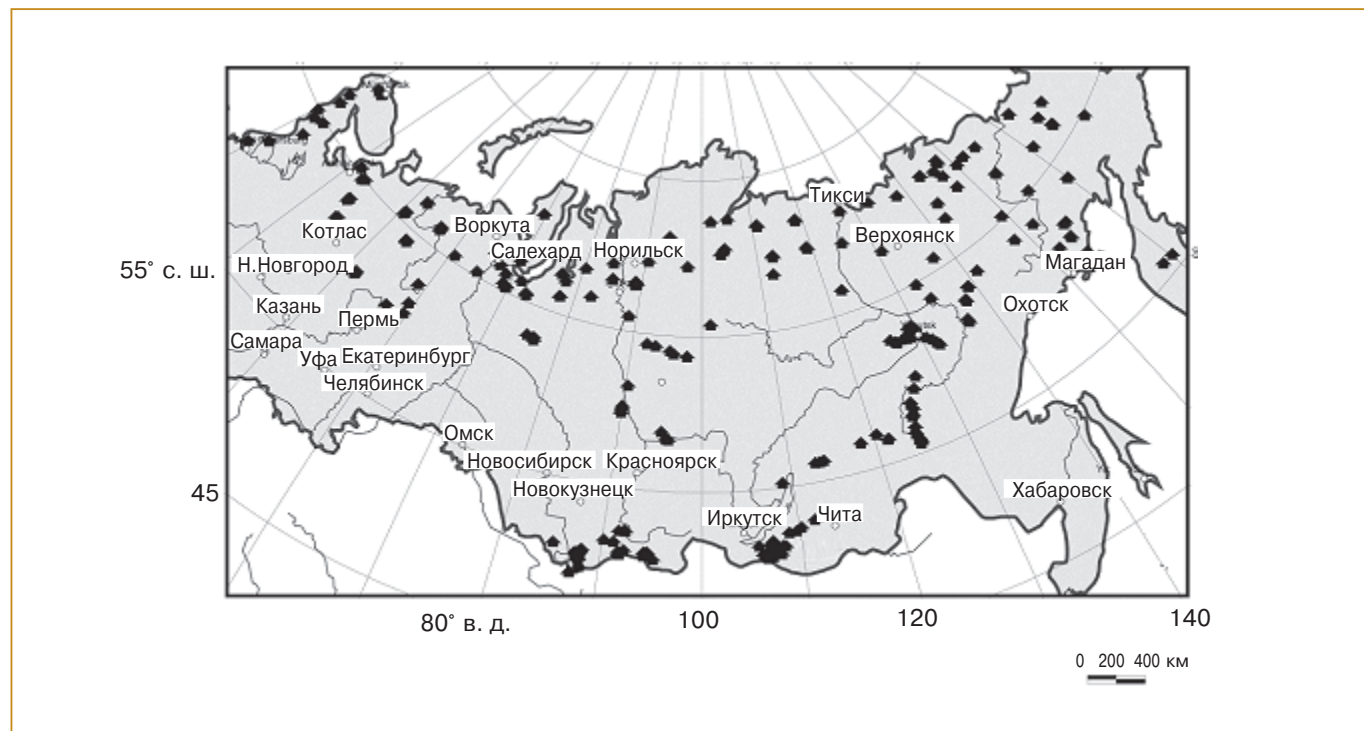


Рис. 2.1.2. Сеть пунктов дендроклиматического мониторинга на территории России.

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

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

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

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

### 2.1.6.4. Граница леса

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



## 2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

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

### 2.1.6.5. Опустынивание

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

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

ное состояние (СС); темпы развития опустынивания или скорость процесса (ТО); внутренняя опасность опустынивания (ВОО), зависящая, в частности, от свойств ландшафта (характеризует его стабильность при деградации); влияние животных на окружающую среду (ВЖ), определяемое количеством выпасаемого скота на единице площади; влияние плотности населения (ПН), определяемое по числу жителей сельской местности на 1 км<sup>2</sup>. Показатель суммарной опасности опустынивания (СОО) охватывает все аспекты опустынивания:

$$СОО = СС + ТО + ВОО + ВЖ + ПН.$$

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

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

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

**Таблица 2.1.3.** Определение суммарной опасности опустынивания

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

## 2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



## 2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

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

### 2.1.6.6. Особо охраняемые природные территории

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

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

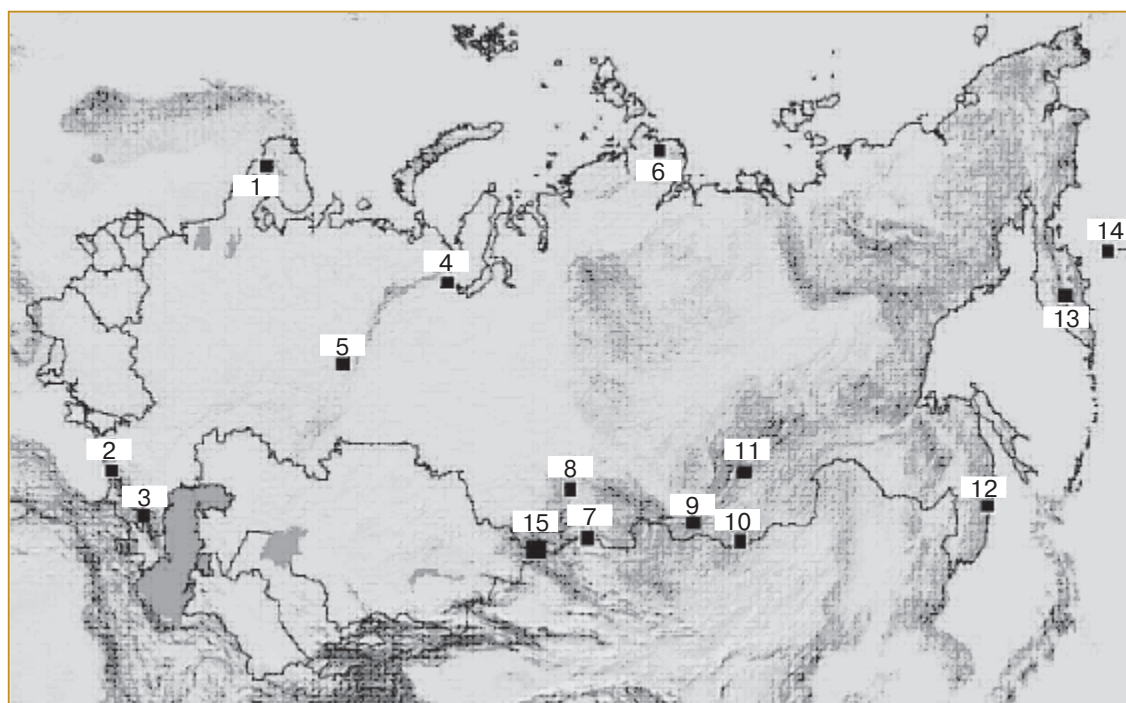
2. Заповедники обычно расположены на территориях, являющихся представительными для сво-

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

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

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

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



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

## 2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

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

### 2.1.7. *Континентальная многолетняя мерзлота и ледниковые системы*

#### 2.1.7.1. *Тенденции изменения современного состояния криолитозоны*

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## 2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

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

### 2.1.7.2. Ледниковые системы

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

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

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

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

### 2.1.8. Северные моря

#### 2.1.8.1. Климат и ледовый покров

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

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

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



## 2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

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

### 2.1.8.2. Биологические системы северных морей

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

К структурным характеристикам морских экосистем относятся:

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

К функциональным характеристикам морских экосистем относятся:

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

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

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

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

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

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

### 2.1.9. Южные моря

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

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

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

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

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

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

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

### 2.1.9.2. Дистанционные измерения

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

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

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

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

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

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

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

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



## 2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

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

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

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

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

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

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

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

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

## 2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

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

Обработка исходных массивов дистанционно измеренных значений ТПМ включала:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## 2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

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

### 2.1.10. *Последствия экстремальных метеорологических явлений*

#### 2.1.10.1. *Вводные замечания*

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

#### 2.1.10.2. *Засухи*

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

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

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

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

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

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

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

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



## 2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

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

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

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

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

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

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

### 2.1.10.3. Горимость леса (потенциальная пожароопасность)

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

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

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

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

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

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

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

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

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



## 2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

Таблица 2.1.5. Классы горимости (Шерстюков, 2003)

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

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

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

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

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

### 2.1.10.4. Наводнения

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

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

— экстремальные гидрологические явления в прибрежных зонах — цунами;

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

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

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

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

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

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

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

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

## 2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.



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

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

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

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

1. Катастрофические и опасные наводнения, вызванные весенним и весенне-летним половодьем (при отсутствии заторов и зажоров) на густо населенных (с плотностью свыше 100 тыс. человек на 1 км<sup>2</sup>) территориях предгорий Кавказа, бассейна р. Дон и междуречья его с Волгой. В этом районе интенсивный выход воды на пойму отмечается раз в 5 лет, а при максимальных расходах воды повторяемостью раз в 100 лет с семикратным превышением среднееголетних максимальных расходов воды может сформироваться катастрофическое наводнение с нанесением очень большого ущерба.

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

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

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

## 2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

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

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

На всей территории России большую опасность представляют дождевые паводки редкой повторяемости на водосборах площадью менее 25–50 км<sup>2</sup>. Они приводят в летне-осенний период к затоплению сельскохозяйственных угодий, наносят тем самым значительный материальный ущерб, снижая урожайность сельскохозяйственных культур.

### 2.1.11. Литература

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



## 2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

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



## 2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

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

## 2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

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

## 2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

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



## 2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

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



## 2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

- J. Geophys. Res., vol. 109, D05101, doi:10.29/2003JD004245.
- Fritts H. C., 1976.** Tree-rings and Climate, London, New York, San Francisco, Acad. Press, 576 p.
- Fu L.-L. and Pihos G., 1994.** Determining the response of sea level to atmospheric pressure forcing using TOPEX/Poseidon data, J. Geophys. Res., vol. 99, No. C12, pp. 24633–24642.
- Ginzburg A. I., Kostianoy A. G., and Sheremet N. A., 2003.** Thermal regime of the Aral Sea in the modern period (1982–2000) as revealed by satellite data, J. Marine Systems, vol. 43, pp. 19–30.
- Ginzburg A. I., Kostianoy A. G., and Sheremet N. A., 2004.** Seasonal and interannual variability of the Black Sea surface temperature as revealed from satellite data (1981–2000), J. Marine Systems, vol. 52, No. 1–4, pp. 33–50.
- Ginzburg A. I., Kostianoy A. G., and Sheremet N. A., 2005.** Sea surface temperature variability, in: The Caspian Sea Environment, Kostianoy A. and Kosarev A. (eds.), The Handbook of Environmental Chemistry, Springer-Verlag, vol. 5, part P, doi:10.1007/698\_5\_004, pp. 59–81.
- Ginzburg A. I., Kostianoy A. G., and Sheremet N. A., 2007.** Sea surface temperature variability, in: The Black Sea Environment, Kostianoy A. and Kosarev A. (eds.), The Handbook of Environmental Chemistry, Springer-Verlag, vol. 5, part P, doi:10.1007/698\_2006\_067 (in press).
- Goodrich L. E., 1978.** Efficient numerical technique for one-dimensional thermal problems with phase change, Int. Journal of Heat and Mass Transfer, vol. 21, No. 5, pp. 160–163.
- Goodrich L. E., 1982.** The influence of snow cover on the ground thermal regime, Canadian Geotechnical Journal, vol. 19, pp. 421–432.
- Growth Stages of Mono- and Dicotyledonous Plants: BBCH-Monograph, 1997.** Federal Biological Research Centre for Agriculture and Forestry, Uwe Meier (ed.), Berlin and Wien.
- Johannessen O. M., Shalina E., and Miles M., 2000.** NORSEX Sea Ice Concentration in the Arctic, 1978–1999 Including MY Ice Concentration during Winter Months, NORSEX CD-ROM, Version 1.0.
- Jones P. D. and Moberg A., 2003.** <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/>.
- Kapralov D. S., Shiyatov S. G., Moiseev P. A., and Fomin V. V., 2006.** Changes in the composition, structure, and altitudinal distribution of low forests at the upper limit of their growth in the Northern Ural Mountains, Russian Journal of Ecology, vol. 37, No. 6, pp. 367–372.
- Kharin N. G., Tateishi R., and Gringof I. G., 1998.** Use of NOAA/AVHRR data for assessment of precipitation and land degradation in Central Asia, Arid Ecosystems, vol. 4, No. 8, pp. 25–34.
- Kittlaus E., 1961.** Die Embrionalentwicklung von *Leptinotarsa decemlineata* Say, *Epilachna sparsa* Herbst, und *E. Vigintioctomaculata* Motsch. var. *niponica* Lewis in Abhängigkeit von der Temperatur, Dtsch. Entomol. Z., vol. 8, No. I–II, pp. 41–62.
- Kobysheva N. V., 1992.** Guidance Material on the Calculation of Climatic Parameters Used for Building Purposes, Technical Note No. 187, WMO, No. 665, 210 p.
- Kopelevich O. V., Burenkov V. I., Ershova S. V., Sheberstov S. V., and Evdoshenko M. A., 2004.** Application of SeaWiFS data for studying variability of bio-optical characteristics in the Barents, Black and Caspian seas, Deep-Sea Res. II, vol. 51, pp. 1063–1091.
- Kostianoy A. G., Zavalov P. O., and Lebedev S. A., 2004.** What do we know about dead, dying and endangered lakes and seas?, in: Dying and Dead Seas Climatic Versus Anthropic Causes, Nihoul J. C. J., Zavalov P. O., and Micklin P. P. (eds.), NATO Science Series, Series IV: Earth and Environmental Science, vol. 36, Dordrecht, Kluwer Acad. Publ., pp. 1–48.
- Kouraev A. V., Papa F., Buharizin P. I., et al., 2003.** Ice cover variability in the Caspian and Aral seas from active and passive microwave satellite data, Polar Res., vol. 22, No. 1, pp. 43–50.
- Kouraev A. V., Papa F., Mognard N. M., Buharizin P. I., Cazenave A., Cretaux J.-F., Dozortseva J., and Remy F., 2004a.** Sea ice cover in the Caspian and Aral seas from historical and satellite data, J. Marine Systems, vol. 47, No. 1–4, pp. 89–100.
- Kouraev A. V., Papa F., Mognard N. M., Buharizin P. I., Cazenave A., Cretaux J.-F., Dozortseva J., and Remy F., 2004b.** Synergy of active and passive satellite microwave data for the study of first-year sea ice in the Caspian and Aral seas, IEEE Trans. Geosc. Remote Sensing, vol. 42, No. 10, pp. 2170–2176.
- Kovats R. S., Bouma M. J., Hajat S., Worrall E., and Haines A., 2003.** El Nino and health, Lancet, vol. 362, No. 9394, pp. 1481–1489.
- Large W. G. and Pond S., 1981.** Open ocean momentum flux measurements in moderate to strong winds, J. Phys. Oceanogr., vol. 11, pp. 324–336.
- Lieshout van M., Kovats R. S., Livermore M. T. J., and Martens P., 2004.** Climate change and malaria: Analysis of the SRES climate and socio-economic scenarios, Global Environmental Change, vol. 14, pp. 87–99.
- Martens P., Kovats R. S., Nijhof S., de Vries P., Livermore M. T. J., Bradley D. J., Cox J., and McMichael A. J., 1999.** Climate change and future populations at risk of malaria, Global Environmental Change, vol. 9, pp. 89–107.

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

## 2. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В XX В.

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

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

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

### 2.2. СОСТОЯНИЕ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ, ОТОПИТЕЛЬНЫЙ ПЕРИОД, ТРАНСПОРТ

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

#### 2.2.1. Тепловой режим зданий и сооружений, характеристики отопительного периода

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

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

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

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

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

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

#### 2.2.2. Механические воздействия на здания и сооружения

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

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