

М.В. Кабанов

Итоги и задачи мониторинга современных природно-климатических изменений в Сибири

Институт оптического мониторинга СО РАН, г. Томск

Поступила в редакцию 12.11.2001 г.

Обсуждаются новые методы и некоторые результаты анализа природно-климатических изменений в Сибири по данным наблюдений на гидрометеорологической сети. На основании закономерностей, выявленных за период инструментально наблюдаемых региональных изменений, названных современными, анализируются задачи по развитию методологии и техники мониторинга природно-климатических систем и процессов, определяющих эволюцию их состояний. Оцениваются итоги научно-исследовательских и конструкторско-технологических работ Института оптического мониторинга СО РАН с позиций его основного научного направления.

Введение

Глобальные изменения окружающей среды и климата во второй половине XX в. приобрели крайне опасные темпы для устойчивого развития цивилизации на Земле. Емкая альтернатива «или будет спасен весь мир, или погибнет вся цивилизация», сформулированная Генеральным секретарем Конференции ООН по окружающей среде и развитию в Рио-де-Жанейро в 1992 г. Морисом Стронгом, стала обобщением неоспоримых к тому времени результатов научных исследований и способствовала принятию на уровне глав государств и правительств ряда стратегически важных для дальнейшего развития документов [1]. Результатами этого форума стали не только согласованные документы (Декларация Рио-де-Жанейро по окружающей среде и развитию, Рамочная конвенция ООН об изменении климата, Конвенция ООН о биологическом разнообразии и др.), но и целевые международные и национальные программы по ускоренному исследованию наблюдаемых глобальных изменений и преодолению дисбаланса между решением социально-экономических проблем и сохранением окружающей среды.

В Сибирском отделении РАН были также подготовлены региональные мультидисциплинарные проекты, направленные на исследования изменений окружающей среды и климата. Одним из первых в этом направлении стал проект «Климатоэкологический мониторинг Сибири», сформированный в ИОМ СО РАН и включенный с 1993 г. в состав региональной научно-технической программы «Сибирь». Научно-исследовательские работы по этому проекту, соисполнителями которого стали многие академические и вузовские организации, в последующем расширились в рамках как смежных интеграционных проектов, так и приоритетных направлений по фундаментальным исследованиям.

Принципиальное значение для успешного развития фундаментальных и прикладных исследований по

природно-климатическим изменениям в Сибири имеют ее планетарно-значимые особенности. Одна из таких особенностей состоит в том, что временная изменчивость метеорологических характеристик здесь наблюдается в повышенно-широком диапазоне, а их пространственная изменчивость характеризуется сложной зональной структурой. Поэтому мониторинг Сибири вызывает особый научный интерес в свете наблюдаемых глобальных изменений. Другая особенность обширного континентального региона Сибири связана со многими уникальными объектами планетарного значения как по природно-территориальным комплексам (бореальные леса, водно-болотные угодья, озеро Байкал и др.), так и по техногенным объектам (нефтегазодобывающим, угледобывающим, металлургическим, транспортным и др.). Поэтому мониторинг и моделирование региональных природно-климатических изменений в Сибири имеют и важное практическое значение.

Ниже обсуждаются избранные итоги и научные задачи по региональному мониторингу окружающей среды и климата в свете наблюдаемых глобальных изменений и с учетом особенностей взаимодействия природных и климатических систем в Сибири. Целевая ориентация предлагаемого обзора состоит в обсуждении наиболее значимых результатов исследований для дальнейшего развития концепции регионального мониторинга на основании материалов, публикуемых в настоящем тематическом выпуске статей, а также других публикаций на эту тему [2–4].

Некоторые таксономические закономерности

Длинные и однородные ряды инструментальных наблюдений на мировой сети метеостанций в настоящее время получены за достаточно длительный период (более 100 лет) и позволяют выявить закономерности

наблюдаемых изменений по многим параметрам природно-климатических систем. Учитывая, что некоторые из этих параметров или их совокупность могут рассматриваться как классификационные признаки (таксоны) для выделения в природно-климатической системе отдельных подсистем, закономерности по зональной (пространственной) структуре последних можно назвать таксономическими закономерностями.

Таксономические закономерности в температурном режиме, который можно рассматривать итоговым показателем (таксоном) многих природных и климатических процессов, выявлены путем статистической обработки временных рядов для приземной температуры воздуха. При статистическом анализе использовался временной ряд среднемесячных температур по метеостанциям Сибири за несколько последних десятилетий [5]. Для уменьшения влияния синоптических составляющих при обработке временной ряд рассматривался состоящий из трех составляющих: из долговременного тренда температуры, из среднего значения температуры для конкретного месяца и из отклонений (аномалий) среднемесячной температуры конкретных месяцев от их климатических значений. Результаты районирования по трендам температуры показаны на рис. 1, из которого видно, что во всех регионах Сибири происходит систематическое и неравномерное по территории повышение среднегодовых температур с трендом выше, чем на планете в среднем. При этом выделяются очаги ускоренного потепления с трендом до 0,5 °С/10 лет: один в Западной Сибири (в районе Сургута) и несколько очагов в Восточной Сибири (в том числе в районе Верхоянского полюса холода).

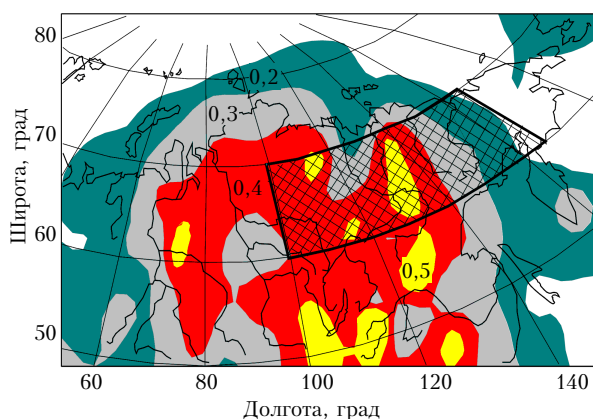


Рис. 1. Карта климатических зон Сибири по температурному тренду в приземном слое атмосферы

Для температурных полей в приземном слое атмосферы выявлены также региональные особенности в зависимости межсезонных колебаний среднемесячной температуры (амплитуды годового хода температуры A_T) от среднегодовой температуры T . Эта зависимость с высокой корреляцией близка к линейной:

$$A_T = \alpha (300 - T), \quad (1)$$

(T в кельвинах). Величина α для северного полушария равна 0,56, а для Сибири она принимает значения в

различных климатических зонах от 0,4 до 0,8. Подчеркнем, что зависимость (1) тесно связана с режимом переноса тепла и влаги в приземном слое атмосферы и открывает новые возможности для последующей интерпретации таксономических закономерностей.

Следующая таксономическая закономерность в Западной Сибири выявлена для грозовой активности [5], которая является обобщающим индикатором (таксоном) явлений и процессов, связанных с атмосферным и литосферным электричеством. На рис. 2 сплошными линиями с цифрами показана средняя продолжительность гроз за грозовой сезон, штриховые линии – границы исследованного региона. Обращает на себя внимание широтное распределение очагов с максимальной грозовой активностью (70 ч) вблизи той широты, на которой располагается Большое Васюганское болото.

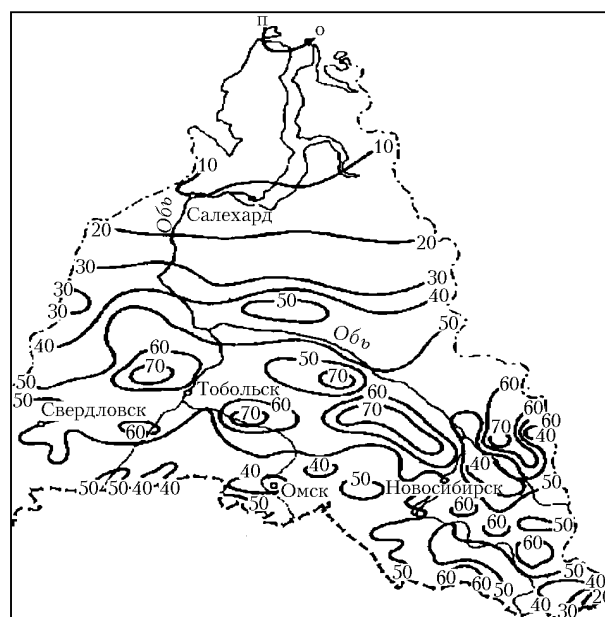


Рис. 2. Карта по среднегодовой продолжительности гроз (в часах) для Западной Сибири

Приведенные и ряд других описанных в [5] таксономических закономерностей показывают, что повышенные темпы потепления в Сибири имеют очаговый характер. Тем самым подтверждаются существенные региональные особенности наблюдаемых природно-климатических изменений и уточняются их пространственные масштабы. Из полученных данных следует, что для Сибири с особой остротой встает проблема создания нескольких базовых центров по наземному мониторингу в характерных природно-климатических зонах.

Некоторые темпоральные закономерности

При анализе временной изменчивости параметров природных или климатических систем обычно выявляются закономерности не только их межгодовой

изменчивости, но и периодичностей их изменения за несколько лет. Для общего обозначения выявляемых при этом закономерностей будем далее употреблять термин «темпоральные закономерности».

Темпоральные закономерности, которые следуют из обработки временных рядов тех или иных параметров природно-климатических систем, представляют собой необходимую экспериментальную основу как для тестирования различных моделей глобальных или региональных изменений, так и для оптимизации временных режимов мониторинга соответствующих систем. Поэтому выявление темпоральных закономерностей и разработка новых методов их выявления представляют особый интерес.

К числу перспективных методов статистического анализа временных рядов, которые в последние годы успешно используются и развиваются, относятся вейвлет-преобразования [6, 7]. В отличие от Фурье-преобразования этот метод с помощью солитоноподобной функции (вейвлета) позволяет выявить спектр статистически значимых периодов во временном ряде. Некоторые результаты вейвлет-анализа приведены в [8]. В данной статье проиллюстрируем эффективность вейвлет-преобразования (рис. 3). Из рисунка видно, что статистически значимые периоды (шкалы) по изменению среднегодовой температуры претерпели за последнее столетие заметную эволюцию. Масштабы периодов (шкалы) в 20–30 лет в начале XX в. постепенно трансформировались в масштабы около 15 лет с тенденцией к уменьшению и в масштабы 30–40 лет к объединению с большими масштабами в конце века.

Дополнительные темпоральные закономерности следуют из корреляционного анализа вейвлет-образов. В таблице приведены те корреляционные связи для периодичностей в температурных рядах, которые следуют из сопоставления вейвлет-образов для нескольких городов. Термином «периодичность» (в годах) названа нижняя граница вейвлет-образов по шкале «масштаб фильтра» (по фильтрующему параметру вейвлет-функции) 5, 11, 22 и 30 лет. Из таблицы видно, что по температурным периодам от 5 до 30 лет коэффициенты корреляции уменьшаются по мере удаления от базовой основы (от Томска), а для Благовещенска они вообще не имеют значимой величины для периодов 5, 11 и 22 года (поставлены прочерки). Только для масштаба 30 лет для всех указанных городов коэффициенты корреляции оказываются достаточно высокими. Обращает на себя внимание отклонение для Красноярска по 30-летнему масштабу, что можно

объяснить таким мощным антропогенным воздействием, как заполнение Красноярского водохранилища в 1967–1970 гг., т.е. в пределах этого периода.

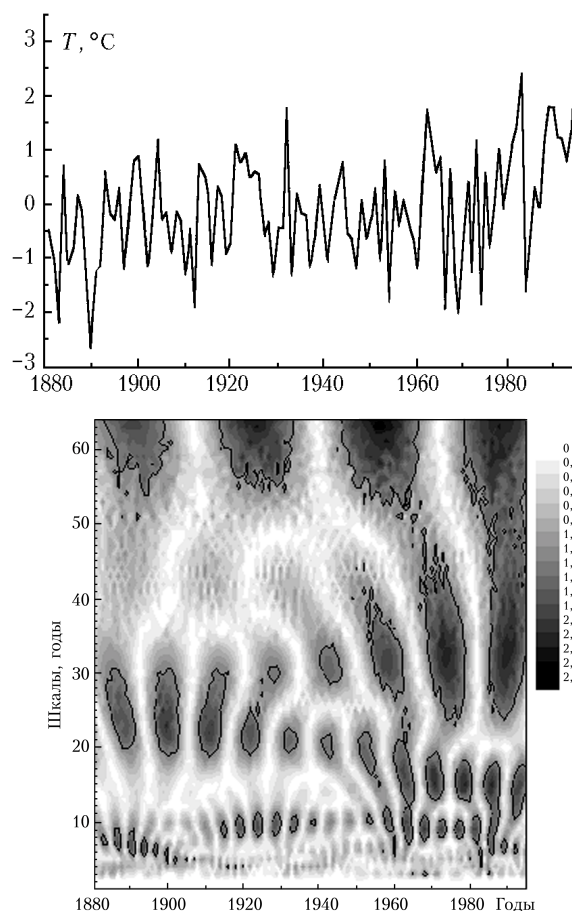


Рис. 3. Временной ряд среднегодовой температуры в Томске (вверху) и вейвлет-образ этого ряда (внизу)

Другой эффективный метод анализа природно-климатических изменений основан на разрабатываемом нами новом системно-эволюционном подходе и назван методом эволюционных траекторий [5]. Достоинство метода состоит в том, что с его помощью удастся вскрыть региональные особенности климатообразующих и средообразующих процессов без искажения сглаживающим осреднением, которое обычно применяют, чтобы устранить осциллирующий характер временного ряда и выявить закономерности долговременного тренда.

Коэффициенты корреляции для разных масштабов периодичностей в температурных рядах между Томском и другими городами

Периодичность, лет	Омск	Красноярск	Иркутск	Благовещенск
5	0,85	0,81	0,51	–
11	0,88	0,81	0,75	–
22	0,89	0,87	0,81	–
30	0,97	0,79	0,95	0,91

На рис. 4 показан пример для траекторий среднемесячной температуры по данным относительно близко расположенных метеостанций. Величина Z определяется суммой среднемесячных температур T_M (°C):

$$Z = \sum_1^N T_M, \quad (2)$$

где N – общее число месяцев за все суммируемые годы. Осцилляции кривых показывают межсезонные колебания температуры и, как видно из рисунка, не затегают траекторию огибающей межгодовой изменчивости. Отчетливые изломы приведенных эволюционных траекторий (например, в середине 60-х и 80-х гг.)

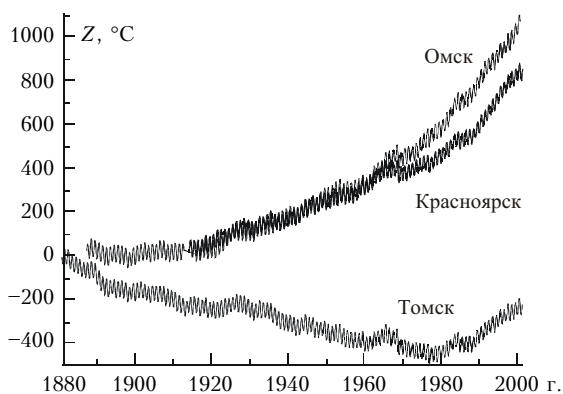


Рис. 4. Траектории сумм среднемесячных температур Z в приземном слое атмосферы

совпадают по времени и характеру, что и следовало ожидать для трех городов, находящихся в одной климатической зоне. Вместе с тем четкое разделение этих траекторий в выбранной системе координат открывает широкие возможности для дальнейшего более тонкого анализа имеющихся региональных особенностей и для их строгого математического описания. В частности, отмеченный низкий коэффициент корреляции для 30-летней периодичности по Красноярску (см. таблицу) наглядно подтверждается расхождением эволюционных температурных траекторий Омска и Красноярска после заполнения Красноярского водохранилища.

Приведенные и ряд других описанных в [5, 9, 10] темпоральных закономерностей для Сибири показывают, что при их исследованиях наряду с традиционными методами статистического анализа эффективными оказываются и некоторые новые методы. Результаты анализа с помощью этих методов показывают, что эволюционные траектории по отдельным параметрам природно-климатической системы в Сибири заметно отличаются между собой и от соответствующих траекторий для наблюдаемых глобальных изменений. Отсюда вытекает необходимость территориального объединения сетей целевых мониторингов (гидрометеорологического, актинометрического, атмосферно-электрического, экологического и др.). В настоящее время определен опыт в этом направлении накоплен в Климато-экологической обсерватории

ИОМ СО РАН и при выполнении интеграционных программ СО РАН.

Новые методы и технические средства мониторинга

По мере выявления новых закономерностей и проблем моделирования региональных природно-климатических изменений все отчетливее вскрываются существующие недостатки традиционного мониторинга окружающей среды и климата, связанные со слабым приборным и геоинформационным обеспечением в части режима и формата инструментальных наблюдений как при наземном, так и при аэрокосмическом мониторинге [2, 11]. Современные требования к базе необходимых экспериментальных данных для моделирования и прогнозирования в определяющей мере стимулируют разработку новых методов и технических средств для мониторинга окружающей среды и климата.

В ИОМ СО РАН на сохранившейся конструкторско-технологической базе в последние годы разработан ряд новых приборов, отвечающих современным требованиям и работающих на Геофизическом стационаре Института в мониторинговом режиме параллельно с традиционными инструментальными средствами. Среди таких приборов, обладающих новыми функциональными возможностями для экспериментальных исследований в натуральных условиях, отметим автономный метеорологический комплекс АМК, мини-содар МС и многоканальный геофизический регистратор МГР. Все они, являясь малоинерционными, могут регистрировать одновременно средние значения измеряемых параметров и их производные в реальном масштабе времени, а также обеспечивают гибкую компьютерную обработку данных.

Для иллюстрации на рис. 5 приведен пример 3-минутной записи сигналов от датчиков АМК по температуре T , компонентам ветра (скорость V и направление F горизонтальной компоненты и скорость W вертикальной компоненты), а также текущие значения давления P и влажности $Нв$. Последующая компьютерная обработка таких сигналов с учетом их функциональной связи и калибровки датчиков позволяет получать значения многих атмосферных параметров (более 10) с приемлемой точностью. Более подробное описание этого и других названных приборов содержится в публикуемых в данном номере обзорах.

Наряду с упомянутыми выше новыми измерительными приборами, уже разработанными и тиражируемыми не только в ИОМ СО РАН, но и в ряде зарубежных фирм, в завершающей стадии разработок находятся и многие другие. В ИОМ СО РАН к таким приборам относятся: лазерный измеритель нижней границы облаков, модернизированный ртутный газоанализатор РГА, стационарный аэрозольный поляризационный лидар АПЛ. Имеются рекламные проспекты отечественных и зарубежных фирм и по многим другим приборам, представляющим интерес для мониторинга

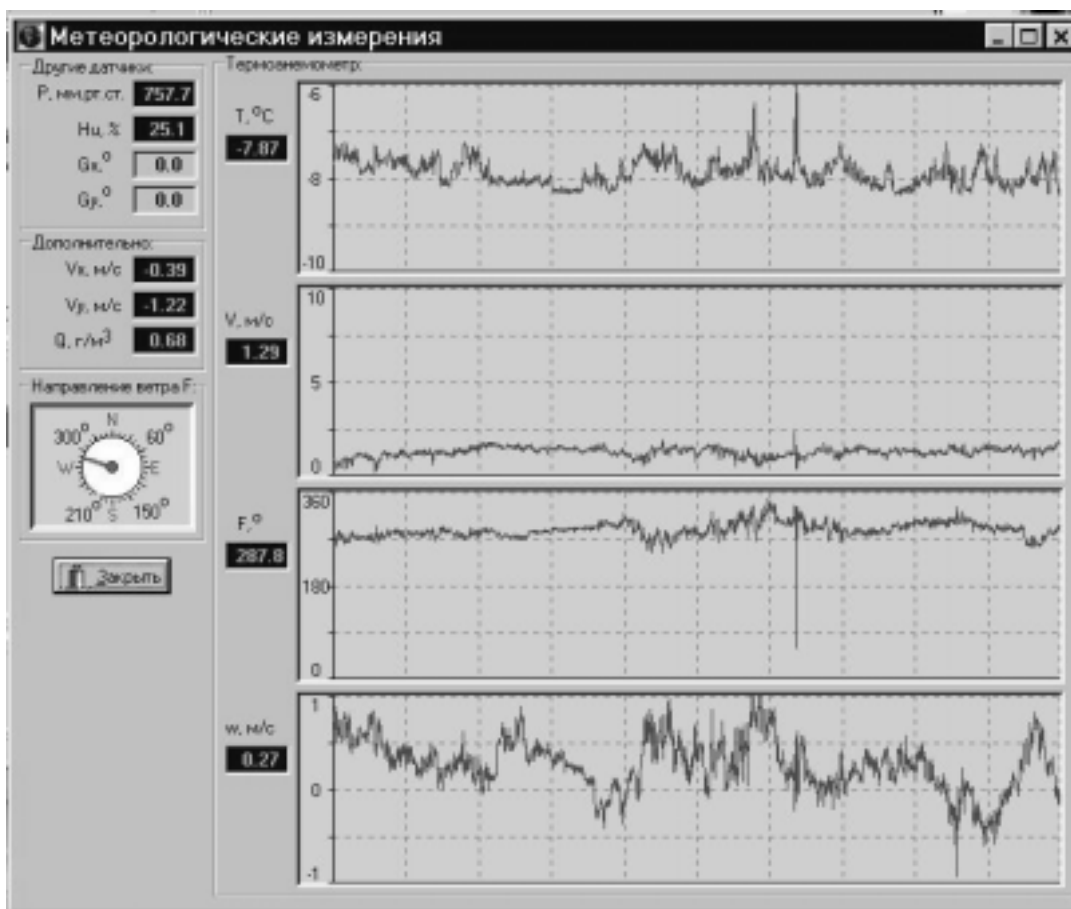


Рис. 5. Отображение сигналов от датчиков АМК на экране монитора

природно-климатических изменений. Среди этих технических средств мониторинга, безусловно, особое место занимают методы и техника дистанционного зондирования окружающей среды. В связи с этим обсуждаемые в обзорных статьях юбилейного выпуска журнала достижения ИОМ СО РАН по нелинейным оптическим преобразователям частоты, являющимся важнейшим элементом при дистанционном лазерном зондировании, представляются перспективными для развития технических средств нового поколения.

Заключение

Обсужденные выше исследования закономерностей глобальных и региональных природно-климатических изменений по данным инструментальных наблюдений, а также разработка новых методов и технических средств для развития мониторинга физического состояния и процессов, протекающих в окружающей среде, представляют собой основные разделы научно-технического направления, которое можно назвать экспериментальной физикой природно-климатических изменений. С этой точки зрения известные теоретические исследования физических состояний и процессов в окружающей среде, а также основанное на выявленных закономерностях моделирование природно-климатических изменений можно назвать теоретической физикой природно-климатических изме-

нений. Такой взгляд на исследования современной динамики глобальных и региональных природно-климатических систем в настоящее время становится общепризнанным [12] и обеспечивает необходимую научно-методическую основу для развития мониторинга наблюдаемых изменений как в части приборного обеспечения, так и по его технологии.

Другая совокупность задач при исследованиях современных природно-климатических изменений связана с научно-организационной стороной мониторинга этих изменений. Дело в том, что при многопараметрической зависимости природно-климатических систем и процессов, определяющих эволюцию их состояний, организация мониторинга лишь по отдельным параметрам состояния или по отдельным процессам практически исключает возможность их однозначной интерпретации. Необходим комплексный мониторинг одновременно всех компонентов окружающей среды (атмосферы, гидросферы и литосферы) и всех определяющих их состояние процессов (физических, химических, биологических, антропогенных). Именно в этом направлении просматриваются основные задачи по организации комплексного регионального мониторинга, осуществляемого в ИОМ СО РАН при выполнении интеграционных (мультидисциплинарных) научно-исследовательских программ по проектам СО РАН, Минпромнауки РФ и по ряду международных проектов.

1. *Коптюг В.А.* Конференция ООН по окружающей среде и развитию (Рио-де-Жанейро, июнь 1992 г.). Информационный обзор СО РАН, Новосибирск, 1992. 62 с.
2. *Кабанов М.В.* Региональный мониторинг атмосферы. Часть 1. Научно-методические основы. Томск: Изд-во СО РАН, 1997. 210 с.
3. *Кондратьев К.Я.* Итоги специальной сессии Генеральной ассамблеи ООН // Вестн. РАН. 1998. Т. 68. № 1. С. 30–40.
4. *Заварзин Г.А., Котляков В.М.* Стратегия изучения Земли в свете глобальных изменений // Вестн. РАН. 1998. Т. 68. № 1. С. 23–29.
5. *Региональный мониторинг атмосферы. Часть 4. Природно-климатические изменения* / Под ред. чл.-кор. РАН М.В. Кабанова. Томск: «Раско», 2000. 269 с.
6. *Астафьева Н.М.* Вейвлет-анализ: основы теории и примеры применения // Успехи физ. наук. 1996. Т. 166. № 11. С. 1145–1170.
7. *Torrence C., Compo G.P.* A practical guide to wavelet analysis // Bull. Amer. Meteorol. Soc. 1998. V. 79. № 1. P. 61–78.
8. *Ипполитов И.И., Кабанов М.В., Логинов С.В.* Вейвлет-преобразования при анализе природно-климатических изменений // Оптика атмосф. и океана. 2002. Т. 15. № 1. С. 21–28.
9. *Региональный мониторинг атмосферы. Часть 2. Новые приборы и методики измерений* / Под ред. чл.-кор. РАН М.В. Кабанова. Томск: Изд-во СО РАН, 1997. 294 с.
10. *Региональный мониторинг атмосферы. Часть 3. Уникальные измерительные комплексы* / Под ред. чл.-кор. РАН М.В. Кабанова. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1998. 238 с.
11. *Кондратьев К.Я., Крапивин В.Ф., Пшенин Е.П.* Концепция регионального геоинформационного мониторинга // Исследования Земли из космоса. 2000. № 6. С. 3–10.
12. *Монин А.С., Шишков Ю.А.* Климат как проблема физики // Успехи физ. наук. 2000. Т. 170. № 4. С. 419–445.

M.V. Kabanov. Results and problems of monitoring of modern natural and climate changes in Siberia.

New methods and some results of analysis of natural and climate changes in Siberia based on data of hydrometeorological net observations are discussed. Certain regularities were revealed over the period of instrumented observations of regional changes. They were called the modern changes. The problems of development of methodology and instruments for monitoring of natural and climate changes and processes determining an evolution of their states are analyzed on the basis of the modern changes. The results of research and design works carried out at the Institute for Optical Monitoring SB RAS are estimated with respect to its general scientific field of investigations.