

МОНИТОРИНГ КЛИМАТИЧЕСКИХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

**40 лет Институту мониторинга климатических
и экологических систем СО РАН:
целевые задачи научных исследований**

М.В. Кабанов, В.А. Крутиков, А.А. Тихомиров*

*Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН
634021, г. Томск, пр. Академический, 10/3*

Поступила в редакцию 22.10.2011 г.

Ряд опубликованных обзорных статей в данном тематическом выпуске не полностью отражают весь спектр научных исследований Института в связи с ограничениями по объему журнала. В определенной мере восполнением этого недостатка является настоящая вступительная статья, в которой продолжается обсуждение по основным и неординарным этапам формирования и развития научного направления Института [1].

Неординарность развития Института состоит в том, что на всех этапах его целевые задачи определялись не столько его статусом и кадровым потенциалом, сколько востребованностью результатов исследований и разработок. Именно востребованность, обеспеченная финансированием, способствовала в первые годы успешному формированию кадрового потенциала и материально-технической базы. В последующие годы востребованность результатов мониторинга и моделирования наблюдаемых природно-климатических изменений стала определяться необходимостью комплексного контроля этих изменений, достигших в ряде регионов планеты уровня мировой и национальной безопасности [2–4].

Ретроспектива целевых задач

В развитии научных направлений и материально-технической базы Института за прошедшие годы можно выделить два 20-летних этапа с отличающимися целевыми задачами.

Первый этап (1972–1992 гг.) – это развитие в статусе хозрасчетного академического учреждения с названием Специальное конструкторское бюро научного приборостроения «Оптика» (СКБ НП «Оптика») под научным руководством Института оптики атмосферы Сибирского отделения АН СССР (ИОА). Целевые задачи СКБ НП «Оптика» были поставлены академиком В.Е. Зуевым и состояли в ускоренном развитии оптико-электронного прибо-

ростроения, в том числе в разработке технических средств лазерного зондирования атмосферы (лидаров). На этом этапе в СКБ НП «Оптика» совместно с учеными ИОА был создан широкий спектр научных приборов и устройств различного назначения (аэрозольные лидары, оптические нефелометры, лабораторные лазерные стенды, лазерные навигационные системы и др.). Опыт по разработкам новых приборов, сопровождаемых защитой кандидатских и докторских диссертаций, и сложившаяся конструкторско-технологическая база СКБ НП «Оптика» обеспечили к концу 1980-х гг. создание совместно с ИОА первого в СССР лидара космического базирования «БАЛКАН» для пилотируемой орбитальной станции «Мир» (функционировал на модуле «Спектр» до затопления станции).

Второй этап (1992–2012 гг.) – это развитие в статусе научно-исследовательского института СО РАН (с нынешним названием с 2003 г.). Формирование научной тематики и кадрового состава Института было поручено чл.-корр. РАН М.В. Кабанову (директору Института до 2008 г.).



Михаил Всеволодович Кабанов, доктор физико-математических наук, профессор, член-корреспондент РАН. Директор ИМКЭС СО РАН (1992–2008). Советник РАН (с 2008 г. по настоящее время)

* Михаил Всеволодович Кабанов (kabanov@imces.ru); Владимир Алексеевич Крутиков (krutikov@imces.ru); Александр Алексеевич Тихомиров (tikhomirov@imces.ru).

Целевые задачи Института в новом статусе в этот период состояли не только в разработке новых технических средств для атмосферно-физических исследований, но и в самостоятельном проведении фундаментальных и прикладных исследований региональных климато-экологических процессов. В конструкторско-технологическом отделении был осуществлен переход от создания уникальных измерительных систем (типа высотного лидара с лазерным зондированием атмосферы до высот в 80 км) к разработке автономных приборов для работы в полевых условиях. Благодаря прогрессу в области информационных технологий развитие этого направления перешло на уровень создания информационно-измерительных систем, работающих в режиме «on-line». Сохранившиеся конструкторско-технологическая база и кадровый потенциал бывшего СКБ НП «Оптика» в настоящее время составили основу для сформированного в ИМКЭС Отделения научного приборостроения (руководитель д.т.н. А.А. Тихомиров).



Александр Алексеевич Тихомиров, доктор технических наук, профессор, работает в Институте с 1972 г. Заместитель директора ИМКЭС СО РАН (с 1990 г. по настоящее время)

Стартовое формирование научно-исследовательского сектора Института было заложено переводом из ИОА тематической научной группы. Последующее наращивание научного потенциала осуществлялось приглашением в Институт отдельных ученых и научных групп, активно работающих по тематике, соответствующей уставным задачам Института. В числе приглашенных ученых, возглавивших в Институте научные лаборатории: д.ф.-м.н. И.И. Ипполитов (лаборатория физики климатических систем), д.г.н. А.В. Поздняков (лаборатория самоорганизации геосистем), д.ф.-м.н. Е.П. Гордов (МИЦ «Климато-экологические исследования и образование»), д.ф.-м.н. В.А. Крутиков (лаборатория геоинформационных технологий), д.ф.-м.н. В.А. Тартаковский (лаборатория биоинформационных технологий). В настоящее время эти лаборатории входят в состав Отделения геофизических исследований, возглавляемого директором ИМКЭС (с 2008 г.) д.ф.-м.н. В.А. Крутиковым.



Владимир Алексеевич Крутиков, доктор физико-математических наук. Заместитель директора ИМКЭС СО РАН (2000–2008). Директор ИМКЭС СО РАН (с 2008 г. по настоящее время)

Особо важное значение для формирования тематики Института имело его объединение в 2003 г. с Томским филиалом Института леса СО РАН. Это объединение устранило административные барьеры на пути интегрированных исследований климатических и экологических систем. Образованное в Институте Отделение экологических исследований (руководитель д.г.н. А.Г. Дюкарев) хотя и осталось под научно-методическим руководством ОУС СО РАН по биологическим наукам, успешно вошло в тематику и отчетность Института, в целом работающего под руководством ОУС СО РАН по наукам о Земле.

Важное значение для усиления тематики Института имел также переход в 2009 г. из ИОА в ИМКЭС чл.-корр. РАН В.В. Зуева (с сотрудниками), возглавившего лабораторию геосферно-биосферных взаимодействий в составе Отделения геофизических исследований и координирующего развитие лидарных методов исследований в Институте.

Подводя итоги пройденного пути, Комиссия Президиума СО РАН так сформулировала результаты комплексной проверки Института в 2010 г.: «Институт является ведущим академическим учреждением РАН и СО РАН в области научно-методических исследований и разработки информационно-измерительных систем в целях комплексного изучения современных климато-экологических изменений в Сибири. Проводимые в Институте исследования выполняются в соответствии с основными направлениями научной деятельности». А основные научные направления Института, утвержденные постановлениями Президиума СО РАН и Президиума РАН в 2008 г., в настоящее время формулируются следующим образом:

- научные и технологические основы мониторинга и моделирования климатических и экосистемных изменений под воздействием природных и антропогенных факторов;

- научные основы создания новых приборов, элементов и материалов для контроля окружающей среды.

Полученная достаточно высокая оценка научной деятельности Института за прошедшие годы и уточнение его основных научных направлений означают и неизбежное обсуждение целевых задач Института на последующие годы. Ниже рассматриваются наиболее существенные из этих задач.

Современные целевые задачи

Результаты обобщения мировых фактических данных по изменениям окружающей среды и климата в Четвертом оценочном докладе, представленном Межправительственной группой экспертов по изменению климата (2007 г.), а также анализ данных в аналогичном Оценочном докладе по изменениям климата и их последствиям на территории Российской Федерации (2008 г.), показывают, что наблюдаемые глобальные изменения на планете характеризуются существенными различиями по направлению и темпам этих изменений в разных регионах. На этом основании интегрированные региональные исследования, в том числе интегрированный мониторинг региональных природно-климатических процессов, отмечаются как приоритетные направления дальнейших исследований. Это необходимо как для более полного понимания и уточнения представленных оценок характеристик глобальных процессов, так и для разработки и практической реализации рекомендаций по возможным адаптационным мерам для смягчения их негативных последствий на региональном уровне.

Современные научно-технические достижения по измерительным средствам (для наземных и аэрокосмических наблюдений), а также по информационно-вычислительным и коммуникационным технологиям в настоящее время обеспечивают качественно новые возможности для такого мониторинга.

Интегрированный мониторинг природно-климатических процессов

Для обширной и малонаселенной территории Сибири с широким разнообразием природно-климатических зон создание сети интегрированного климато-экологического мониторинга имеет особую актуальность. Востребованность такой сети мониторинга определяется как перспективами крупномасштабного промышленного освоения территории в условиях повышенных природно-климатических рисков, так и наличием того научно-образовательного потенциала Сибири, который способен решать поставленную проблему на современном мировом уровне. Имея это в виду, Президиум СО РАН в 2008 г. поручил Институту как головной организации выполнение интеграционного проекта «Приборное и методическое обеспечение мониторинга природно-климатических процессов Сибири» (научный руководитель чл.-корр. РАН М.В. Кабанов). Соисполнителями этого заказного проекта являются 10 институтов СО РАН, а также ряд сибирских университетов.

Данный проект является частью долгосрочной программы, нацеленной на комплексное изучение изменений геосистем и климатических условий в регионах Сибири на основе проведения многокомпонентного мониторинга с использованием инструментальных измерений характеристик атмосферы, биосферы и гидросферы. Первые шаги по реализации долгосрочной межрегиональной целевой программы совпадают с шагами, предпринимаемыми в рамках национальных программ рядом стран мира (Китай, США, Бразилия и др.), и ставят задачу создания опорной сети интегрированного мониторинга как территориально распределенного центра коллективного пользования, обеспечивающего многофакторный контроль природно-климатических изменений и оценку рисков природопользования на территории Сибири. В соответствии с разработанной в Институте концепцией такого мониторинга [5] необходимо решение следующих основных задач:

- разработка научно-методических основ по оптимальному размещению и необходимому составу измерительных средств;

- комплектация опорной сети интегрированного мониторинга унифицированными измерительными средствами;

- разработка новых информационно-измерительных систем, включая автономные измерительные комплексы, и информационно-вычислительных технологий для формирования Сибирского банка данных наблюдений и реанализа;

- разработка научно-технологических основ по регламенту и формату наблюдений для сопряженного анализа наземных и аэрокосмических данных, а также результатов математического моделирования.

Ожидается, что результаты решения этих задач позволят выйти на новый уровень фундаментальных исследований по закономерностям наблюдаемых изменений. Практическая значимость таких результатов связана с созданием необходимой информационной базы для экспертизы и принятия обоснованных управленческих решений по социально-экономическому развитию Сибири с учетом природно-климатических рисков.

Интегрированные исследования болотных экосистем

Среди целевых задач, связанных с созданием опорной сети мониторинга, особое место в Институте занимает блок целевых задач, связанных с исследованиями в тех природно-климатических зонах, которые заняты преимущественно болотными системами. Непреходящий мировой интерес к исследованиям таких систем определяется не только их планетарно значимой климаторегулирующей и средообразующей функцией, но и теми практическими задачами, которые связаны с необходимой оценкой экологических последствий при промышленном освоении заболоченных территорий [6].

Интегрированные исследования болотных систем были начаты Институтом на таком уникальном

природном объекте, как Большое Васюганское болото (БВБ), которое является крупнейшим в мире по занимаемой площади (более 50 тыс. км²), по водозапасу в болотных озерах (более 400 км³) и по накопленным за 10 тыс. лет торфяным залежам (более 1 млрд т). Одновременно БВБ является той водораздельной территорией, которая в значительной мере формирует гидрохимический режим Западно-Сибирской равнины.

Первые результаты исследований климатических и экологических особенностей БВБ с участием 15 организаций-соисполнителей СО РАН и университетов были опубликованы в сборнике «Большое Васюганское болото. Современное состояние и процессы развития» [7]. Дальнейшие исследования позволили установить ряд эмпирических закономерностей как по процессам болотообразования в прошлом, так и по наблюдаемым в настоящее время сезонным колебаниям температурного режима, атмосферной циркуляции и баланса парниковых газов на территории БВБ. В частности, было показано, что положительный баланс (превышение стока над эмиссией) парниковых газов при ожидаемых по Четвертому оценочному докладу МГЭИК сценариях потепления сохранится до конца XXI в. [8]. Целевая задача дальнейших исследований состоит в уточнении и обосновании универсальности полученных закономерностей для болотных экосистем на разных широтах.

Электромагнитный мониторинг геодинамических процессов

На основе анализа многолетних натурных исследований пространственно-временной структуры естественного импульсного электромагнитного поля Земли (ЕИЭМПЗ) [9, 10] в Институте развита физическая модель формирования регистрируемого естественного импульсного электромагнитного поля Земли диапазона очень низких частот (ОНЧ) примерно 3–30 кГц.

Спектральный анализ многолетних временных рядов регистрируемых электромагнитных импульсов показал, что значительная их доля возникает в земной коре и вызвана двумя процессами: суточным и годовым вращением Земли и эксцентричным смещением внутреннего твердого ядра Земли относительно центра планеты. Стабильность вращения Земли обеспечивает стабильность обнаруженных ритмов и точное совпадение спектральных полос геофизических полей со спектральными характеристиками вращения Земли. Непрерывное перемещение элементов земной коры сопровождается процессами преобразования механической энергии в электромагнитную. Следствием этих преобразований является поток электромагнитных импульсов из литосферы. Изменение интенсивности потока импульсов во времени в значительной мере воспроизводит ритмы движения земной коры. Таким образом, ЕИЭМПЗ можно рассматривать как инструмент оперативного контроля процессов в земной коре и на этой основе восстановить картину разви-

тия глубинных тектонических процессов во времени и в пространстве. Более того, в 2009 г. получен патент на «Способ определения пространственного положения и параметров движения внутреннего ядра Земли» [11], а в 2010 г. подана заявка на изобретение «Способ геофизической разведки», и получено положительное решение.

На этой фундаментальной основе в Институте разработаны методические принципы для создаваемой пассивной геоинформационной технологии ОНЧ-мониторинга мезомасштабных и локальных структур и геодинамических процессов в земной коре. Разработан и успешно прошел многолетние полевые испытания базовый вариант многоканального программируемого геофизического регистратора электрической и магнитной компонент в ОНЧ-диапазоне – «МГР-01», который зарегистрирован как средство измерения [12]. С его помощью проводится анализ как временных, так и пространственных вариаций интенсивности ЕИЭМПЗ, характеризующих геодинамику литосферы в ближней и дальней волновых зонах [13] и связанных с ними изменений климатических и экологических систем.

Практическая работа по использованию ОНЧ-мониторинга литосферы была проведена для анализа геодинамических процессов в грунтах по трассе ряда магистральных газопроводов компании «Газпром трансгаз». Напряженно-деформированное состояние грунтов и горных пород оценивалось на основе радиоволновых методов по параметрам ЕИЭМПЗ и магнитотеллурических токов. Полученные пространственные вариации интенсивности регистрируемых полей позволили выделить аномальные геодинамические зоны по трассе и обосновать местоположение пунктов постоянного мониторинга.

В результате комплексного электромагнитного мониторинга геодинамических процессов в ОНЧ-диапазоне появляются уникальные возможности использования глубинных деформационных волн для решения широкого спектра фундаментальных и прикладных задач. Идущие из нижней мантии деформационные волны несут информацию не только о движении самого ядра (практически в масштабе реального времени), но и обо всей трассе своего распространения. В пространственно-временной структуре потока регистрируемых и генерируемых приповерхностным слоем земной коры импульсов, возбужденных деформационными волнами, содержится информация о трассах их распространения и о наличии на их пути неоднородностей и препятствий, в том числе и в виде месторождений нефти и газа.

Целевые задачи Института по этому научному направлению состоят в дальнейшем развитии ОНЧ-мониторинга литосферных и климатообразующих геодинамических процессов и в создании сети разнесенных в пространстве станций наблюдения. Такая сеть станций позволит в реальном масштабе времени обнаруживать зарождение аномалий, следить за их состоянием и, следовательно, существенно снизить или полностью исключить случаи

аварийных и нештатных ситуаций и явлений при развитии природных и техногенных процессов.

Новые задачи приборостроения

Новые целевые задачи научных исследований, обусловленные проведением интегрированного мониторинга природно-климатических процессов, определяют и новые задачи научного приборостроения в Институте, связанные с разработкой не только отдельных измерительных приборов, но и информационно-измерительных комплексов для территориально распределенной сети интегрированного мониторинга. Сложность решения этих новых задач связана с широким пространственно-временным диапазоном контролируемых метеорологических процессов. По пространственным масштабам их диапазон — от микроклиматических в сотни метров до макроклиматических — в сотни километров, по временным масштабам — от пульсационных (турбулентных) в долях секунд до медленно протекающих суточных, сезонных и годовых процессов.

При решении проблем инструментального обеспечения интегрированного мониторинга [5], следуя работе [14], можно выделить две основные задачи: прогностическую и охранную. Для сетевого мониторинга природно-климатических процессов эти задачи можно сформулировать следующим образом. Первой является организация регулярных наблюдений за самими процессами или их какими-либо индикаторами, многие из которых отмечены в [5]. Проведение комплексных регулярных наблюдений за климатом и состоянием окружающей среды в пунктах наблюдений с использованием информационно-измерительных комплексов обеспечит создание банков данных и временных рядов наблюдений. Анализ получаемых данных позволит выявить закономерности наблюдаемых процессов, проводить моделирование региональных природно-климатических изменений и прогнозировать их дальнейшее развитие, а также последствия и возникающие риски для природной среды, техносферы и населения.

Задачей охранного мониторинга является снижение риска от быстро развивающихся процессов, например землетрясений либо опасных метеорологических явлений (ОМЯ), таких как шквалы или перенос загрязняющих веществ при техногенных катастрофах. При решении этой задачи информационно-измерительный комплекс должен отслеживать экстремальную фазу опасного процесса и по возможности обеспечивать выполнение мероприятий, необходимых для минимизации последствий этого процесса (включая автоматические действия). При организации этого вида мониторинга необходимо определить критерии опасных факторов [13–15], чтобы система мониторинга могла выдавать тревожное сообщение в пункт принятия решения, например в дежурную часть регионального управления МЧС.

В последние годы в институте разработан прототип информационно-измерительной системы (ИИС)

для регионального мониторинга приземного атмосферного слоя и прогноза ОМЯ [16]. С декабря 2010 г. ИИС в составе трех постов автоматических метеостанций АМК-03 работает в непрерывном мониторинговом режиме для набора рядов статистических данных по значениям полей метеорологических величин в окрестностях Томска. С помощью этой ИИС предполагается отработка методик по решению обеих задач, обозначенных выше.

При работе ИИС возникает необходимость передачи получаемой измерительной информации с постов наблюдений на центральный сервер. Для этих целей разработан специальный контроллер передачи данных, который соединяет измерительные приборы постов наблюдений с сервером, обеспечивающим хранение и первичную обработку получаемой информации. Передача осуществляется через Интернет (Intranet) с помощью встроенного в контроллер интерфейса связи Ethernet (кабельный канал) или GSM-GPRS-модема. В действующем прототипе ИИС с целью уменьшения объема передаваемого информационного трафика датчики метеорологических параметров ДСВ-15, являющиеся основой АМК-03 [17], настроены на частоту измерения метеорологических величин 10 Гц. В состав ДСВ-15 входят ультразвуковой термоанемометр, который обеспечивает измерение первичных физических величин для вычисления трехкомпонентного вектора скорости ветра и температуры воздуха, а также датчики атмосферного давления и влажности, которые вырабатывают электрические сигналы, пропорциональные этим метеовеличинам. В контроллерах каждого поста проводится усреднение получаемых сигналов по 10 измерениям, и пакеты электрических сигналов по каналам связи с частотой 1 Гц передаются на сервер, где с использованием программы «МЕТЕО 3.0» на основе известных алгоритмов вычисляются значения искомым метеовеличин, усредненных за 1-секундный интервал измерений. С учетом служебных слов объем каждого передаваемого пакета не превышает 30 байт. Полученная за многомесячный период работы ИИС информация о значениях быстро изменяющихся метеорологических величин используется для вычисления взаимных пространственно-временных корреляционных функций, а также для отработки моделей краткосрочного метеопрогноза на территории.

1. Зуев В.Е., Кабанов М.В. 30 лет Институту оптического мониторинга СО РАН: Основные этапы формирования и развития научного направления // Оптика атмосфер. и океана. 2002. Т. 15, № 1. С. 5–11.
2. Коптюг В.А. Конференция ООН по окружающей среде и развитию (Рио-де-Жанейро, июнь 1992 года). Информационный обзор. Новосибирск: СО РАН, 1992. 62 с.
3. Безопасность России. Экологическая диагностика / Под ред. чл.-корр. РАН В.В. Клюева. М.: Машиностроение, 2000. 495 с. Соавторы от ИМКЭС и ИОА: Глава 1. Объекты экологии и задачи экодиагностики — Н.П. Солдаткин; Глава 5. Оптический экологический мониторинг — М.В. Кабанов, Г.Г. Матвиенко,

- А.А. Тихомиров, Н.П. Солдаткин; Глава 6. Мониторинг ультрафиолетового излучения. Озонометрия — И.И. Ипполитов, Г.Г. Матвиенко; Глава 16. Организация мониторинга — А.А. Тихомиров, Г.Г. Матвиенко.
4. *Климатическая доктрина Российской Федерации*. Утверждена Президентом РФ 17 декабря 2009 года.
 5. *Ипполитов И.И., Кабанов М.В., Смирнов С.В.* Концепция сетевого мониторинга природно-климатических процессов в Сибири // *Оптика атмосф. и океана*. 2011. Т. 24, № 1. С. 7–14.
 6. *Болотные системы Западной Сибири и их природоохранное значение* / Под ред. д.б.н. проф. В.Б. Куваева. Тула: Гриф и К°, 2001. 584 с.
 7. *Большое Васюганское болото. Современное состояние и процессы развития*: Сб. научн. трудов / Под общей ред. чл.-корр. РАН М.В. Кабанова. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2002. 230 с.
 8. *Головацкая Е.А., Дюкарев Е.А., Ипполитов И.И., Кабанов М.В.* Влияние ландшафтных и гидрометеорологических условий на эмиссию CO₂ в торфоболотных экосистемах // *Докл. РАН*. 2008. Т. 418, № 4. С. 539–542.
 9. *Мальшиков Ю.П., Мальшиков С.Ю.* Периодические вариации геофизических полей и сейсмичности, их возможная взаимосвязь с движением ядра Земли // *Геология и геофизика*. 2009. Т. 50, № 2. С. 152–172.
 10. *Мальшиков Ю.П., Джумабаев К.Б., Омуркулов Т.А., Гордеев В.Ф.* Влияние литосферных процессов на формирование импульсного электромагнитного поля земли, прогноз землетрясений // *Вулканология и сейсмология*. 1998. № 1. С. 92–105.
 11. *Способ* определения пространственного положения и параметров движения внутреннего ядра. Пат. 2352961. Россия, МПК, G 01 V 3/00. Мальшиков Ю.П., Мальшиков С.Ю., Шталин С.Г., Гордеев В.Ф., Поливач В.И. Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН. № 2006125305; заявл. 13.07.2006. Опубл. 20.04.09. Бюл. № 11.
 12. *Многоканальный геофизический регистратор МГР-01*. Гос. реестр РФ «Средства измерения» № 31892-06 от 22.06.06 г.
 13. *Способ* прогноза землетрясений. Пат. 2238575. Россия, МПК⁷, G 01 V 9/00. Мальшиков Ю.П., Джумабаев К.Б., Мальшиков С.Ю., Гордеев В.Ф., Шталин С.Г., Массальский О.К. Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН. № 2002115880; заявл. 13.06.02. Опубл. 20.10.04. Бюл. № 29.
 14. *Осипов В.И., Гинзбург А.А., Новикова А.В.* Системы охранного сейсмического мониторинга потенциально опасных объектов // *Геоэкология*. 2010. № 5. С. 458–461.
 15. *Якубайлик О.Э., Гостева А.А., Ерунова М.Г., Кадочников А.А., Матвеев А.Г., Пятаев А.С., Токарев А.В.* Информационное обеспечение задач мониторинга состояния окружающей природной среды в зоне действия предприятий нефтегазовой отрасли // *Проблемы мониторинга окружающей среды: Сб. трудов XI Всерос. конф. с участием иностранных ученых (24–28 окт. 2011 г.)*. Кемерово: КемГУ, 2011. С. 273–278.
 16. *Богомолов В.Ю., Богушевич А.Я., Гордов Е.П., Корольков В.А., Крупчатников В.Н., Тихомиров А.А.* Информационно-измерительная система для регионального мониторинга и прогноза опасных метеорологических явлений // *Оптика атмосф. и океана*. 2011. Т. 24, № 1. С. 52–59.
 17. *Азбукин А.А., Богушевич А.Я., Ильичевский В.С., Корольков В.А., Тихомиров А.А., Шелевой В.Д.* Автоматизированный ультразвуковой метеорологический комплекс АМК-03 // *Метеорол. и гидрол.* 2006. № 11. С. 89–97.