

---

## 2. СИСТЕМА НАБЛЮДЕНИЙ ЗА КЛИМАТОМ В РОССИИ

**Ведущие авторы:** А. С. Зайцев, В. П. Мелешко

**Авторы:** Б. М. Ильин, Е. Л. Махоткина, Е. Д. Надежина, А. И. Решетников, Т. П. Светлова

**Рецензент:** О. Н. Булыгина

---

### 2.1. Климатическая информация международных программ

Климат Земли подвержен непрерывным изменениям в результате нелинейного взаимодействия процессов, протекающих в атмосфере, океане, криосфере, биосфере и на поверхности континентов, а также обусловленных внешними воздействиями. Чтобы понять причины этих изменений и создать средства для их предсказания в будущем, очень важно проводить непрерывные и скоординированные наблюдения за климатом.

Мониторинг климата требует интегрального подхода к организации наблюдений за атмосферой, океаном и поверхностью земли. Не существует единой технологии, которая позволяла бы получить всю необходимую информацию. Поэтому глобальная система наблюдений за климатом является комплексной и составлена из средств наблюдений, размещенных на континентах, морских судах, плавающих буйях, зондах, самолетах и спутниках.

В рамках существующих международных программ ведется большая работа по организации систем прямых и дистанционных наблюдений за климатом в атмосфере, океане и на поверхности земли, сбору этих данных и их архивации. Очень важно, что одновременно ставятся и, как правило, успешно решаются научными организациями разных стран задачи обеспечения свободного доступа к этим данным путем широкого использования современных средств связи.

*Глобальная система наблюдений за климатом (ГСНК).* Следуя рекомендациям Рамочной конвенции ООН по изменению климата, ВМО, МОК (ЮНЕСКО), ЮНЕП и МСНС создали программу “Глобальная система наблюдений за климатом”, перед которой поставлена задача организовать долго-

временную систему наблюдений за климатом, опираясь на уже существующие системы наблюдений за атмосферой, океаном и поверхностью суши. ГСНК по существу является программой климатических наблюдений, по которой ведут наблюдения метеорологические станции во всем мире, объединенные в Глобальную систему наблюдений ВМО. Работа метеорологических станций организуется национальными метеорологическими и гидрометеорологическими службами в странах-членах ВМО. В соответствии с принятыми принципами климатического мониторинга система наблюдений позволит создать базу данных о глобальных и региональных изменениях климата за длительный период времени с целью информирования правительств о происходящих изменениях климата.

В 2003 г. опубликован “Второй доклад о достоверности глобальных систем наблюдений за климатом в поддержку Рамочной конвенции ООН по изменению климата” (GCOS-82, 2003), подготовленный секретариатом ГСНК, в котором сформулированы научные требования к систематическим наблюдениям. Согласно этому докладу, климатические наблюдения необходимы для того, чтобы:

- определить текущее состояние климата и его изменчивость;
- выполнить мониторинг воздействий естественного и антропогенного происхождения на климат;
- обеспечить исследования по идентификации причин климатических изменений;
- содействовать предсказанию глобальных изменений климата;
- дать характеристику экстремальных явлений, оказывающих важное влияние на хозяйственную деятельность и приводящих к необходимости разработки адаптационных мер;
- оценить риски и уязвимость.

## 2. СИСТЕМА НАБЛЮДЕНИЙ ЗА КЛИМАТОМ В РОССИИ

Таблица 2.1. Основные параметры — индикаторы изменений климата

Среда	Вид наблюдений	Основные климатические характеристики
Атмосфера	Наземные наблюдения	Температура и влажность воздуха, осадки, атмосферное давление, радиационный баланс, скорость и направление ветра
	Наблюдения в верхних слоях атмосферы	Радиационный баланс атмосферы (включая входящую солнечную радиацию на верхней границе атмосферы), температура и влажность воздуха, скорость и направление ветра, облачность
	Наблюдения за составом атмосферы	Концентрация диоксида углерода, метана, озона и других долгоживущих парниковых газов, свойства аэрозолей
Океан	Наблюдения за поверхностью океана	Температура и соленость на поверхности, уровень моря, волнение, ледовитость, течения, концентрация CO <sub>2</sub> , цветовой индекс (для оценки биопродуктивности)
	Глубоководные	Температура, соленость, течения, фитопланктон, концентрация азотных и углеродных соединений
Суша	Расход воды в реках, водопользование, грунтовые воды, снежный покров, уровень воды в озерах, гляциологические наблюдения, зона вечной мерзлоты, альbedo, земной покров, агрометеорологические наблюдения, индекс поглощенной фотосинтетически активной радиации, листовой индекс, пожароопасность и др.	

В табл. 2.1 приводятся основные параметры, которые рассматриваются как важные индикаторы изменений климата (GCOS-82, 2003).

Многие наблюдения в атмосфере, относящиеся к ГСНК, проводятся в рамках уже существующих и успешно функционирующих систем наблюдений. Стратегия реализации наблюдений за климатом опирается на пять типов сетей:

1) системы наблюдений, включая региональные и национальные, которые дают возможность получить достаточно полные сведения о состоянии окружающей среды и ее изменчивости;

2) опорные глобальные системы наблюдений, которые включают ограниченное число пунктов наблюдений, но которые имеют длинные ряды измерений высокого качества наиболее важных климатически значимых переменных;

3) реперные сети наблюдений, на которых проводятся высокоточные измерения большого числа переменных в нескольких пунктах для целей калибровки спутниковых приборов;

4) исследовательские сети, которые выполняют измерения локальной изменчивости ключевых параметров с целью изучения климатических процессов;

5) экосистемные сети, на которых проводятся измерения ограниченного числа переменных в нескольких пунктах для специальных целей.

В настоящее время представляется нереальным для целей ГСНК осуществлять мониторинг данных наблюдений со всех пяти типов сетей. Поэтому в качестве приоритетных рассматриваются сети типа 1, включая спутниковые наблюдения, опорные глобальные сети наземных наблюдений типа 2, отдельные реперные сети типа 3 и отдельные исследовательские сети типа 4, имеющие длинные ряды наблюдений.

В принципе, на территории России существуют все пять типов сетей, имеющих разную степень развития. В настоящее время наземная метеорологическая сеть ГСНК включает примерно 1000 станций, равномерно распределенных по земному шару (тип 2).

**Глобальная служба атмосферы (ГСА).** Основными целями ГСА являются:

— проведение систематических комплексных наблюдений за химическим составом и отдельными физическими характеристиками атмосферы в глобальном и региональном масштабах;

- представление данных для прогноза будущего состояния атмосферы;
- анализ и оценка состояния атмосферы для международных конвенций.

Около 80 стран-членов ВМО участвуют в программе ГСА. 10 стран организовали Центры данных и калибровки приборов. Около 300 станций ГСА проводят измерения, из них 22 глобальные, остальные работают по программе региональных станций ГСА.

Глобальные станции ГСА расположены в удаленных районах, не подверженных местному загрязнению атмосферы, характеризуют большие географические районы и проводят широкий спектр измерений в течение десятилетий. Приоритетными являются измерения вертикального распределения озона, общего содержания озона, парниковых газов, химического состава осадков, аэрозолей, химически активных газов ( $\text{CO}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ), ультрафиолетовой радиации.

Региональные станции репрезентативны для небольших географических районов, не подверженных местному загрязнению атмосферы (автотранспорт, хозяйственная деятельность). Объем измерений на этих станциях ограничен. Данные в основном используются для оценки местных условий, таких как кислотные выпадения, перенос загрязняющих атмосферу газов и аэрозолей.

**Всемирная программа исследования климата (ВПИК).** Одна из важнейших целей ВПИК — изучить, насколько наблюдения за важными климатическими переменными могут способствовать увеличению предсказуемости климата на различных временных и пространственных масштабах. Для решения этой задачи требуются скоординированные усилия по сбору, четырехмерному усвоению данных наблюдений и воспроизведению внутренне согласованных состояний климатической системы, которые могут быть затем использованы для климатического прогноза, развития и оценки качества моделей. В документах ВПИК отмечается, что для получения и усвоения новых видов наблюдений, которые будут поступать со спутников нового поколения, потребуются специальные исследования. Особо подчеркивается, что исследования должны быть также направлены на выявление недостатков в существующей системе наблюдений, которые могут сужать пределы предсказуемости климатической системы.

Помимо мониторинга глобальных полей, большое внимание в проектах ВПИК уделяется получению специальных архивов данных за относительно короткие периоды, необходимых для формулирования и тестирования методов параметризации отдельных физических процессов и последующего использования этих параметризаций в моделях климата.

Под эгидой ВПИК были собраны и стали доступными для мирового научного сообщества уникальные архивы глобальных и региональных данных о радиационных потоках, облачности, содержании водяного пара, характеристиках гидрологического цикла и криосферы. Координация работ ВПИК способствовала созданию реанализов — динамически согласованных глобальных полей, характеризующих состояние атмосферы (архивы Национального центра программ по окружающей среде (NCER), Европейского центра среднесрочных прогнозов (ECMWF), Японского метеорологического агентства (JMA)) (см. раздел 5.7). В настоящее время российские научные организации не располагают технологиями, техническими и кадровыми ресурсами, которые позволили бы создавать аналогичные глобальные базы данных. Однако архивы реанализов NCER и ECMWF широко используются во многих диагностических исследованиях научными организациями Росгидромета, РАН и высшей школы РФ.

### 2.2. Наземная метеорологическая сеть

Государственная наблюдательная сеть РФ (наземная метеорологическая сеть Росгидромета), размещенная на территории 17 104 тыс. км<sup>2</sup>, насчитывает 1627 пунктов метеорологических наблюдений, осуществляющих с 1966 г. метеорологические наблюдения в 8 синхронных сроках: 0, 3, 6, 9, 12, 15, 18 и 21 ч ВСВ. Указанная частота наблюдений позволяет с необходимой и достаточной точностью описать суточный ход основных метеорологических величин (температуры и влажности воздуха, характеристик ветра, атмосферного давления, температуры почвы, характеристик облачности). При этом в сроки, ближайšie к 8 и 20 ч поясного зимнего времени, выполняются измерения количества осадков. Наблюдения за интенсивностью и развитием атмосферных процессов и явлений проводятся непрерывно.

В реперную климатическую сеть (РКС) включены, как правило, длиннорядные, репрезентативные пункты с полной программой наблюдений, освещающие территорию, однородную в отношении метеорологического режима. Эти пункты наблюдений закрытию и переносу не подлежат. Любая реперная станция наблюдательной сети Росгидромета в принципе может считаться климатической станцией до тех пор, пока она осуществляет 8 сроков наблюдений. Из числа пунктов реперной сети выбраны станции региональной опорной климатической сети (РОКС) и международной глобальной системы наблюдений за климатом (ГСНК). Число разного типа станций дано в табл. 2.2.



## 2. СИСТЕМА НАБЛЮДЕНИЙ ЗА КЛИМАТОМ В РОССИИ

Таблица 2.2. Структура наземной метеорологической сети Росгидромета

№	Сеть метеорологических наблюдений	Число станций
1	Государственная наблюдательная сеть (ГНС)	1627
2	Реперная климатическая сеть (РКС)	454
3	Региональная опорная климатическая сеть (РОКС)	238
4	Глобальная сеть наблюдений за климатом (ГСНК)	135

Максимальные требования по продолжительности непрерывных наблюдений относятся к температуре и осадкам, для которых документально подтвержденные ряды наблюдений должны иметь продолжительность не менее 30 лет. Ряды наблюдений на станциях ГСНК по продолжительности наблюдений распределяются следующим образом:

100 лет и более	— 44 станции;
75 и более	— 79;
50 и более	— 130;
30 и более	— 135;
менее 30	— 0.

Наземная реперная климатическая сеть станций, включающая и сеть станций ГСНК, имеет относительно равномерное распределение на территории России (рис. 2.1). В течение XX века чис-

ло климатических станций непрерывно возрастало и только в самом его конце их количество незначительно сократилось. Таким образом, наиболее полные наблюдения за климатом России были получены во второй половине XX века.

### 2.3. Аэрологическая сеть наблюдений

В настоящее время в Росгидромете функционируют 98 станций температурно-ветрового зондирования. Все эти станции входят в состав региональной опорной синоптической сети (РОСС). Из этих 98 станций 46 входят в состав региональной опорной климатической сети. Порядок работы аэрологических станций регламентируется нацио-

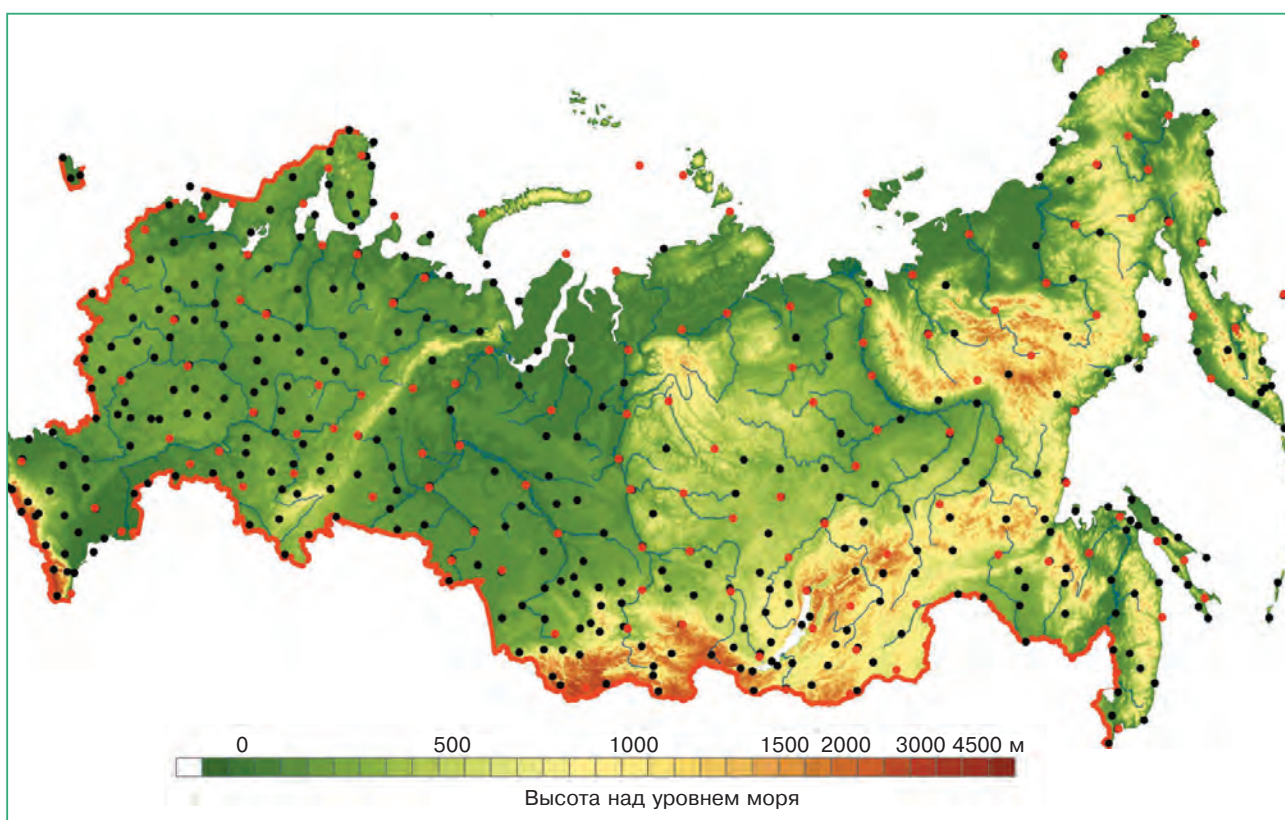
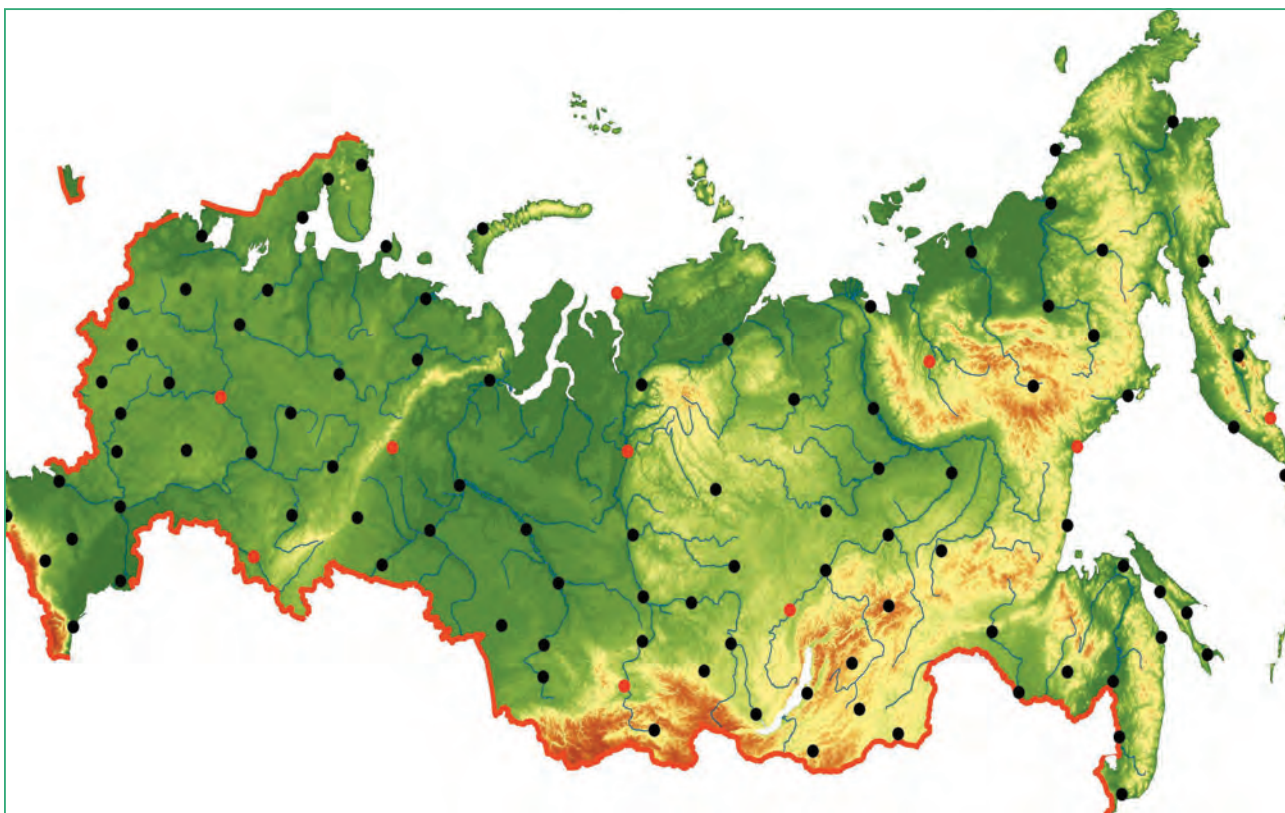


Рис. 2.1. Наземная метеорологическая реперная сеть России, включающая 454 пункта наблюдений (черные и красные кружки), из них 135 пунктов участвуют в международном обмене в рамках программы ГСНК (красные кружки).



**Рис. 2.2.** Аэрологическая сеть Росгидромета включает 98 пунктов наблюдений (черные и красные кружки), из них 10 пунктов участвуют в международном обмене в рамках программы ГСНК (красные кружки).

нальными и международными документами. Температурно-ветровое зондирование на аэрологических станциях осуществляется с помощью отечественных радиозондов, измеряющих атмосферное давление, температуру и влажность воздуха. Скорость и направление ветра на высотах определяются с помощью радиолокаторов также отечественного производства. Следует отметить частую корректировку числа сроков наблюдений из-за нехватки радиозондов и оболочек шаров-зондов. Наземное оборудование для температурно-ветрового зондирования устарело и требует модернизации.

Глобальная аэрологическая сеть ГСНК насчитывает около 150 аэрологических станций, которые выбирались из полного списка глобальной сети с учетом требования равномерного глобального распределения, а также качества и полноты передаваемых данных. В этот перечень входят также 10 аэрологических станций на территории РФ и два пункта, расположенные в Антарктике, принадлежащие России. Данные международного мониторинга показывают, что климатическая сеть в свободной атмосфере не в полной мере отвечает требованиям ГСНК, особенно на севере и северо-востоке России, что не позволяет ее в полной мере

использовать в качестве индикатора климатических изменений в бассейне Северного Ледовитого и Тихого океана. На рис. 2.2 приведено распределение пунктов аэрологического зондирования, включая сеть ГСНК, на территории России.

### 2.4. Гидрологическая сеть наблюдений

Характеристики речного стока являются важным индикатором изменения и изменчивости климата, поскольку они отражают изменения в осадках и эвапотранспирации. Они также требуются для развития и оценки качества глобальных моделей, анализа трендов и социально-экономических исследований.

В начале 2005 г. стандартная гидрологическая сеть Росгидромета включала 3085 постов, из них 2732 на реках и 353 на озерах. Помимо стандартной, существует специализированная сеть, в состав которой входят болотные (8) и воднобалансовые станции (6), а также пункты наблюдений за испарением с водной поверхности (203 пункта) (НС-4, 2006). На рис. 2.3 показана реперная гидрологическая сеть, включающая 1237 речных, 70 озерных и



## 2. СИСТЕМА НАБЛЮДЕНИЙ ЗА КЛИМАТОМ В РОССИИ



**Рис. 2.3.** Гидрологическая сеть реперных станций и постов России. Сеть наблюдений включает три типа станций и постов: речные (синие кружки), озерные (красные треугольники) и пункты наблюдений на водохранилищах (красные ромбы).

12 на водохранилищах станций и постов (ГОНС, 2003). Плотность современной гидрологической сети остается недостаточной и не соответствует рекомендованным нормативам ВМО.

Согласно предварительным оценкам для обеспечения решения научных задач в области оценки и прогнозирования водных ресурсов и гидрологического режима водных объектов в условиях изменения климата, а также для удовлетворения возрастающих запросов водохозяйственной практики требуется дальнейшее расширение гидрологической сети России.

### 2.5. Наблюдения за криолитозоной

Наблюдения за состоянием криолитозоны России проводятся с середины 1950-х годов. Пункты наблюдений организованы главным образом научными организациями РАН и в меньшем объеме организациями других ведомств. За последние годы геологические объекты мониторинга были практически ликвидированы. В настоящее время действуют 14 наблюдательных полигонов. Наибольший объем наблюдений получен на европей-

ском северо-востоке, севере Западной Сибири и в Центральной Якутии (Павлов, Малкова, 2005). Однако и в этих районах пункты наблюдений отстают один от другого на огромные расстояния. Относительно более изученной является вечная мерзлота в зоне тундры. Центральная Сибирь остается белым пятном в отношении изученности геокриологических условий. В 1990 г. в рамках международного проекта CALM было оборудовано около 20 дополнительных наблюдательных площадок. Они функционируют и в настоящее время, но ряды этих наблюдений являются слишком короткими для климатических выводов.

В верхнем слое почвы (до глубины 3,2 м) ведутся наблюдения на метеорологических станциях, т. е. на фиксированных уровнях измеряется температура грунта. Наблюдения на некоторых станциях велись с начала XX века, но их ряды весьма неоднородны и плохо сравнимы в силу множества погрешностей. Начиная с 1930-х годов, наблюдения становятся более надежными, но и в эти годы в зоне вечной мерзлоты объем полученных данных очень мал. Так, в зоне вечной мерзлоты оказалось возможным обобщить данные наблюдений за температурой почвы по 31 пункту наблюдений, а в

зоне сезонного промерзания были систематизированы данные наблюдений 211 метеостанций.

### 2.6. Наблюдения за парниковыми газами

Под эгидой ВМО выполняется программа Глобальной службы атмосферы, которая, помимо мутности атмосферы, химического состава атмосферы, содержания аэрозоля и других характеристик атмосферы, включает сеть наблюдений за содержанием долгоживущих парниковых газов: диоксида углерода, метана, закиси азота, озона. Наблюдения за этими газами также входят в Глобальную программу наблюдений за климатом.

Диоксид углерода является одним из наиболее важных парниковых газов, поступающих в атмосферу в результате хозяйственной деятельности. В настоящее время глобальный мониторинг  $\text{CO}_2$  производится примерно на 100 наземных пунктах и на 22 станциях осуществляется непрерывный мониторинг этого газа в рамках программы ГСА. С точки зрения климатических требований, измерения должны гарантировать строгое соответствие протоколам калибрования и сравнения наблюдений.

Большое внимание в исследованиях уделяется более достоверной оценке источников и стоков парниковых газов и их влияния на концентрацию этих газов в атмосфере. С этой целью требуется более детальный мониторинг регионального и временного распределения концентрации парниковых газов, особенно на континентах (Яговкина и др., 2003).

Страны-участники Рамочной конвенции ООН по изменению климата периодически представляют в секретариат Конвенции сведения об эмиссии парниковых газов в атмосферу со своих территорий. Оценки основываются на результатах измерений, обобщенных сведениях о выбросах в атмосферу предприятий и на ориентировочных оценках скоростей обмена  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$  между атмосферой и подстилающей поверхностью.

В настоящее время на двух станциях — Териберка (Кольский п-ов) и Новый Порт (п-ов Ямал) — выполняется мониторинг концентрации  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$  (Парамонова и др., 2001).

Наблюдения за  $\text{CO}_2$  на станции Териберка проводятся с 1988 г., а в 1996 г. начаты измерения  $\text{CH}_4$ . С 2000 г. начаты измерения  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$  на станции Новый Порт. Измерения парниковых газов также ведутся в других ведомствах, в частности, в ИФА РАН (3 пункта наблюдений), в основном на Европейской территории России, а также в Санкт-Петербургском (СПбГУ) и Московском государственных университетах (МГУ) (по одной станции наблюдений в каждом). Однако только данные сети парниковых газов Росгид-

ромета регулярно поступают в Мировые центры данных в Канаде (озон) и в Японии (парниковые газы). Ряд научных групп, производящих измерения радиационно-активных газов, публикуют свои результаты в научной печати (МГУ, СПбГУ, НПО “Тайфун” и др.).

Эпизодически проводятся экспедиции в отдельных регионах России, где измеряются характеристики газового состава атмосферы путем организации временных стационарных пунктов наблюдений и пунктов на подвижных платформах. Результаты таких экспедиций сводятся в базы данных (например, данные 6–8 рейсов железнодорожного измерительного комплекса “ТРОИКА” ИФА РАН, 4 наземных экспедиций ГГО в арктические районы Западной Сибири), но эти базы данных не сведены в общий каталог.

В ИГКЭ собираются и систематизируются сведения от предприятий энергетики и промышленных предприятий о выбросах в атмосферу в основном загрязняющих веществ (окиси углерода, соединений серы и т. п.), часть которых можно отнести к парниковым газам и радиационно-активным газам. В последние годы ИГКЭ начал собирать информацию и о выбросах парниковых газов по результатам инвентаризации источников, вклад которых в эмиссию парниковых газов наиболее значителен, в частности от ТЭК. Эти сведения включаются в годовые отчеты о состоянии загрязнения воздушного бассейна страны и уровнях эмиссии парниковых газов. Последние также используются для подготовки национальных сообщений о выполнении статей 4 и 12 РККК каждые 4 года.

До настоящего времени в РФ отсутствует национальный центр по сбору, систематизации и хранению данных по радиационно-активным составляющим атмосферы, получаемых от учреждений разных ведомств.

### 2.7. Озонометрическая сеть наблюдений

Существенный вклад в парниковый эффект, сравнимый по порядку с вкладом метана, дает тропосферный озон, который составляет лишь 10% от общего содержания озона ( $\text{ОСО}$ ) в столбе атмосферы. Остальное количество озона, содержащееся в основном в нижней стратосфере, поглощает основную часть коротковолнового ультрафиолетового излучения Солнца и вносит небольшой отрицательный вклад в парниковый эффект.  $\text{ОСО}$  определяет уровень биологически опасного ультрафиолетового излучения у земной поверхности.

Озонометрическая сеть Росгидромета состоит из 27 станций и является составной частью мировой озонной сети ГСА (рис. 2.4). Результаты измерений направляются в Мировой центр данных по



## 2. СИСТЕМА НАБЛЮДЕНИЙ ЗА КЛИМАТОМ В РОССИИ



**Рис. 2.4.** Сеть наблюдений за общим содержанием озона (фиолетовые кружки) и пункты наблюдения за парниковыми газами (красные звездочки) Росгидромета. Помимо действующих в настоящее время пунктов наблюдений за парниковыми газами Териберка и Новый Порт, также показаны пункты на о. Котельный, о. Беринга, действовавшие до 1994 г.

озону в Канаде. Единая шкала измерений ОСО поддерживается регулярными сравнениями национального эталона и эталона ВМО.

### 2.8. Актинометрическая сеть наблюдений

В настоящее время актинометрическая сеть России насчитывает 186 станций, обеспечивающих получение информации об основных составляющих радиационного баланса на подстилающей поверхности (рис. 2.5).

Программа работы пунктов наблюдений разделяется на полную и сокращенную. Полная программа предполагает выполнение измерений пяти основных составляющих радиационного баланса: прямой, рассеянной, суммарной, отраженной радиации и радиационного баланса (с выдачей либо средних за каждый час суток либо мгновенных значений с дискретностью 3 ч). Сокращенная программа предполагает выполнение измерений суточных сумм одного элемента суммарной радиации. В 2006 г. по полной программе работали 115 пунктов, а по сокращенной — 71 пункт наблюдений.

### 2.9. Океанографические наблюдения

Океанографические наблюдения в РФ осуществляются на сети береговых и островных морских гидрометеорологических станций и постов, а также на дрейфующих буях и по программам судовых наблюдений. РФ участвует в различных программах океанографических наблюдений по линии ВМО, МОК, ЮНЕСКО и др. Выполняется ряд обязательств по линии ГСНК, Глобальной системы наблюдений за океанами (GOOS), Глобальной системы наблюдений за уровнем моря (GLOSS) и др.

**Температура поверхности моря.** Наблюдения за температурой поверхности ведутся на сети береговых и островных морских гидрометеорологических станций и постов, число которых в России составляет 180, а также по программам попутных судовых наблюдений и судов добровольных наблюдений (около 280 ежегодно).

**Уровень моря.** Измерения уровня моря выполняются на сети морских береговых и островных гидрометеорологических станций и постов 4 раза в сутки в сроки 0, 6, 12 и 18 ч ВСВ с помощью уровнемерных реек (футштоков). На станциях,





**Рис. 2.5.** Сеть актинометрических станций Росгидромета.

имеющих самописцы уровня, выполняется непрерывная запись изменения уровня воды в течение суток, на основании которой рассчитываются ежечасные значения уровня моря. Всего в настоящее время на территории РФ действует около 100 станций. Большинство действующих станций были открыты в 1930-х годах, что позволило накопить длительные ряды наблюдений.

В рамках программы GLOSS Россия имеет 14 станций, включая Мирный (Антарктида). В настоящее время в международные центры данных (Бидстон и Гонолулу) поступают сведения с 5 станций (Баренцбург, Мурманск, Нагаево, Туапсе и Петропавловск-Камчатский).

**Морской лед.** К современным видам ледовых наблюдений относятся: спутниковые наблюдения, авиационные наблюдения, наблюдения с поверхности. Визуальные авиационные ледовые наблюдения выполняются с самолетов и вертолетов разных типов с высот 100–600 м. К авиационным дистанционным средствам относятся аэрофото съемка, авиационное радиозондирование (радиолокационная съемка с помощью РЛС станций, работающих в одном или нескольких участках СВЧ диапазона). Важным источником информации об изменениях толщины льдов являются наблюдения на морских гидрометеорологических станциях Росгидромета, расположенных на побережье и ос-

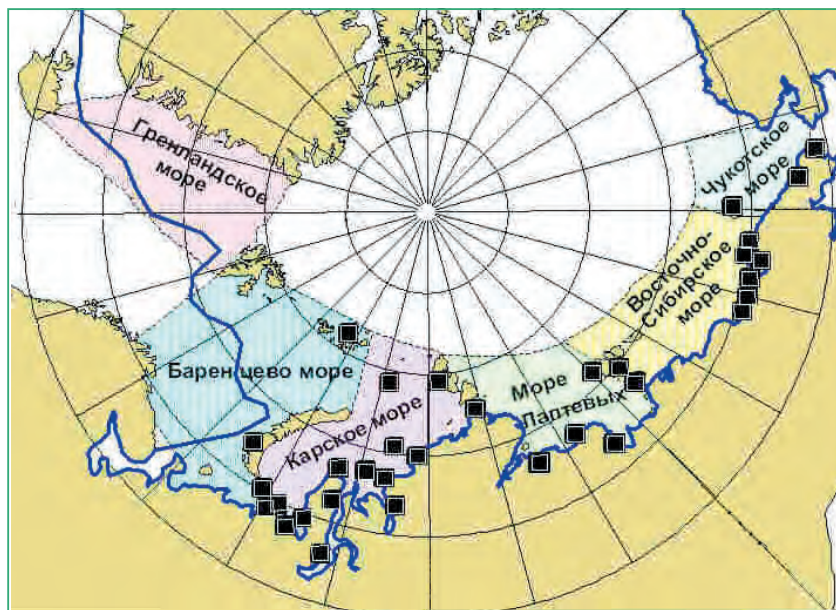
тровах арктических морей (рис. 2.6), а также судовые наблюдения и наблюдения на полигонах и дрейфующих станциях.

Ежегодно в РФ Росгидрометом, МПР, РАН и др. проводится порядка 20 экспедиций НИС, которые осуществляют гидрометеорологические и океанографические (физические и гидрохимические) наблюдения. РФ участвует в Программе судовых добровольных наблюдений (СДН): ежегодно передаются данные примерно с 280 рейсов. Ежегодно в рамках Международной программы арктических дрейфующих буев изготавливается и выставляется на лед в Арктическом бассейне 4–5 дрейфующих буев.

### 2.10. Спутниковые наблюдения за климатом

Будущая глобальная система наблюдений за климатом невозможна без спутниковой составляющей. Однако, чтобы спутниковые данные могли внести заметный вклад в долгосрочную программу измерений, должно быть обеспечено устойчивое функционирование системы наблюдений со спутников, необходимая точность и однородность измерений. В Плане реализации Глобальной системы наблюдений за климатом (GCOS-92, 2004) указаны характеристики, измерения которых пред-

## 2. СИСТЕМА НАБЛЮДЕНИЙ ЗА КЛИМАТОМ В РОССИИ



**Рис. 2.6.** Станции Росгидромета с морскими гидрометеорологическими наблюдениями (квадраты) в Арктике. Синяя линия показывает положение кромки льда в марте за период 1951–1980 гг.

ставляются исключительно важными и осуществимыми в настоящее время с помощью спутников. К ним относятся:

— *атмосферные характеристики*: осадки, радиационный баланс, включая приходящий поток солнечной радиации на верхней границе атмосферы, температура свободной атмосферы, включая микроволновое зондирование, направление и скорость ветра (особенно над океанами), водяной пар, свойства облаков, озон, свойства аэрозоля;

— *океанографические характеристики*: температура поверхности воды, уровень моря, морской лед, цвет воды (для оценки биологической активности);

— *характеристики поверхности суши*: снежный покров, ледники и ледяные шапки, альbedo, типы растительности, доля поглощенной фотосинтетически активной радиации, пожары.

Подробное описание современного состояния и перспективы совершенствования измерений указанных переменных с помощью спутников для мониторинга климатической системы даются в специальной публикации ГСНК (GCOS-107, 2006).

Многие указанные переменные могут быть доступны уже сейчас для широкого использования на регулярной основе при современных технологических возможностях. Однако требуется дальнейшее совершенствование алгоритмов нового анализа первичных радиационных измерений и их преобразования в климатические переменные. Более того, планы непрерывных измерений мно-

гих важных климатически значимых переменных потребуют еще какого-то времени для их воплощения в жизнь.

Для обеспечения мониторинга состояния климатической системы на территории России и сопредельных регионов чрезвычайно важно в дополнение к существующей наземной сети наблюдений Росгидромета и других ведомств РФ получать спутниковые измерения всех переменных, объявленных в Плане реализации ГСНК. При этом особое внимание заслуживают наблюдения за такими переменными, которые не могут быть в достаточной степени обеспечены регулярной сетью в Сибири, северных и полярных регионах России. В первую очередь, к ним относятся непрерывные наблюдения за протяженностью и концентрацией морского льда, снежного покрова, данные о пожарах, осадках, свойствах облаков и др.

Росгидромет выполняет функции оператора национальных космических систем дистанционного зондирования атмосферы, включая метеорологические космические системы (МКС), океанографические спутники серии “Океан-01” и спутники для изучения природных ресурсов серии “Ресурс-01”. Российская МКС включает среднеорбитальные космические аппараты на приполярной орбите серии “Метеор” и геостационарный аппарат “Электро” с точкой стояния 76° в. д. В соответствии с Федеральной космической программой России предусматривается развитие оперативных



спутниковых средств наблюдений за состоянием атмосферы, морей и океанов, поверхности суши, включая ледовый и снежный покров. Это позволит повысить достоверность прогнозов погоды разной заблаговременности и решать задачи в интересах исследования климата, а также контролировать озоновый слой Земли и радиационную обстановку в околоземном космическом пространстве и оценить антропогенные воздействия. Работы по созданию и развитию космических систем и дистанционного зондирования Земли возложены на Российское авиационно-космическое агентство (Росавиакосмос).

Космический аппарат “Метеор-3М” предназначен для получения данных:

- об облачности в видимом и инфракрасном диапазонах спектра;
- о температуре поверхности океанов и высоте верхней границы облачности;
- о местоположении и перемещении барических образований;
- о ледовой обстановке на акватории морей и океанов и протяженности снежного покрова на континентах;
- о результатах температурно-влажностного зондирования атмосферы, о зонах интенсивных осадков, интегральном влагозапасе облаков.

На борту также имеется американский экспериментальный прибор SAGE-III, предназначенный для определения вертикального распределения аэрозолей и малых газовых примесей в атмосфере.

Космический аппарат “Ресурс-01” включает приборы, позволяющие получать цифровые изображения подстилающей поверхности в нескольких спектральных диапазонах и предназначенные для решения широкого круга задач: мониторинга почвенного, растительного, снежного и ледового покровов, обнаружения и оценки последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера (наводнения, пожары, аварии на газо- и нефтепроводах и др.), изучения геологических структур и др.

Российско-украинская космическая система “Океан” функционировала в период 1983–1998 гг. и обеспечивала мониторинг поверхности Мирового океана, включая мониторинг ледяного покрова.

Наземный комплекс Росгидромета, находящийся в подчинении Научно-исследовательского центра космической гидрометеорологии “Планета”, осуществляет прием, обработку и распространение потребителям данных, получаемых со всех российских космических аппаратов типа “Метеор”, “Океан”, “Ресурс” и “Электро” и ряда зарубежных аппаратов типа “NOAA”, “Meteosat”, “GSM”.

### 2.11. Выводы

Существующие сети наблюдений России должны быть интегрированы с учетом национальных, региональных и глобальных приоритетов. Индекс плотности государственной метеорологической наблюдательной сети в России в среднем не превышает 10, т. е. один пункт наблюдений приходится на площадь 10 тыс. км<sup>2</sup> (в развитых странах Запада он равен 1–3), т. е. плотность метеорологической сети является недостаточной для изучения регионального климата и обеспечения задач экономического и социального развития страны в целом и отдельных экономических районов. Особое внимание следует уделить организации наблюдений в отдаленных и труднодоступных районах, в частности северных, особенно чувствительных к изменениям климата, и более широкому привлечению данных альтернативных систем наблюдений. В этой связи должны развиваться спутниковые системы зондирования атмосферы и подстилающей поверхности.

Вопросы оптимального размещения пунктов наблюдений имеют не только важное методическое, научное, но и экономическое значение в условиях ограниченного финансирования, с одной стороны, и увеличения экономической ценности гидрометеорологической информации в связи с учащением экстремальных погодных и климатических явлений, с другой стороны.

Кроме сети Росгидромета, на территории России функционируют отдельные пункты метеорологических наблюдений других ведомств (Минобороны, Министерства здравоохранения и социального обеспечения и ряда других). Ведомственные сети (по экспертной оценке составляют 30–40% числа пунктов наблюдений Росгидромета) функционируют независимо от метеорологической сети Росгидромета и поэтому не интегрируются в общенациональную сеть наблюдений за состоянием окружающей природной среды. Например, метеорологическая сеть Минобороны насчитывает до 600 станций, среди которых наибольший интерес представляют данные станций наблюдений, расположенных в труднодоступных районах Арктики, сеть наблюдений Росгидромета в которых представлена достаточно слабо.

В связи с присоединением РФ к Киотскому протоколу встает задача создания национальной системы мониторинга эмиссии и абсорбции парниковых газов, а также возрастает актуальность измерения фоновых концентраций парниковых газов в системе Росгидромета в рамках осуществления программы ГСА. Располагая самой большой в мире территорией, иметь лишь одну фоновую станцию, расположенную на крайнем северо-западе страны, явно недостаточно для непрерывного



## 2. СИСТЕМА НАБЛЮДЕНИЙ ЗА КЛИМАТОМ В РОССИИ

мониторинга концентраций парниковых газов в регионах с разными природными условиями и типами растительности в соответствии с требованиями ГСНК.

### 2.12. Литература

**ГОНС, 2003.** Список гидрометеорологических организаций наблюдательной сети Росгидромета, М., Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, 247 с.

**НС-4, 2006.** Четвертое национальное сообщение Российской Федерации, М., Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

**Павлов А. В., Малкова Г. В., 2005.** Инвентаризация наблюдательных сетей мониторинга криолитозоны России, Криосфера Земли, т. IX, № 2, с. 67–77.

**Парамонова Н. Н., Привалов В. И., Решетников А. И., 2001.** Мониторинг углекислого газа и

метана в России, Известия РАН. Физика атмосферы и океана, т. 37, № 1, с. 38–43.

**Яговкина С. В., Кароль И. Л., Зубов В. А., Лагун В. Е., Решетников А. И., Розанов Е. В., 2003.** Оценка эмиссии метана в атмосферу с территории газовых месторождений севера Западной Сибири с использованием трехмерной региональной модели переноса, Метеорология и гидрология, № 4, с. 49–62.

**GCOS-82, 2003.** The Second Report on the Adequacy of the Global Observing Systems for Climate in Support of the UNFCCC, WMO/TD-No. 1143, 73 p.

**GCOS-92, 2004.** Implementation Plan for the Global Observing System for Climate in Support of the UNFCCC, WMO/TD-No. 1244, 23 p.

**GCOS-107, 2006.** Systematic Observation Requirements for Satellite-based Products for Climate — Supplemental Details to Satellite-based Component of the Implementation Plan for the Global Observing System for Climate in Support of the UNFCCC, WMO/TD-No. 1338, 89 p.