DOI: 10.21513/2410-8758-2019-1-05-57 УДК: [551.583+502/504].001(091)

ТРИДЦАТИЛЕТИЕ ИНСТИТУТА ГЛОБАЛЬНОГО КЛИМАТА И ЭКОЛОГИИ ИМЕНИ АКАДЕМИКА Ю.А. ИЗРАЭЛЯ

М.Ю. Бардин, Ю.А. Буйволов, В.А. Воробьев, В.А. Гинзбург, М.Л. Гитарский, А.А. Гладильщикова, С.А. Громов, А.И. Нахутин, О.М. Потютко, Л.А. Прохорова, Э.Я. Ранькова, А.А. Романовская, А.Г. Рябошапко, В.П. Седякин, С.М. Семенов, Г.М. Черногаева

Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля,
РФ, 107258, Москва, ул. Глебовская, д. 20б; *fgbuigce@igce.ru*

Реферат. Рассмотрен процесс становления и развития отечественных глобальных исследований в области наук о Земле в связи с увеличением видов и масштаба антропогенного воздействия на земную систему с середины XX века по настоящее время. Освещена роль Института глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля в этом процессе, его создание и развитие. Охарактеризованы основные направления научной деятельности института: – радиоактивное и химическое загрязнение окружающей среды; – изменения глобального климата, их причины и последствия; – ограничение антропогенного воздействия на земную систему; – геоинженерия. Намечены перспективы дальнейшего развития научных направлений. Приведена библиография основных работ сотрудников института.

Ключевые слова. Земная система, глобальные изменения, антропогенные воздействия, Россия, развитие исследований, перспективы.

Введение

Тридцать лет назад, в мае 1989 г. был образован институт, который сейчас называется «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля» (ИГКЭ). Институт был задуман задолго до этого формального срока его организации. С самого начала он был уникальным научным учреждением по своим задачам, структуре и спектру привлеченных к работе специалистов. Это стало возможным благодаря его организатору и руководителю – Юрию Антониевичу Израэлю (1930-2014), выдающемуся ученому, организатору науки и государственному деятелю. Принадлежность института двум «родительским» организациям – Российской академии наук (РАН) и Федеральной службе по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет) – обусловила наличие в работе ИГКЭ как фундаментальных, так и прикладных направлений, в том числе в рамках международного научно-технического сотрудничества.

Цели этой статьи следующие, что уместно в связи с тридцатилетием института:

– указать на те процессы в науке и в мире в целом, которые привели к возникновению общественного запроса на организацию подобных учреждений у нас в стране и за рубежом;

– проанализировать историю организации института в контексте этих процессов;

– представить современные структуру и тематику института, а также перспективы развития.

Глобальные экологические и климатические проблемы: научный и политический контекст второй половины XX века

Острое политическое противостояние «восток-запад» в послевоенном мире привело к возникновению группы стран – обладателей ядерного и термоядерного оружия. Многочисленные испытания этих видов вооружений все большей мощности показали, что их военное применение представляет собой угрозу не только для тех регионов, где оно может быть использовано, но и для нашей планеты в целом. Распространение радиоактивных веществ в воздушной и водной средах даже при испытаниях такого оружия, т.е. при взрывах ограниченных масштабов, оказывается глобальным вследствие процессов дальнего переноса. Обнаружение этого учеными привело постепенно к пониманию политиками того, что последствия полномасштабного ядерного конфликта неизбежно будут катастрофическими для человечества. Именно при таких, опасных обстоятельствах к человечеству пришло осознание глобальности его возможностей влиять на состояние нашей планеты и убеждение в необходимости коллективных действий по предотвращению подобных глобальных угроз. Это убеждение получило свое политическое воплощение. В 1963 г. СССР, США и Великобританией был подписан Московский договор – Договор о запрещении испытаний ядерного оружия в атмосфере, космическом пространстве и под водой. В настоящее время 131 государство участвует в этом договоре.

С 1960-х годов в мировую повестку дня вошла еще одна проблема – изменение химического состава атмосферы, водной среды и почв вследствие развития мирового хозяйства. Эта проблема оказалась весьма многокомпонентной. Она касалась не только веществ, которые оказывают прямое негативное воздействие на человека и его средства к существованию, но и тех, что имеют косвенное влияние, проявляющееся через изменение иных свойств земной системы.

В то время в Европе и Северной Америке промышленность, транспорт, коммунальное хозяйство и некоторые другие секторы экономики стали выбрасывать в атмосферу и водную среду вещества, которые оказывали негативное воздействие на здоровье населения, объекты культурного наследия, природные комплексы. Эти вещества – оксиды серы и азота, аммиак, тяжелые металлы, некоторые хлорорганические и фосфорорганические соединения и ряд других. При этом объемы выбросов стали столь велики, что вследствие процессов дальнего переноса повышенные уровни загрязнения обнаружива-

лись в региональном, континентальном, а иногда и в глобальном масштабах. Загрязнение становилось реальной мировой угрозой, для борьбы с которой были необходимы коллективные действия стран. Такие действия были предприняты. Под эгидой ООН была разработана, в 1979 г. подписана и в 1983 г. вступила в силу Конвенция о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния. Впоследствии в ее рамках было заключено множество протоколов – специализированных соглашений об ограничении выбросов конкретных видов загрязняющих веществ – соединений серы и азота, тяжелых металлов, летучих органических соединений, стойких органических загрязнителей, а также о борьбе с подкислением, эвтрофикацией и приземным озоном. Реализация этих мер привела к существенному ограничению и последующему снижению региональных уровней загрязнения в Европе и Северной Америке. В том числе, удалось справиться с таким опасным явлением, как кислотные дожди.

Первый пример совместных международных усилий по предотвращению косвенных глобальных угроз – защита стратосферного озонового слоя. Он истончался вследствие антропогенных эмиссий некоторых веществ – хлорфторуглеродов (фреонов), которые массово использовались, например, в холодильных установках и для производства спреев. Эти вещества, попадая в стратосферу, разрушительно действуют на озоновый слой – естественный щит, который оберегает все живое от опасного жесткого ультрафиолетового излучения. В 1985 г. была заключена Венская конвенция об охране озонового слоя, а в 1989 г. вступил в силу Монреальский протокол по веществам, разрушающим озоновый слой. Это соглашение постепенно привело к отказу от производства таких веществ и замещению их другими, не разрушающими озоновый слой.

Во второй половине XX века, особенно в последней его четверти, мониторинг состава атмосферного воздуха показал, что происходит обогащение атмосферы так называемыми парниковыми газами – углекислым газом CO_2, метаном CH_4, закисью азота N_2O и некоторыми другими. Балансовые исследования показали, что причина этого – антропогенные выбросы этих веществ в ходе хозяйственной деятельности. Увеличение содержания этих веществ в атмосфере приводит к усилению парникового эффекта и потеплению в приповерхностном слое по отношению к естественному изменению температуры в этом слое. У этого явления есть некоторые последствия, которые считаются нежелательными и даже опасными. Большинство парниковых газов имеет значительное время жизни в атмосфере (значительно больше года), и процессы атмосферного переноса успевают достаточно равномерно распределить выбросы этих веществ в атмосфере. Таким образом, проблема ограничения уровня содержания парниковых газов в атмосфере не локальная. Для какой-либо страны ее нельзя решить силами этой страны – нужны коллективные усилия мирового сообщества. Такие усилия были предприняты – в 1992 г. была заключена Рамочная конвенция ООН об изменении климата (РКИК ООН), а в 1997 г. и в 2015 г. подписаны в ее рамках специальные соглашения – соответственно, Киотский протокол и Парижское соглашение. Они

направлены на сокращение выбросов парниковых газов в атмосферу и адаптацию природных и социально-экономических систем к изменению глобального климата.

Коллективные действия, предпринятые человечеством во второй половине XX века и начале XXI века (выше мы коснулись лишь их части), потребовали разработки и согласования международных соглашений, касающихся антропогенного воздействия на природные процессы – на глобальные биогеохимические циклы, перенос энергии в атмосфере и ряд других глобальных процессов в земной системе. Конечно, обсуждение самих этих процессов и воздействий на них, а также последствий этих воздействий и возникающих рисков (в том числе на уровне стран), невозможно вести лишь на политическом уровне. Проблема имеет огромную научную составляющую. Именно необходимость в соответствующей научной экспертизе сформировала общественный запрос на глобальные исследования, многократно активизировало то научное направление, которое сейчас называется исследованиями земной системы (earth's system studies). Так произошло и в нашей стране.

Ю.А. Израэль – организатор исследований глобальных процессов

Юрий Антониевич Израэль родился в 1930 г. в Ташкенте. В 1953 г. окончил Среднеазиатский государственный университет по специальности «физика». Работал в Москве, вначале в Геофизическом институте Академии наук СССР, а затем в Институте прикладной геофизики (ИПГ). Это был институт гидрометеослужбы (официально: Главное управление гидрометеорологической службы при Совете министров СССР (ГУГМС)), созданный академиком Евгением Константиновичем Федоровым, известным полярным исследователем, государственным и общественным деятелем. В этом институте Ю.А. Израэль прошел путь от рядового научного сотрудника до директора института, который возглавлял с 1969 по 1973 г.

Работая в ИПГ, Ю.А. Израэль участвовал – и как ученый, и как руководитель – в исследованиях распространения и накопления радиоактивных веществ в окружающей среде и последствий ядерных взрывов при испытаниях атомного оружия и авариях на объектах ядерной энергетики. Таким

образом, вместе с Е.К. Федоровым, Ю.А. Израэль был инициатором в нашей стране исследований процессов глобального переноса веществ в земной системе.

Ю.А. Израэль и президент США Дж.Форд

В 1974 г. доктор физико-математических наук, профессор, член-корреспондент Академии наук СССР Ю.А. Израэль был назначен начальником ГУГМС, а в 1978 г. стал председателем Госкомгидромета – Государственного комитета по гидрометеорологии и контролю природной среды (с 1988 г. – Государственного комитета по гидрометеорологии), который возглавлял до 1991 года. Именно этому ведомству правительство поручило вести работу по проблеме предотвращения загрязнения окружающей среды. Это касалось и практического, и исследовательского направлений. Поскольку сама проблема, чего мы уже касались выше, имела по своей природе глобальную составляющую, то необходимо было и международное сотрудничество. Поэтому гидрометеослужба страны вела множество международных проектов в области исследования и мониторинга процессов загрязнения окружающей среды. Это были как двусторонние сотрудничества (с США, Великобританией, Францией, Германией, Швецией, Финляндией и многими другими странами), так и многосторонние, в рамках международных организаций (Всемирной метеорологической организации – ВМО, Программы ООН по окружающей среде – ЮНЕП, Международного совета научных союзов – МСНС, Программы ООН по образованию, науке и культуре – ЮНЕСКО и др.). Периодически проводились международные симпозиумы и конференции, издавались коллективные монографии по проблеме загрязнения.

Надо отметить, что масштаб и успешность этой международной работы в значительной мере способствовали развитию и укреплению общего внешнеполитического тренда того времени на разрядку международной напряженности, усиление международного сотрудничества и усиление позиций российской науки в мировом научном процессе исследования земной систе-

Международный центр Этторе Майорана, г. Эриче, Италия, 1990 г.

мы. Последнее стало возможным в значительной степени благодаря личным качествам лидера – Юрия Антониевича Израэля, который, находясь во главе ведомства, одновременно уделял значительное внимание научным исследованиям и лично в них участвовал. Он обладал талантом устанавливать плодотворные деловые контакты и с лидерами мировой науки, и с государственными руководителями самых разных рангов.

Эта его способность ярко проявлялась и далее, когда с 1991 г. он уже не был руководителем ведомства, а сосредоточился на научной работе и научно-организационной работе в должности директора ИГКЭ и академика-секретаря Отделения наук о Земле Российской академии наук. В России он продолжал быть лидером и научных исследований, и международного научного сотрудничества в области исследований антропогенного воздействия на глобальную климатическую систему, современных изменений глобального климата и их последствий.

Международное научное сотрудничество в этой области проводилось, в основном, в рамках ВМО, МГЭИК и по линии Рамочной конвенции ООН об изменении климата (РКИК ООН). Особенно много делалось Ю.А. Израэлем по линии МГЭИК – он с самого начала работы этой международной организации (1988 г.) входил в ее руководство, был председателем Рабочей группы II и затем вице-председателем МГЭИК до 2008 г.

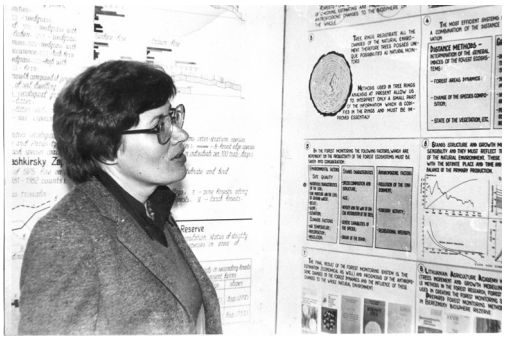
Конечно, даже при исключительных научном и организационном талантах Ю.А. Израэля, одному человеку было не под силу вести столь масштабную работу по изучению глобальных процессов. У него всегда был коллектив специалистов, ученых-единомышленников, который он, в значительной мере, лично подбирал и с которыми работал.

Предтечи ИГКЭ

Когда в 1974 г. Ю.А. Израэль стал руководителем гидрометеослужбы страны (ГУГМС), академик Е.К. Федоров, до того ее возглавлявший, вернулся на должность директора ИПГ. Поскольку объем глобальных исследований земной системы увеличивался, а их тематика расширялась за счет включения экологических вопросов, Ю.А. Израэль решил пополнить коллектив ИПГ экспертами этого направления. Была образована небольшая экологическая лаборатория, к работе в которой были привлечены специалисты в области экологии, системного анализа и математического моделирования.

Руководителем этой лаборатории был сам Ю.А. Израэль, его заместителем Юрий Андреевич Анохин, в то время занимавшийся вопросами системного анализа природных процессов. Валентина Николаевна Колесникова, Галина Николаевна Воронская и Иван Ярославович Николишин работали в области мониторинга содержания тяжелых металлов в атмосфере с использованием ледниковых кернов. Владимир Александрович Ветров, исходно – специалист по переносу и накоплению радиоактивности в окружающей среде, изучал химическое загрязнение оз. Байкал. Математическим моделированием глобальных и региональных бюджетов загрязняющих веществ занимался Арка-

дий Хаймович Остромогильский. Экологическое направление в целом было в ведении Люсьены Менделеевны Филипповой, известного специалиста в области химического мутагенеза. Синэкологическими вопросами занимался Федор Николаевич Семевский, крупный ученый в области экологии леса. Вместе с ним работали Сергей Михайлович Семенов (теория моделирования в экологии), Григорий Эммануилович Инсаров (обоснование экологического мониторинга) и Ирина Михайловна Кунина (оценка воздействия загрязнения на состояние растений). Основными задачами этой лаборатории были всесторонний анализ окружающей среды и обоснование мониторинга. Кроме того, Л.М. Филипповой, эксперту с широкой научной эрудицией, блестящим знанием английского языка и незаурядными организационными способностями, было поручено научное сопровождение многих международных проектов в этой области, которые вела гидрометеослужба. В этой лаборатории климатические вопросы еще не были заметно представлены, а все внимание было направлено на загрязнение окружающей среды и его последствия.



Л.М. Филиппова

Однако в 1970-е годы проблема изменения глобального климата и антропогенного влияния на глобальный климат все отчетливее возникала в трудах ученых-климатологов и начинала осознаваться политиками. Ю.А. Израэль в течение многих лет сотрудничал с академиком Михаилом Ивановичем Будыко, выдающимся отечественным климатологом. Уже в 1972 году Михаил Иванович опубликовал прогноз потепления климата вследствие обогащения атмосферы углекислым газом в ходе хозяйственной деятельности, который, заметим, впоследствии совершенно оправдался. Ю.А. Израэль всегда обладал способностью предвидеть и четко осознавать общественные запросы к науке, и его научные интересы постепенно все более становились направленными на проблемы изменения климата.

Конечно, такое серьезное расширение тематики требовало соответствующих организационных решений. В 1979 г. руководством Госкомгидромета и Академии наук СССР было принято решение об организации небольшого самостоятельного научного учреждения двойного подчинения – Лаборатории мониторинга природной среды и климата Госкомгидромета и АН СССР (ЛАМ).

Директором ЛАМ стал Ю.А. Израэль, а заместителем директора по научной работе – Феликс Яковлевич Ровинский. Несколько позже Михаил Григорьевич Болотинский был назначен заместителем директора по общим вопросам. Ученым секретарем ЛАМ стала Людмила Дмитриевна Воронова.

За десятилетие своего существования 1979-1989 гг. в ЛАМ был достигнут существенный прогресс в области исследования земной системы, обоснования мониторинга, а по некоторым направлениям – и осуществлено внедрение

достигнутых результатов в государственную систему наблюдений за состоянием окружающей среды. Был опубликован ряд основополагающих работ по следующим направлениям науки: мониторинг состояния природной среды (Израэль, 1984), глобальное химическое загрязнение атмосферы (Ровинский, Егоров, 1986), антропогенное изменение химического состава атмосферных осадков (Израэль, Назаров, Прессман и др., 1989), антропогенная экология океана (Израэль, Цыбань, 1989), экстремальные климатические явления (Будыко, Голицын, Израэль, 1986), глобальный климат и его изменчивость (Груза, Ранькова, 1980), влияние загрязнения воздуха на рост растений (Filippova, Semenov, Insarov et al., 1984), основы моделирования экологических процессов (Семевский, Семенов, 1982). Продолжалось развитие основ экологического мониторинга (Голубев, Инсаров, Страхов, 1980), заложенных ранее (Израэль, Филиппова, Инсаров и др., 1978). В 1979-83 гг. на базе концепции сукцессионной системы (Разумовский, 1981) разрабатывались теоретические основы фонового биогеоценотического мониторинга состояния наземных экосистем, их реакций на изменение климата и антропогенное загрязнение. Заложенная в то время программа биоценотического мониторинга сейчас реализуется, хотя и частично, в Приокско-Террасном биосферном заповеднике.

В.А. Абакумов

Под руководством Владимира Анатольевича Абакумова и при участии специалистов ИПГ, МГУ им. М.В. Ломоносова, Института микробиологии АН СССР и ряда других институтов Академии наук СССР было подготовлено и внедрено на сети наблюдений первое руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений (Руководство…, 1980, 1983). Это была первая и поныне единственная в Росгидромете система мониторинга состояния и загрязнения водной среды по откликам биологических объектов и систем.

Вопросами математического моделирования эколого-экономических систем занимался Михаил Яковлевич Антоновский с сотрудниками.

Профильные специалисты ЛАМ внесли значительный вклад в ликвидацию последствий аварии на Чернобыльской АЭС. Впоследствии были опубликованы научные труды, содержащие оценки уровней радиоактивного загрязнения и их эволюцию.

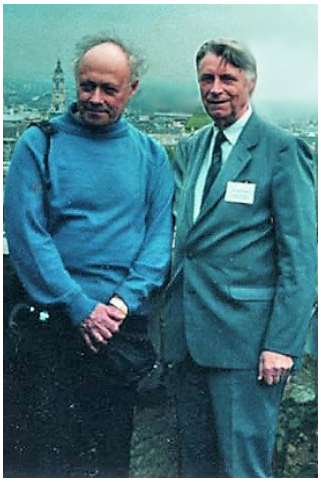
ЛАМ эффективно участвовала в многочисленных международных научных проектах, осуществляемых Госкомгидрометом. Однако в конце 1980-х стало ясно, что объем этой деятельности существенно возрастет. Это было связано с разработкой мировым сообществом Рамочной конвенции ООН об изменении климата и образованием Межправительственной группы экспертов по изменению климата. Увеличился и объем задач внутри страны. При-

шло время преобразовать ЛАМ в полномасштабный научно-исследовательский институт, расширить его состав и тематику.

Организация ИГКЭ в 1989 г.

В мае 1989 г. совместным решением руководства Госкомгидромета и Академии наук СССР был организован «Институт глобального климата и экологии Госкомгидромета и АН СССР» (ИГКЭ). Возглавил это учреждение Ю.А. Израэль.

Е.Д. Иголкина., Ю.А. Анохин., Е.В. Квасникова, Л.И. Болтнева



Ш.Д. Фридман, И.М. Назаров

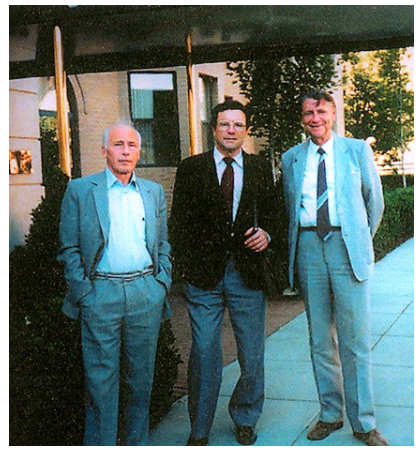
Г.П. Курбаткин

А.Ф. Яковлев

В институт были переведены все сотрудники ЛАМ, группа известных ученых из ИПГ (Игорь Михайлович Назаров, Лидия Ивановна Болтнева, Виталий Николаевич Василенко, Родион Трофимович Карабань, Елена Валентиновна Квасникова, Евгений Данилович Стукин, Алексей Григорьевич Рябошапко, Шепа Давидович Фридман, Галина Михайловна Черногаева, Александр Флавианович Яковлев) с сотрудниками, а из Гидрометцентра РФ – Геннадий Павлович Курбаткин с сотрудниками. Несколько позже в ИГКЭ перешли Виктор Николаевич Петров и Владимир Александрович Ветров с сотрудниками. В ИГКЭ в это время появилось значительное число молодых исследователей, которые впоследствии стали играть ключевую роль в развитии института.

Заместителями директора ИГКЭ были назначены Игорь Михайлович Назаров, Феликс Яковлевич Ровинский, Алла Викторовна Цыбань и Валерий Петрович Седякин, а ученым секретарем Алла Викторовна Денисова.

Научная тематика ИГКЭ была в основных чертах унаследована от ЛАМ, но включала в себя и другие обширные области: исследование и оценка антропогенных потоков парниковых газов в России (обеспечение участия нашей страны в РКИК ООН), динамические модели глобального климата (в значительной мере в поддержку работы российских экспертов в МГЭИК), а также часть тематики ИПГ, включая изучение различных аспектов техногенного радиоактивного загрязнения окружающей среды.



Ф.Я. Ровинский, Ю.Е. Казаков, И.М. Назаров

Потоки парниковых газов в климатической системе и мониторинг эмиссий

В конце 1980-х годов совместно Всемирной метеорологической организацией и Программой ООН по окружающей среде была создана Межправительственная группа экспертов по изменению климата, в руководящие органы которой был избран Ю.А. Израэль. Начиная с 1990 г., МГЭИК опубликовала ряд оценочных докладов, в которых получило обоснование представления о том, что глобальный климат меняется, и обогащение атмосферы парниковыми газами в ходе хозяйственной деятельности является существенным фактором этого изменения. Это представление легло в основу Резолюции № 45/112 Генеральной Ассамблеи ООН, с которой начались международные переговоры по климату. Продолжавшиеся более двадцати лет, они привели к разработке и принятию в разные годы пакета международных соглашений по недопущению опасного воздействия на климатическую систему, ограничению, а затем и снижению антропогенных выбросов в атмосферу парниковых газов. В их числе: Рамочная конвенция ООН об изменении климата (РКИК ООН) – 1992 г., Киотский протокол к РКИК ООН – 1997 г. и, наконец, Парижское соглашение по климату – 2015 г.

Поскольку проблема современных изменений глобального климата имела очень существенную научную компоненту – и в теоретическом плане, и в отношении научной поддержки международного переговорного процесса, и в плане практических оценок антропогенных эмиссий парниковых газов, – в ИГКЭ было создано соответствующее научное направление. Исследования процессов и оценка антропогенных выбросов и абсорбции парниковых газов на территории Российской Федерации были инициированы в начале 1990-х годов. Идейным вдохновителем этих работ был Ю.А. Израэль, а непосредственным руководителем и бессменным координатором – Игорь Михайлович Назаров.

Спектр научных интересов И.М. Назарова был весьма широк. Он стоял у истоков исследований загрязнения природных сред радиоактивными и кислотообразующими веществами, тяжелыми металлами, углеводородами и пестицидами, в разные годы проводившихся в ИПГ, а затем и в ИГКЭ. И.М. Назаров был председателем группы экспертов по загрязнению окружающей среды Исполнительного совета ВМО и членом Бюро Целевой рабочей группы МГЭИК по национальным инвентаризациям парниковых газов. Он был одним из основных разработчиков Федеральной целевой программы «Предотвращение опасных изменений климата и их отрицательных последствий».

Для работ по исследованию и оценке антропогенных потоков парниковых газов И.М. Назаров сформировал коллектив ученых-исследователей. В него вошли Шепа Давидович Фридман, Родион Трофимович Карабань, Алексей Олегович Кокорин, Александр Ильич Нахутин, Владимир Арамович Воробьев и ряд других специалистов. Благодаря их усилиям, практически впервые в стране была выполнена оценка антропогенной эмиссии метана от угольной и нефтегазовой отраслей промышленности России и сопредельных государств (Назаров и др., 1992).

В дальнейшем круг исследований антропогенных потоков парниковых газов был расширен. В него вошли такие важные сектора национальной экономики, как промышленность и сельское хозяйство. Вместе с расширением охвата эмиссионной активности различных видов антропогенной деятельности происходило и расширение коллектива исследователей, занятых проблемой антропогенного воздействия на климат. Первые расчеты эмиссионных потоков парниковых газов в промышленности и сельском хозяйстве были выполнены А.И. Нахутиным и Р.Т. Карабанем. Полученные результаты были впоследствии уточнены Екатериной Владимировной Имшенник в части промышленности и связанных с ней производственно-технологических процессов, а также Михаилом Леонидовичем Гитарским и Анной Анатольевной Романовской в части сельского хозяйства и Владимиром Николаевичем Коротковым в части лесного хозяйства. Дальнейшее развитие исследований позволило учесть антропогенные выбросы в атмосферу от сбора и обращения с отходами и их захоронения. Первые оценки потоков парниковых газов от обращения с отходами были сделаны А.И. Нахутиным, и затем эти исследования были продолжены им совместно с Ириной Львовной Говор.

Одновременно с оценкой антропогенной эмиссии парниковых газов в институте также выполнялись исследования их поглощения подстилающей поверхностью. Первые оценки поглощения диоксида углерода лесами России были выполнены А.О. Кокориным и Р.Т. Карабанем в 1992 г. (Карабань и др. 1993). Эти исследования позволили установить не только социально-экономическую, но и климат-стабилизирующую значимость лесного сектора, а их расширение М.Л. Гитарским и В.Н. Коротковым позволило оценить ежегодную углерод-депонирующую способность лесов, являющуюся непосредственным результатом хозяйственной деятельности (Гитарский и др., 2006).

Сейчас исследование абсорбционной способности природных экосистем вышло на новый уровень. С 2010 г. институтом ведутся экспериментальные

исследования и мониторинг потоков парниковых газов в природных экосистемах. Получаемые в ходе мониторинга количественные оценки эмиссионных и абсорбционных потоков парниковых газов способствуют уточнению величин абсорбционной емкости лесных экосистем Российской Федерации (Мониторинг потоков…, 2017; Замолодчиков и др., 2017).

Результаты научных исследований и количественных оценок антропогенной эмиссии и абсорбции парниковых газов на территории Российской Федерации были включены в национальные кадастры антропогенных выбросов и абсорбции парниковых газов и национальные сообщения с описанием осуществляемых национальных политик и мер по снижению выбросов парниковых газов и другой информации, касающейся осуществления основных положений РКИК ООН и Киотского протокола (Израэль и др., 2001; Израэль, Назаров, Гитарский и др., 2002; Израэль, Назаров, Нахутин и др., 2002). В разные годы они составили научно-методическую основу позиции делегации Российской Федерации на переговорах по климату, которая не только позволила надежно представлять интересы Российской Федерации на переговорах, но и обеспечила эффективное выполнение принятых Российской Федерацией обязательств в области ограничения негативного антропогенного воздействия на климатическую систему.

Мониторинг климата

На прошедшей в 1979 г. в Женеве Всемирной конференции по климату был серьезно поставлен вопрос о глобальном мониторинге климата. Его главными целями являются обобщение данных о текущем состоянии климатической системы и вероятностная оценка степени аномальности этого состояния. Ю.А. Израэль, развивавший общую систему мониторинга природной среды в стране, считал мониторинг климата одной из основных ее составляющих. Система мониторинга климата, созданная в СССР по его инициативе, развивалась после 1991 года в ИГКЭ Георгием Вадимовичем Грузой с сотрудниками (приземный климат) и сотрудниками ряда научно-исследовательских учреждений Росгидромета для различных других компонентов климатической системы. Принципы, задачи и цели мониторинга климата как центральной подсистемы в общей системе мониторинга природной среды, были изначально сформулированы в работе (Груза, Ранькова, 1989). Фундаментальной основой этой работы была книга (Груза, Ранькова, 1980). Для советских ученых это была пионерская работа в области статистического и вероятностного анализа данных фактических метеорологических наблюдений. Этот метод анализа давал возможность в дальнейшем интерпретировать данные в связи с модельными расчетами. Для развития этого направления, справедливо представлявшегося в то время одним из важнейших в свете будущих задач мониторинга климата, в 1983 г. в Москве, в Гидрометцентре СССР на базе Московского отделения ВНИИГМИ-МЦД был сформирован коллектив ученых, который возглавил Г.В. Груза. Впоследствии значительная его часть вошла в ЛАМ Госкомгидромета и АН СССР, которой руководил Ю.А. Израэль, а затем – в созданный им ИГКЭ в состав Отдела мониторинга и вероят-

ностного прогноза климата (ОМВПК), которым также руководил Г.В. Груза. В этот период были изданы справочники «Данные о структуре и изменчивости климата» для основных климатических переменных, в том числе для температуры воздуха на уровне моря, атмосферных осадков, облачности, температуры поверхности Мирового океана и др. (Э.Я. Ранькова, Э.В. Рочева, Е.А. Семенюк, Б.А. Бирман и др.), см., например, (Груза, Ранькова, Рочева, 1990). В них были представлены статистики, характеризующие пространственно-временную изменчивость переменных, т.е. проделана работа, непосредственно предшествовавшая будущему мониторингу климата.

В Гидрометцентре СССР группой Э.Я. Раньковой была создана база данных, включавшая информацию о среднемесячных значениях и аномалиях температуры воздуха, атмосферных осадков, давления на уровне моря, облачности и геопотенциала изобарических поверхностей в узлах сетки. Исторические ряды представляли собой анализы, изначально выполненные вручную синоптиками. Они были собраны из архивов различных метеорологических центров и оцифрованы в узлах регулярной географической сетки. Пополнение этой базы в режиме, приближенном к реальному времени, производилось на основе оперативных анализов Гидрометцентра СССР. Эта информация стала основой для начальной версии регулярного мониторинга климата. По этой технологии в 1985-1990 гг. выпускался бюллетень мониторинга климата Северного полушария «Данные мониторинга климата», содержащий данные о температуре воздуха на уровне моря, температуре воды у поверхности океана и атмосферных осадках. Вышло несколько сборников, включавших статьи по методическим вопросам и непосредственно результаты, основанные на материалах регулярного мониторинга, в том числе, оценки климатических трендов различных метеопараметров.

В начале 1990-х уже было ясно, что одной из важнейших задач мониторинга климата является получение надежных оценок наблюдаемых изменений в климатической системе. Первоначальная версия мониторинга, основанная на массиве субъективных анализов, не могла дать таких надежных оценок, поскольку используемые исторические временные ряды были изначально неоднородны. Встала задача развития новой системы, основанной на данных станционных наблюдений. Совместными усилиями сотрудников ИГКЭ и ВНИИГМИ-МЦД была создана база данных о средней месячной температуре воздуха и месячных суммах атмосферных осадков на 1383 станциях Земного шара. Эта база данных, поддерживаемая и развиваемая в последующие годы, стала основой для дальнейших климатических обобщений и многочисленных информационно-аналитических продуктов.

С самого начала работа ОМВПК ИГКЭ была нацелена на исследование изменений и изменчивости климата по данным наблюдений, на обнаружение изменений климата, на обеспечение участия страны во Всемирной климатической программе и выполнение обязательств Росгидромета перед ВМО по мониторингу климата и изменений климата. С момента создания МГЭИК Г.В. Груза был ведущим автором докладов МГЭИК (вклада Рабочей группы I в первые три оценочных доклада). Он также длительное время был

членом Рабочей группы по обнаружению изменений климата Комиссии по климатологии ВМО; председателем Рабочей группы по вопросам климата Региональной Ассоциации VI ВМО (Европа).

Мониторинг состояния окружающей среды

В ИГКЭ продолжало развиваться направление комплексного фонового мониторинга (КФМ) загрязнения природной среды (Мониторинг фонового состояния…, 1991), организатором которого и многолетним лидером был Ф.Я. Ровинский. Коллектив руководимого им отдела в условиях драматического сокращения финансирования научных программ прилагал огромные усилия для сохранения ранее сформированной сети станций КФМ на территории России, помог национальным метеослужбам ряда стран СНГ (Казахстан, Узбекистан, Белоруссия) продолжить скоординированные наблюдения за состоянием загрязнения природной среды. Ф.Я. Ровинским и его ведущими сотрудниками (Михаил Иосифович Афанасьев, Лариса Владимировна Бурцева, Юрий Петрович Черханов, Владимир Иванович Егоров и др.) были усилены функции ИГКЭ как научно-методического и аналитического центра, обслуживающего работу сети КФМ не только по всей России, но и в масштабах СНГ. Согласно решению 4-й сессии Межгосударственного совета по гидрометеорологии СНГ (11-17 октября 1993 г.) ИГКЭ стал Научно-методическим центром КФМ для стран СНГ. Были достигнуты значительные результаты по интегрированию различных видов мониторинга состояния природной среды. В том числе, на Европейской части России осуществление КФМ было органично дополнено работами по Международной совместной программе комплексного мониторинга воздействия загрязнения атмосферы на экосистемы (МСП КМ), а также продолжением наблюдений по Программе ЕМЕП (Совместная программа наблюдений и оценки переноса на большие расстояния загрязняющих воздух веществ в Европе / ЕЭК ООН). По инициативе Ф.Я. Ровинского, была организована работа по подготовке обобщающего документа, объединяющего результаты ежегодных наблюдений и оценок всех сетей мониторинга окружающей среды Росгидромета – ежегодного «Обзора состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации». В дальнейшем, при научном и организационном руководстве Г.М. Черногаевой, этот Обзор превратился из краткого обобщения информации результатов наблюдений нескольких сетей в обширный ежегодный обзор важнейших результатов работы практически всех сетей Государственной наблюдательной сети (ГНС) (Обзор…, 1993; Обзор…, 2018). Изучение загрязнения природной среды не сводилось лишь к осуществлению мониторинга и обобщению результатов наблюдений. Развивалась также и научно-исследовательская деятельность. Так, Г.М. Черногаевой проводились работы по использованию бассейновых подходов для характеристики формирования речного стока и состояния загрязнения крупных рек на территории России, в том числе с учетом трансграничных аспектов (Черногаева и др., 2009). На уровне, подчас опережающем мировые научные стандарты, развивались исследования глобальных биогеохимических циклов загрязняющих веществ. Особенно серьез-

ные исследования выполнялись в отношении балансов серы и азота А.Г. Рябошапко (Brimblecombe et al., 1991; Ryaboshapko et al., 1994; Ryaboshapko et al., 1998; Ryaboshapko et al., 1999). В рамках Научно-консультативной группы Глобальной службы атмосферы ВМО по химии осадков (WMO-GAWSAGPC) А.Г. Рябошапко руководил несколькими проектами по исследованию атмосферных балансов этих веществ для России и стран СНГ и независимой оценке их антропогенных выбросов.

Значительным практическим вкладом в развитие и использование результатов наблюдений сетей Росгидромета стало продолжение в ИГКЭ работ по обобщению данных мониторинга химического состава снежного покрова (ХССП) для оценки потоков загрязняющих веществ из атмосферы на подстилающую поверхность. Методология и принципы ее реализации были разработаны еще в ИПГ В.Н. Василенко с соавторами (Василенко, Назаров, Фридман, 1985). На регулярной основе результаты оценок выпадений серы и азота по данным сети ХССП стали публиковаться в «Обзоре фонового состояния окружающей природной среды». В обобщающих статьях В.Н. Василенко и Ш.Д. Фридман показали по результатам обработки данных сети ХССП, что формирующиеся в результате выпадений из атмосферы потоки серы и азота в густонаселенных и промышленно развитых регионах превышают уровни критических нагрузок, предлагаемые в Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха (Василенко и др., 1992).

Мониторинг океана

Под руководством А.В. Цыбань была создана система биологического мониторинга морей СССР. Основная часть работ этого направления была посвящена изучению экологических проблем морей российской Арктики в аспекте антропогенных изменений. Результаты мониторинга публиковались в «Обзоре экологического состояния морей РФ и отдельных районов Мирового океана» и в «Обзоре состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации».

На базе фундаментальных идей океанологии и морской экологии, А.В. Цыбань разработала концепцию ассимиляционной емкости Мирового океана. Была обнаружена ведущая роль биологических процессов в формировании этого показателя. Впервые были объединены экологический и биогеохимический подходы при изучении экологических последствий загрязнения океана. Исследования проводились на популяционном и экосистемном уровнях. А.В. Цыбань стала одним из основателей антропогенной экологии океана, изучающей проблемы естественной изменчивости, антропогенных нарушений и устойчивости морских экосистем к воздействию антропогенных факторов. В настоящее время это направление приобретает все большую актуальность в связи с глобальным изменением климата и его воздействием на Мировой океан. Также важными достижениями стали создание концепции контактных зон (пограничных зон) Мирового океана (Израэль, Цыбань, 1989) и изучение воздействия изменения климата на биопродуктивность и экологические процессы в арктических и субарктических морях.

Были разработаны новые методики исследований морских экосистем. Изучены воздействия биологически активной УФ-радиации на функционирование экосистем Берингова и Чукотского морей. Всего было организовано 23 морских экспедиции, из них 12 международных. Результаты исследований обобщены в ряде монографий (Израэль, Цыбань, 1990, 1992).

Экологические исследования наземных систем

Работы в этой области развивали уже сложившуюся в ЛАМ тематику по следующим направлениям: теоретическая синэкология и моделирование (Ф.Н. Семевский, С.М. Семенов), влияние изменения состава атмосферного воздуха на продуктивность наземных растений (С.М. Семенов, И.М. Кунина), обоснование и осуществление фонового экологического мониторинга наземных экосистем (Г.Э. Инсаров, С.М. Семенов). Михаил Дмитриевич Корзухин развивал математические модели динамики лесов, включая показатели продукции биомассы и газообмена с атмосферой.

Результаты исследований этих направлений были представлены в ряде публикаций. В монографии (Корзухин, Семевский, 1992) получили свое дальнейшее развитие методы математического моделирования синэкологических процессов, в том числе динамики лесных экосистем. В работах (Семенов, Кунина, Кухта, 1998, 1999) был собран имеющийся в научных публикациях и обобщен значительный экспериментальный материал о реакции высших растений на изменение химического состава атмосферного воздуха по содержанию озона, оксидов серы и азота, диоксида углерода. Были получены зависимости «воздействие-отклик» и решена задача определения критических уровней на их основе. Г.Э. Инсаровым была продолжена работа, начатая еще в ЛАМ, по систематическому обследованию лихенофлоры фоновых территорий, в основном биосферных заповедников нашей страны (хотя подобные работы проводились и в Швеции, Израиле и некоторых других странах). Созданная Ф.Н. Семевским и Г.Э. Инсаровым методика позволила в условиях ограниченности ресурсов получить базовые оценки встречаемости и проективного покрытия видов лишайников – индикаторов загрязнения атмосферы и изменения климата, которые особенно важны для оценки влияния изменений климата и фонового загрязнения природной среды. Была сформирована специализированная база данных, а также предложены методы выявления трендов высокой разрешающей способности (Insarov et al., 1992; Insarov, Insarova, Semenov, 1999).

Проводились исследования и по иным направлениям. Так, в работе (Семенов,1996) был предложен и обоснован ‘генетический’ метод атрибуции распределения общего содержания веществ в атмосфере по источникам эмиссии. Совместно с учеными из США был проведен цикл исследований по динамике распространения опасного вида-вселенца – огненного муравья *Solenopsis invicta Buren* – и наносимого им ущерба в США (Semevsky, Semenov, Thompson, 1997).

Гидробиологический мониторинг

ИГКЭ – головное научно-исследовательское учреждение Росгидромета в области мониторинга качества поверхностных вод по гидробиологическим показателям и научно-методический куратор сети гидробиологических наблюдений. ИГКЭ совместно с Институтом водных проблем РАН – национальный координационный центр Международной совместной Программы мониторинга «Воды», действующей под эгидой Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния.

В институте были созданы основы нормирования состояния водных объектов, исходя из состояния экосистем. Это была пионерская разработка, альтернативная уже утвердившейся системе нормирования на базе предельно допустимых концентраций (ПДК). В основу теории экологического нормирования антропогенной нагрузки на пресноводные экосистемы В.А. Абакумовым была положена концепция экологических модификаций экосистем под воздействием природно-антропогенных факторов. Эта теория была не только разработана, но и внедрена на сети гидробиологического мониторинга загрязнения поверхностных вод России по гидробиологическим показателям (Руководство…, 1992). Анализ данных наблюдений по состоянию бактерио-, зоо- и фитопланктона, макрозообентоса, перифитона, макрофитов, а также по синтезу и разложению органического вещества стал осуществляться с помощью концепции экологических модификаций экосистем. Этот метод был всесторонне рассмотрен и одобрен к применению Международным симпозиумом «Экологические модификации и критерии экологического нормирования» (Абакумов, 1991).

В 2007 г. начался процесс внедрения этих научных разработок в практику экологического нормирования. А именно, в законодательстве появилась норма, касающаяся осуществления нормирования состояния среды по биологическим показателям, в том числе состояния видов и групп растений, животных и других организмов, используемых как индикаторы качества окружающей среды (Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды»).

Метод комплексной оценки – метод экологических модификаций – в сочетании с классическим методом оценки качества поверхностных вод по состоянию отдельных компонентов применяется в ежегодном обзоре – «Ежегоднике состояния экосистем поверхностных вод России», который с 1989 г. по настоящее время ежегодно подготавливается и выпускается ИГКЭ по данным сети гидробиологических наблюдений Росгидромета.

Мониторинг радиоактивного загрязнения

В ИГКЭ были продолжены проводившиеся ранее в ИПГ научные и практические работы по исследованию радиоактивного загрязнения окружающей среды. В 1990 г. под редакцией Ю.А. Израэля вышла коллективная монография, в значительной степени подытожившая исследования загрязнения, связанного с Чернобыльской аварией (Израэль, Вакуловский, Ветров и др., 1990).

На основании результатов аэрогаммаспектральной съемки и наземных работ, выполнявшихся различными организациями, были опубликованы основные данные и построена в ИГКЭ карта по загрязнению цезием-137 Европейской территории СССР (Израэль, Квасникова, Назаров и др., 1994). В дальнейшем, в ходе реализации международных проектов, при активном участии ИГКЭ были подготовлены три подробных атласа загрязнения, охватывающие все затронутые последствиями Чернобыльской аварии территории Европы от Атлантики до Урала (Атлас…, 1998; Атлас…, 1998а; Атлас…, 2009). В атласы были включены карты различных масштабов (включая прогнозные), построенные на основе данных аэрогаммаспектральной съемки, анализов проб почвы, радиометрических и гамма-спектрометрических измерений *in situ.*

Е.Д. Стукин

Е.В. Квасниковой, Е.Д. Стукиным, Ш.Д. Фридманом с сотрудниками был выполнен значительный цикл работ, включавший экспедиционные исследования по изучению структуры и трансформации в ландшафтах суши полей радионуклидного загрязнения, возникшего в результате Чернобыльской аварии (Фридман, Квасникова, Глушко и др., 1997; Квасникова, Пегоев, Стукин, 1999; Квасникова, Жукова, Гордеев и др., 2009). Часть этих исследований осуществлялась в сотрудничестве со специалистами МГУ им. М.В. Ломоносова, НПО «Тайфун» и других организаций.

В 1995 г. в ИГКЭ И.М. Назаровым, Ш.Д. Фридманом, В.Н. Василенко и В.А. Воробьевым с коллегами, а также при участии сотрудников Уралгидромета и НПО «Тайфун», была проведена экспертиза имевшихся материалов по радиоактивному загрязнению Уральского региона. Результатом явилось государственное решение об организации работ по картографированию территорий в зоне влияния ПО Маяк (Восточно-Уральский радиоактивный след, Карачаевский след, поймы рек Теча и Исеть, ряд населенных пунктов и участков их землепользования). Научное и методическое руководство этими работами осуществляли И.М. Назаров, Ш.Д. Фридман и В.Н. Василенко. В полевых и картографических работах под руководством В.Н. Василенко принимали участие В.М. Артемов, Е.М. Артемов, Л.Ф. Бакланова, Т.В. Беликова, В.И. Бурмистров, Г.П. Бурмистрова, О.В. Глушко, Е.В. Имшенник, А.Н. Николаев, А.И. Нахутин, Л.А. Прохорова, В.Н. Чекулаев. В ходе исследований были разработаны карты современного состояния загрязнения, ретроспективные и прогнозные карты. Итогом всей работы стал вышедший под редакцией Ю.А. Израэля «Атлас Восточно-Уральского и Карачаевского радиоактивных следов, включая прогноз до 2047 года» (Атлас…, 2013).

Сотрудники ИГКЭ принимали участие в оценке масштабов и последствий ряда других событий радиоактивного загрязнения окружающей среды: аварии на радиохимическом заводе в г. Томск-7 (Израэль, Артемов, Назаров и др., 1993), гибели атомной подводной лодки "Курск" (Израэль, Стукин, Сойфер и др., 2000).

Опираясь на накопленный опыт и материалы изучения радиоактивных загрязнений, Ю.А. Израэль, Е.Д. Стукин, В.Н. Петров, А.Г. Рябошапко приняли активное участие в проекте Rad Test, проводившемся под эгидой Научного комитета по проблемам окружающей среды Международного совета научных союзов. Проект был направлен на анализ и синтез данных о воздействии ядерных испытаний на окружающую среду и человека, а также на разработку банка данных о ядерных испытаниях (Atmospheric Nuclear Tests, 1988; Nuclear Tests, 1988; Nuclear test explosions, 1999). Сотрудники ИГКЭ (Ю.А. Израэль, Е.Д. Стукин) участвовали также в мероприятиях международного проекта Radleg по организации массивов данных для оценки радиационного наследия СССР.

Продолжались начатые в ИПГ работы по моделированию атмосферного переноса и выпадений радионуклидов искусственного происхождения (Израэль, Петров, Северов, 1997) и по реконструкции следов радиоактивных выпадений (Фридман, Контарович, Федоткин и др., 1994; Vetrov, 2003).

Итогом многолетних исследований в области радиоактивного загрязнения, связанного с ядерными взрывами и авариями, стала монография Ю.А. Израэля (Израэль, 1996). Геннадий Александрович Красилов принял участие в подготовке коллективной монографии (Ядерные испытания СССР, 2000) и других изданий, посвященных последствиям испытаний атомного оружия.

Значительный вклад внесли сотрудники ИГКЭ в организацию и проведение международных научных конференций, посвященных различным аспектам радиоактивного загрязнения: «Радиоактивность при ядерных взрывах и авариях» (2000 г.), «Радиоактивность после ядерных взрывов и аварий» (2005 г.).

ИГКЭ в XXI веке: современная структура, направления работы и достижения

В 2000-х годах сформировался уникальный облик ИГКЭ как научного учреждения. Предметом деятельности ИГКЭ являются проведение фундаментальных и прикладных научных исследований, выполнение работ и оказание услуг в области гидрометеорологии и климатологии и смежных с ними областях, в области мониторинга климата и состояния окружающей среды, включая ее загрязнение.

Целью этих работ является удовлетворение потребностей государства, общества, юридических лиц и граждан в информации о состоянии климата и окружающей среды и их изменениях, включая:

– антропогенные воздействия на глобальный климат;

– глобальные и региональные изменения климата, обусловленные антропогенными и естественными причинами, их экологические, социальные и

экономические последствия, а также возможности адаптаций и стабилизации климата;

– загрязнение природной среды, оценка его последствий и возможностей предотвращения.

Значительное место в работе ИГКЭ занимает международное сотрудничество, в том числе информационно-аналитическое сопровождение международных отношений России. Специалисты ИГКЭ активно сотрудничают в рамках международных организаций и программ, в частности в органах Рамочной Конвенции ООН об изменении климата, в Межправительственной группе экспертов по изменению климата, Межправительственной платформе по биоразнообразию и экосистемным услугам (IPBES), Всемирной метеорологической организации, Совместной программе наблюдения и оценки переноса загрязняющих воздух веществ на большие расстояния в Европе, Международной совместной программе комплексного мониторинга влияния загрязнения воздуха на экосистемы, Сети мониторинга кислотных выпадений в Восточной Азии (EANET), в работах по линии Межгосударственного совета по гидрометеорологии СНГ.

Поддерживая традиции, заложенные еще в конце 1980-х, институт ведет значительную работу по линии МГЭИК. Ю.А. Израэль стоял у истоков этой международной научной организации, до 2008 г. был ее вице-председателем и представлял Россию в МГЭИК до 2014 г. В 2007 г. решением Норвежского нобелевского комитета МГЭИК была удостоена Нобелевской премии мира за «усилия по наращиванию и распространению большего знания об антропогенном изменении климата и формированию основ для мер, которые необходимы для противостояния этому изменению».

В настоящее время С.М. Семенов является членом Бюро МГЭИК и представляет Россию в МГЭИК. В ИГКЭ С.М. Семеновым и А.А. Гладильщиковой обеспечивается текущая работа по линии МГЭИК:

– информирование специалистов и выдвижение заинтересованных экспертов кандидатами в авторы и редакторы-рецензенты докладов МГЭИК;

– организация рецензирования последовательных проектов докладов;

– участие в рассмотрении и приемке докладов сессиями МГЭИК;

– распространение информации о результатах докладов МГЭИК в России, включая работу со СМИ.

В.А. Гинзбург, М.Л. Гитарский, В.Н. Коротков, А.П. Ревокатова, А.А. Трунов являются ведущими авторами специальных и методологического докладов цикла Шестого оценочного доклада МГЭИК. Г.Э. Инсаров – ведущий автор Пятого и Шестого оценочных докладов МГЭИК. А.А. Романовская и Ю.А. Анохин – ведущие авторы Пятого оценочного доклада МГЭИК.

Г.Э. Инсаров сотрудничает также с родственной МГЭИК организацией – Межправительственной платформой по биоразнообразию и экосистемным услугам (IPBES), является членом Рабочей группы «Data and Knowledge».

Институт ведет большую издательскую деятельность, результатом которой являются информационные продукты Росгидромета, межведомственные и государственные доклады и иные документы, в подготовке которых участвует

Росгидромет, продолжающиеся научные издания, а также монографии и статьи в периодических научных журналах и других изданиях.

ИГКЭ издает два научных журнала: Фундаментальная и прикладная климатология (гл. редактор С.М. Семенов); Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем (гл. редактор А.А. Романовская).

Современная структура института:

– Отдел мониторинга и вероятностного прогноза климата;

– Отдел изучения взаимодействия атмосферы и природных систем суши;

– Отдел исследования процессов стабилизации глобального климата;

– Отдел мониторинга выбросов парниковых газов в энергетике и промышленности;

– Отдел мониторинга потоков парниковых газов в природных и антропогенно-нарушенных экосистемах;

– Отдел измерений фонового химического загрязнения континентальных природных систем;

– Отдел оценки загрязнения окружающей среды;

– Отдел гидробиологического мониторинга поверхностных вод.

Директором ИГКЭ с момента его основания был Ю.А. Израэль, с 2011 г. – С.М. Семенов (с 2017 г. – научный руководитель института). В 2017 г. директором института назначена Анна Анатольевна Романовская. Заместителями директора по научной работе являются Сергей Аркадьевич Громов и Александр Ильич Нахутин, первым заместителем – Валерий Петрович Седякин, ученым-секретарем – Анна Артемьевна Гладильщикова.

Представим кратко научную работу, которая ведется в ИГКЭ с 2000-х годов по настоящее время, и упомянем основные публикации ее результатов[1)].

Оценка эмиссий и стоков парниковых газов на территории России и национальная отчетность по линии РКИК ООН

В 2000-х годах в ИГКЭ наиболее интенсивное развитие получили работы, связанные с оценкой выбросов и поглощения парниковых газов на территории России (М.Л. Гитарский, А.И. Нахутин, А.А. Романовская). Это связано как с растущим вниманием международного сообщества к проблеме изменения климата, принятием Киотского протокола, затем Парижского соглашения, так и с организацией ежегодной подготовки Национальных кадастров антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов в России, за подготовку проектов которых стал отвечать ИГКЭ.

Научная работа проводится в двух взаимосвязанных направлениях – фундаментальном и прикладном:

– исследование закономерностей и интенсивности процессов в природных и социально-экономических системах, приводящих к выбросам и поглощению парниковых газов;

[1)] Указываются лишь основные публикации, поскольку полная библиография весьма обширна, и привести ее не позволяет формат журнальной статьи.

– разработка национальных методов и национальных коэффициентов для оценки антропогенных выбросов и поглощения парниковых газов в разных отраслях экономики, включая сельское и лесное хозяйство.

В секторе сельского хозяйства разработаны национальные коэффициенты для оценки эмиссии закиси азота от внесенных минеральных удобрений (Романовская и др., 2002a; Romanovskaya et al., 2002) и растительных остатков на полях (Романовская и др., 2002b). Проводятся оценки выбросов и поглощения CO_2 в лесном секторе России (Гитарский и др., 2002; Коротков и др., 2012; Коротков, Романовская, 2013; Трунов, 2017). В начале 2000-х особую значимость получают экспериментальные исследования, выполненные в ИГКЭ, по анализу динамики почвенного органического углерода на землях брошенных пахотных угодий в разных биоклиматических зонах, на основе которых выполнено моделирование и проведена оценка их вклада в общий углеродный баланс на территории страны с 1990 года (Романовская и др., 2012).

В рамках фундаментальных научных работ с 2009 года в ИГКЭ выполняется исследование потоков углекислого газа на территории экспериментального полигона «лог Таежный» (Валдай, Новгородская обл.) методом eddy covariance. Проводятся полевые наблюдения за интенсивностью поглощения и эмиссии углекислого газа, различными составляющими углеродного бюджета лесной экосистемы (Мониторинг…, 2017).

Разработаны национальные коэффициенты для оценки выбросов парниковых газов в секторе энергетики, в частности, при добыче и транспортировке нефти и газа (Уварова и др., 2017).

Параллельно с развитием климатической науки и появлением новых данных о причинах изменения климата, в сферу внимания данного направления в ИГКЭ попадают не только долгоживущие парниковые газы, но и проводится ежегодная оценка выбросов короткоживущих климатически-активных веществ, прежде всего, черного углерода, от лесных пожаров (Смирнов и др., 2015). Выполняется исследование вероятности их переноса в Арктику и степени воздействия на альбедо арктической зоны.

Теоретические исследования включают разработку основ системы мониторинга адаптации природных и социально-экономических систем к меняющемуся климату (Романовская, 2018), а также исследование места и роли лесного сектора России в Парижском соглашении (Романовская, Федеричи, 2015).

Кроме решения научных задач этого направления, ИГКЭ обеспечивает выполнение Российской Федерацией обязательств по Рамочной конвенции ООН об изменении климата и заключенным в ее рамках соглашениям – Киотскому протоколу и Парижскому соглашению. В том числе обеспечивается национальная отчетность, подготавливаются следующие документы:

– Национальный кадастр антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом;

– Национальное сообщение Российской Федерации, представляемое в соответствии со статьями 4 и 12 Рамочной Конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата и статьей 7 Киотского протокола;

– Двухгодичный доклад Российской Федерации.

Ежегодно осуществляется информационно-аналитическая и экспертная поддержка участия России в международном переговорном процессе по климату. Анализируется эффективность принимаемых решений в отношении достижения цели Рамочной конвенции ООН об изменении климата о «недопущении опасного антропогенного влияния на климатическую систему», прорабатываются возможности недискриминационного участия России в международных договоренностях и максимально возможного учета российских интересов.

Инженерия климата

В начале 2000-х годов, на фоне определенных надежд на успех сдерживания глобального потепления с помощью снижения антропогенных выбросов парниковых газов (методы Киотского протокола), в научных кругах стали возникать сомнения в эффективности этого подхода, в том числе в отношении времени, необходимого для его реализации. Ю.А. Израэль был одним из первых в мире, кто поставил этот вопрос на широкое обсуждение. Для сохранения климата на современном уровне им было предложено использовать методы геоинженерии (Израэль, 2005; Израэль и др., 2007), идея которых была высказана М.И. Будыко в 1974 г. Этап активного исследования и дискуссий о геоинженерии в мире начался только после выхода в 2006 году статьи нобелевского лауреата Пола Крутцена, в которой он писал о том, что в случае провала других мер по стабилизации глобального климата, применение метода управления потоком солнечной радиации, поглощаемой земной системой, может стать необходимой экстренной мерой.

В ИГКЭ в работах Ю.А. Израэля с сотрудниками это направление получило мощное развитие. Исследовались возможности целенаправленного изменения климата за счет создания в стратосфере аэрозольного слоя, отражающего прямую коротковолновую солнечную радиацию, что способствует охлаждению приземного слоя (подобный эффект возникает при вулканических извержениях).

Первоначально изучалась возможность увеличения планетарного альбедо с помощью инжекции сульфатных аэрозолей (Израэль, Рябошапко, Петров, 2009).

В 2009-2010 годах межинститутским коллективом ученых (с участием сотрудников ИГКЭ, НПО «Тайфун» и ЦАО) под руководством Ю.А. Израэля были проведены ограниченные натурные эксперименты в атмосфере по измерению ослабления солнечной радиации искусственными аэрозольными слоями с известными оптическими и микрофизическими параметрами, близкими к природному стратосферному аэрозолю (Израэль и др., 2009; Израэль и др., 2011).

С 2010 года в ИГКЭ начались активные исследования последствий применения различных сценариев геоинженерного воздействия на климатическую систему Земли с применением методов математического моделирования. Для геоинженерных экспериментов использовалась глобальная климатическая

модель Института вычислительной математики РАН, установленная на расчетном кластере ИГКЭ. Были проведены модельные оценки необходимой интенсивности и продолжительности применения метода стратосферных аэрозолей для стабилизации средней глобальной температуры на уровне +2°С по отношению к доиндустриальному уровню (Израэль и др., 2013).

Дальнейшие исследования этого направления показали, что метод управления солнечной радиацией (в англоязычной литературе – solar radiation management, SRM) может быть эффективным и для смягчения региональных климатических изменений (региональный геоинженеринг). Например, возможно с помощью введения аэрозоля в стратосферу арктической зоны сократить таяние морского льда в Арктике. Модельные эксперименты показали, что влияние аэрозолей, введенных в арктической зоне, практически не будет сказываться на изменении приземной температуры в других областях (Рябошапко и др., 2017).

Позже в работах сотрудников ИГКЭ под руководством Алексея Григорьевича Рябошапко (руководителя направления инженерии климата в ИГКЭ в 2014-2016 гг.) спектр изучаемых геоинженерных методов был значительно расширен. Основные геоинженерные подходы к стабилизации глобальной приземной температуры атмосферы на приемлемом уровне сформулированы в статье (Рябошапко, Гинзбург, Ревокатова, 2017).

В последнее время в мире растет осознание того, что только сокращением выбросов парниковых газов – метод Киотского протокола – в ближайшие десятилетия невозможно достигнуть стабилизации концентрации парниковых газов в атмосфере на допустимом уровне. Поэтому активное развитие получили исследования методов удаления из атмосферы накопленного избытка CO_2 (метод «негативной эмиссии»; в англоязычной литературе исходно употреблялся термин carbon dioxide removal, CDR). В ИГКЭ в работе (Рябошапко, Ревокатова, 2015) на основе литературных данных была проведена оценка потенциала 17-ти различных методов изъятия из атмосферы и захоронения диоксида углерода для решения проблемы сдерживания изменений климата.

В последние годы этот комплекс работ получил новый импульс для развития в связи с подготовкой МГЭИК по запросу РКИК ООН специального доклада о возможности ограничения глобального потепления уровнем 1.5ºС по отношению к доиндустриальным значениям. Сотрудники ИГКЭ В.А. Гинзбург и А.П. Ревокатова – ведущие авторы этого специального доклада. Наряду с исследованием прямых температурных эффектов проводится также анализ возможных негативных последствий и рисков, связанных с применением методов геоинженерии (влияние на озоновый слой и перераспределение полей осадков, влияние на островные страны, на кораллы, закисление океана и т.д.), а также соответствующих международных, в том числе правовых, аспектов.

Мониторинг климата

В ИГКЭ разработаны виды информационно-аналитической продукции мониторинга климата, формы представления данных, методы расчета климатических индексов, построения региональных и временных обобщений, оце-

нивания трендов, а также созданы средства подготовки выходной продукции (графической и табличной) и разработана технология, включающая базу данных и реализующая все этапы мониторинга в режиме, близком к реальному времени, от усвоения и обработки данных станционных наблюдений (сводки КЛИМАТ и СИНОП) и включения их в базу данных до выпуска выходной продукции мониторинга.

Еще в 1996-1997 гг. был подготовлен первый бюллетень «Обзор состояния и тенденций изменения климата России», содержащий данные о среднегодовых аномалиях и трендах температуры воздуха и атмосферных осадков в среднем по России и избранным физико-географическим регионам, а также о снежном покрове и стихийных гидрометеорологических явлениях на территории России (Г.В. Груза, Э.Я. Ранькова, М.Ю. Бардин, Э.В. Рочева).

Значительное развитие технологии мониторинга приземного климата (как Информационной системы об изменениях климата, включая антропогенные факторы – ИСИКАФ), произошло в рамках Федеральной целевой программы «Предотвращение опасных изменений климата и их отрицательных последствий» (ФЦПК) в 1997 - 2000 годах. Тогда же был создан интернет-портал «Изменения климата России» (*http://climatechange.igce.ru*), на котором с 1998 года начат регулярный выпуск бюллетеней мониторинга в квазиреальном времени – по окончании года с 2-месячным запаздыванием («Обзор состояния и тенденций изменения климата России», 1998) – см. *http://climatechange.igce.ru/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=32&dir=DESC&order=name&limit=20&limitstart=60&lang=ru*).

Впоследствии технология совершенствовалась по различным направлениям: развивались методы ведения информационной базы, включая контроль качества данных; расширялся набор климатических индексов, анализируемых статистик и совокупность рассматриваемых регионов (к физико-географическим регионам добавлены федеральные округа); разрабатывались новые формы графического представления временных рядов и пространственного распределения аномалий и трендов. С 2005 г. бюллетень стал выпускаться пять раз в год: четыре сезонных выпуска и годовой.

В 2014 г. Г.В. Груза инициировал работы по развитию мониторинга глобального климата Земного шара, и с 2016 г. в ИГКЭ ведется регулярный мониторинг глобального климата GCCM (Global Climate Change Monitoring) по разделу «Приземная температура» по данным станционных метеорологических наблюдений. Технология мониторинга официально утверждена Центральной методической комиссией по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим прогнозам (решение от 20 декабря 2016 г.). Бюллетени выпускаются ежесезонно и по завершении года размещаются на интернет-портале ИГКЭ (http://climatechange.igce.ru), на странице «Изменение климата Земного шара».

Мониторинг климата России представляет собой в настоящее время распределенную систему, в которой участвуют различные научно-исследовательские учреждения, ведущие регулярный мониторинг по официально утвержденным методикам и выпускающие бюллетени и обзоры в рамках

своей компетенции (координатор – М.Ю. Бардин). Ежегодно результаты мониторинга обобщаются в «Докладе об особенностях климата на территории Российской Федерации», где приводятся данные о наблюдаемых климатических аномалиях (отклонениях от многолетнего среднего значения) и текущих тенденциях в изменении климата. Оценки приводятся для комплекса климатических переменных, характеризующих температурный и гидрологический режимы различных регионов (в том числе в Арктике и горных областях), состояние криосферы, содержание парниковых газов, частоту опасных природных явлений, агроклиматические условия.

Результаты мониторинга климата отражены в многочисленных публикациях в ведущих профильных журналах в России («Известия Академии Наук, Физика атмосферы и океана», «Метеорология и гидрология», «Фундаментальная и прикладная климатология») и за рубежом (Journal of Climate, Bulletin of the American Meteorological Society), см., например, (Бардин и др., 2017; Груза, Ранькова, 2011, 2012; Груза и др., 2017; Bulygina et al., 2018). Данные мониторинга передаются в ВМО для подготовки ежегодного «Заявления о состоянии глобального климата», используются для подготовки ряда национальных докладов.

Этапы развития работ по мониторингу климата представлены на сайте «Изменение климата России» http://climatechange.igce.ru/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=32&Itemid=75&lang=ru. Здесь можно найти все выпуски бюллетеней и доклады о состоянии климата с 1998 года.

В ИГКЭ ведется ряд исследований, составляющих единый цикл в области статистического анализа выделенных состояний климатической системы (как типичных, или «режимов», так и экстремальных) и вероятностного прогноза изменений климата. Работы по климатологии циркуляционных режимов (синоптическая климатология) включают различные подходы к кластеризации атмосферных состояний и процессов, выявлению и количественному описанию процессов блокирования, анализу ведущих мод атмосферной циркуляции и их связей с региональной климатической изменчивостью и климатическими экстремумами по данным наблюдений и результатам моделирования с использованием современных моделей земной системы (earth's system models).

ИГКЭ участвует в деятельности Росгидромета по линии Всемирной метеорологической организациии и Межгосударственного совета по гидрометеорологии стран СНГ, в том числе систематически подготавливая следующие информационно-аналитические материалы:

– ежегодный «Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации»;

– сезонные и годовые бюллетени «Обзор состояния и изменения климата России»;

– сезонные и годовые бюллетени «Обзор состояния и изменения климата на территории СНГ»;

– «Сводное ежегодное сообщение о состоянии и изменении климата на территории государств-участников СНГ»;

– сезонные и годовые Бюллетени мониторинга изменений климата Земного шара.

Взаимодействие атмосферы и наземных систем

В последние два десятилетия был выполнен цикл исследований антропогенных возмущений глобальных циклов парниковых газов – углекислого газа CO_2, метана CH_4 и закиси азота N_2O (Семенов, 2004; Семенов, Говор, Уварова, 2018), а также стабилизационных сценариев их глобальных антропогенных эмиссий (Израэль, Семенов, 2005). Была построена новая горизонтально-однородная радиационная модель атмосферы Земли, опирающаяся на современные спектроскопические данные, и с ее помощью были получены сравнительные оценки влияния изменений современного содержания водяного пара, углекислого газа, метана и закиси азота на радиационно-равновесную температуру земной поверхности (Семенов, Попов, 2011). В работе (Izrael, Semenov, 2006) проведено обоснование критических границ для увеличения содержания углекислого газа в атмосфере. В работе (Корнева, Семенов, 2015) была построена радиационная модель минимальной сложности системы «атмосфера-земная поверхность», которая позволила вычислить смещение нулевой изотермы среднегодовой температуры земной поверхности при изменениях ее альбедо. С ее помощью была получена оценка климатогенных угроз объектам криосферы. При анализе данных фонового мониторинга приземных концентраций CO_2, CH_4 и N_2O глобальной сети станций Государственного объединения научных и прикладных исследований (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, CSIRO) было обнаружено сходство многолетних и сезонных изменений приповерхностных концентраций этих газов на удаленных друг от друга станциях, в том числе на полярных станциях Северного и Южного полушарий (Семенов, Ранькова, 2018). Продолжены исследования по расчетному методу атрибуции – оценке распределения содержания парниковых газов в атмосфере по источникам эмиссий (Семенов, 2016).

Были продолжены исследования динамики лесных экосистем с помощью математических моделей. В модельные построения, кроме традиционных биоценологических элементов, были вовлечены потоки вещества и энергии в системе ‘атмосфера – растительный покров – почва‘. Результаты были представлены в серии публикаций, в том числе в (Цельникер, Корзухин, Семенов. 2010; Корзухин, Колосов, Семенов, 2011; Корзухин, Коротков, 2018).

В начале 2000-х, благодаря работам Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации – Мирового центра данных (ВНИИГМИ-МЦД Росгидромета), стали доступными данные гидрометеорологических наблюдений суточного разрешения (температура воздуха и осадки). В работе (Семенов, Гельвер, 2002) был предложен метод оценки климатического годового хода температуры по массивам данных с пропусками. Впоследствии предложенный алгоритм применялся и к осадкам. Подробное изложение этого метода и ряд его приложений приведены в монографии (Семенов, Гельвер, Ясюкевич, 2006). В ряде последующих работ, с

использованием этого алгоритма и данных наблюдений суточного разрешения и сценарных данных для различных временных интервалов, были получены соответствующие оценки прикладных климатических индексов, описывающих климатические ареалы некоторых биологических видов. Так появилась возможность сравнительного анализа климатических ареалов видов для различных климатически значимых периодов в XX и XXI веках. Это было сделано для возбудителей малярии человека (Семенов, Гельвер, Ясюкевич, 2002), иксодовых клещей – переносчиков опасных заболеваний человека (Ясюкевич, Казакова, Попов, Семенов, 2009; Попов, Ясюкевич, 2014), а также для опасных вредителей сельского хозяйства – колорадского жука (Попова, Попов, 2016) и саранчи – итальянского пруса (Попова, Семенов, Попов, 2016). Под научным руководством С.М. Семенова была издана фундаментальная коллективная монография (Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем, 2012), в подготовке которой участвовали ведущие ученые научно-исследовательских учреждений Росгидромета, Российской академии наук и ВУЗов.

Продолжались работы в области мониторинга загрязнения природной среды и изменений климата с помощью биологических показателей. Анной Евгеньевной Кухта был развит метод оценки влияния межгодовых изменений климата на линейный прирост древесных растений (Кухта, Семенов, 2002). Была проведена широкая апробация этого метода, в том числе на фоновых территориях в России. Был продолжен цикл исследований по оценке встречаемости и проективного покрытия эпифитных и эпилитных лишайников – чувствительных индикаторов загрязнения атмосферы и изменений климата (Insarov, Insarova, 2002; Insarov, 2010).

К научно-исследовательским разработкам этого направления тесно примыкают и объемные информационно-аналитические издания: «Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации» (2008 г.) и «Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации» (2014 г.). Подготовка этих докладов, включая научную координацию и научную редакцию, выполнялась совместно ИГКЭ и ГГО. В их подготовке участвовали специалисты научно-исследовательских учреждений Росгидромета, РАН и некоторых ВУЗов.

Мониторинг загрязнения окружающей среды

Ежегодно издается «Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации» (под редакцией Г.М. Черногаевой). Это издание синтезирует данные, поступающие от наблюдательных подразделений Росгидромета и некоторые другие потоки данных. Оно информирует общество, профильные неправительственные организации и государственные органы о состоянии и трендах загрязнения окружающей среды на территории России.

Продолжается издание ежегодного «Обзора фонового состояния окружающей природной среды на территории стран СНГ» (под редакцией Г.М. Черно-

гаевой), в котором представляются результаты мониторинга загрязнения природных сред на охраняемых территориях, вне непосредственного антропогенного влияния.

Учитывая важность сведений о многолетних изменениях уровня загрязнения окружающей среды и существующих устойчивых аномалиях на временных масштабах более года, в ИГКЭ также периодически подготавливаются выпуски специального издания «Тенденции и динамика состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации по данным многолетнего мониторинга» (см., например, (ИГКЭ, 2017)). Кроме того, на базе индикаторов, рассчитанных по результатам мониторинга окружающей среды городов, с использованием статистических данных об антропогенных выбросах в атмосферу и сбросах в поверхностные воды, систематически проводится сравнительная комплексная оценка уровня антропогенной нагрузки на урбанизированные территории субъектов Российской Федерации с выделением территорий с наиболее неблагоприятной экологической ситуацией, сложившейся в условиях современной антропогенной деятельности (Черногаева, Жадановская, 2018).

ИГКЭ продолжает и расширяет научное и методическое руководство сетями комплексного фонового мониторинга (КФМ), трансграничного мониторинга загрязнения атмосферы (ЕМЕП) и мониторинга кислотных выпадений в Восточной Азии (EANET). Разрабатываются методы проведения наблюдений и анализа проб, выполняются измерения содержания приоритетных загрязняющих веществ, проводятся анализ и обобщение всех данных, поступающих с сетей, и периодическое формирование информационных продуктов – обзоров, докладов, справок, научных публикаций. Эксперты ИГКЭ участвовали в качестве соавторов и контрибьюторов в глобальной оценке химического состава осадков (Vet et al., 2014), при оценке трендов загрязнения атмосферы в регионе ЕМЕП и в периодических отчетах о состоянии кислотных выпадений в Азии (Akimoto et al., 2011; Sakamoto et al., 2016).

Заключение: перспективы

Совокупность научных знаний о земной системе, the earth's system, что в России обобщается термином «науки о Земле», в последние десятилетия интенсивно пополняется, но ее структура стремительно изменяется.

Фундаментальные основы в части глобальных биогеохимических циклов, количественного описания основных взаимодействий в земной системе и теории математического моделирования парникового эффекта, в значительной степени, разработаны. Если в середине XX века их широкому применению в практических оценках и расчетах препятствовал недостаток фактической информации о состоянии земной системы и ее изменениях, то сейчас ситуация значительно изменилась. Развитие сетей мониторинга состояния окружающей среды, включая мониторинг уровня загрязнения и климата, в том числе глобальных сетей, привело к созданию значительных массивов детализированных данных. Их число сейчас стремительно возрастает, благодаря все

более широкому внедрению методов дистанционного зондирования, в том числе на базе искусственных спутников Земли. Наличие сети ИНТЕРНЕТ делает эту информацию все более доступной для исследователей. Если в докомпьютерную эпоху обработка больших массивов данных составляла реальную проблему для исследователей, то сегодняшнее повсеместное распространение персональных и иных компьютеров сняло эту проблему. Если еще в середине XX века в науках о Земле типичной была проблема избытка теоретического знания и недостатка данных, то сейчас, чаще всего, достаток и многообразие данных требуют новых идей и подходов для их анализа, обобщения и практических выводов.

В последние десятилетия общественный запрос обусловил интенсивное развитие в науках о Земле прикладных направлений: мониторинг и прогнозирование глобальных изменений земной системы, оценка антропогенных воздействий на нее и ее антропогенных изменений, исследование рисков и предельно-допустимых уровней воздействия, адаптаций природных и социально-экономических систем к глобальным изменениям. Исследования и мониторинг по этим направлениям имеет и практический ориентир – поддержка усилий на международном и национальном уровнях по ограничению антропогенного воздействия на земную систему и ее адаптации к такому воздействию.

Будущее ИГКЭ в значительной мере связано именно с этими прикладными научными направлениями. Их развитие может быть реализовано именно на базе ИГКЭ – уникального научного учреждения, совмещающего значительный научный потенциал и опыт экспертизы практических проектов в области антропогенного влияния на окружающую среду и климат.

Работы данного направления могут наиболее эффективно выполняться, если в ИГКЭ будет функционировать, в том числе, «Центр Росгидромета по мониторингу антропогенных воздействий на окружающую среду и их последствий». Предполагается, что Центр выполняет информационно-аналитическую работу по синтезу и доведению до потребителя информации, получаемой в системе Росгидромета и имеющейся в мировых базах данных, о разных видах антропогенного воздействия на окружающую среду (включая изменение климата, химическое загрязнение и другие виды антропогенной нагрузки) и последствиях для климата и природных и антропогенных экосистем, о путях смягчения антропогенных воздействий и адаптации к ним. Конечно, эта работа интегративная, и предполагается участие в ней всех профильных заинтересованных НИУ Росгидромета. Задачи Центра включают: анализ существующих потоков данных; их обобщение и доведение информации до пользователей различного уровня; комплексный анализ запросов и получение новых видов информации в соответствии с запросами пользователей; сценарные разработки. При этом предполагается выведение на современный мировой уровень всех технологических элементов взаимоувязанных систем получения и распространения информации по тематике Центра и внедрение инновационных технологий получения, передачи и архивирования информации.

Уникальный принцип организации такого Центра предусматривает проведение комплексного анализа всех видов антропогенного воздействия на окру-

жающую среду и впервые сможет объединить тематику изменения климата и загрязнения окружающей среды. Подобная интегральная оценка является информационной основой для лиц, принимающих решения на национальном, отраслевом, региональном и локальном (местном) уровнях в отношении мероприятий по адаптации и смягчению антропогенного воздействия. Такая оценка также является информационной основой международных усилий, направленных на решение этих проблем.

Список литературы

Абакумов В.А. 1991. Экологические модификации и развитие биоценозов. – В кн.: Экологические модификации и критерии экологического нормирования. Труды Международного симпозиума. – Л., Гидрометеоиздат, с.18-40.

Атлас Восточно-Уральского и Карачаевского радиоактивных следов, включая прогноз до 2047 года /под ред. Ю.А.Израэля, 2013. – М., ИГКЭ Росгидромета и РАН, Фонд «Инфосфера». НИА-Природа, 140 с.

Атлас загрязнения Европы цезием после Чернобыльской аварии /под ред. Ю.А. Израэля, 1998. – Люксембург, Бюро официальных публикаций Европейской комиссии, ISBN 92-828-3140-X.

Атлас радиоактивного загрязнения Европейской части России, Белоруссии и Украины /Разраб. в Ин-те глобального климата и экологии Росгидромета и РАН под науч. руководством акад. Ю.А. Израэля, 1998а. – М., Роскартография, 142 с.

Атлас современных и прогнозных аспектов последствий аварии на Чернобыльской АЭС на пострадавших территориях России и Беларуси (АСПА Россия-Беларусь) / под ред. Ю.А. Израэля, И.М. Богдевича., 2009. – Москва, Минск, Фонд «Инфосфера», НИА-Природа, 140 с.

Бардин М.Ю., Ранькова Э.Я., Рочева Э.В., Самохина О.Ф. 2017. Климатические аномалии температуры приземного воздуха на территории России летом 2016 г. – Метеорология и гидрология, № 2, с. 137-143.

Будыко М.И., Голицын Г.С., Израэль Ю.А. 1986. Глобальные климатические катастрофы. – М., Гидрометеоиздат, 278 с.

Василенко В.Н., Назаров И.М., Фридман Ш.Д. 1985. Мониторинг загрязнения снежного покрова. – Л., Гидрометеоиздат, 182 с.

Василенко В.Н., Назаров И.М., Фридман Ш.Д. 1992. Мониторинг нагрузок кислотных выпадений. – Метеорология и гидрология, № 9, с. 44-48.

Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Основной том. /Под ред. В.М.Катцова и С.М.Семенова. 2014. – М., Росгидромет, 1008 с.

Гитарский М.Л., Замолодчиков Д.Г., Коровин Г.Н., Карабань Р.Т. 2006. Эмиссия и поглощение парниковых газов в лесном секторе страны как эле-

мент выполнения обязательств по климатической конвенции ООН. – Лесоведение, № 6, с. 34-44.

Гитарский М.Л., Карабань Р.Т., Филипчук А.Н., Коротков В.Н., Романовская А.А. 2002. Расчетная оценка стока углерода в лесах России за последнее десятилетие. – В кн.: Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем, т. 18, с. 261-275.

Голубев А.В., Инсаров Г.Э., Страхов В.В. 1980. Математические методы в лесозащите. – М., Лесная промышленность, 101 с.

Груза Г.В., Ранькова Э.Я. 1980. Структура и изменчивость наблюдаемого климата. Температура воздуха Северного полушария. – Л., Гидрометеоиздат, 1980, 71 с.

Груза Г.В., Ранькова Э.Я. 1989. Мониторинг и вероятностный прогноз короткопериодных колебаний климата». – В кн.: «60 лет Центру гидрометеорологических прогнозов». – Л., Гидрометеоиздат, с. 148-170.

Груза Г.В., Ранькова Э.Я., 2011. Оценка возможного вклада глобального потепления в генезис экстремально жарких летних сезонов на европейской территории РФ. – Известия РАН. Физика атмосферы и океана, т. 47, № 6, с.1-4.

Груза Г.В., Ранькова Э.Я. 2012. Наблюдаемые и ожидаемые изменения климата России. – Изд. ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 198 с., ISBN 978-5-901579-35-0.

Груза Г.В., Ранькова Э.Я., Рочева Э.В. 1990. Данные о структуре и изменчивости климата. Температура воздуха на уровне моря. Северное полушарие. – Обнинск, 247 с.

Груза Г.В., Ранькова Э.Я., Рочева Э.В., Самохина О.Ф. 2017. Особенности температурных аномалий у поверхности земного шара в 2016 г. – Фундаментальная и прикладная климатология, т. 1, с. 124-146.

Замолодчиков Д.Г., Гитарский М.Л., Шилкин А.В., Марунич А.С., Карелин Д.В., Блинов В.Г., Иващенко А.И. 2017. Мониторинг циклов диоксида углерода и водяного пара на полигоне «Лог Таежный» (Валдайский национальный парк). – Фундаментальная и прикладная климатология, т. 1, с. 54-68.

ИГКЭ, 2017. Тенденции и динамика состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации по данным многолетнего мониторинга за последние 10 лет. Аналитический обзор. /Отв. ред. Г.М. Черногаева. – М., Росгидромет, 49 с.

Израэль Ю.А. 1984. Экология и контроль состояния природной среды. – Л., Гидрометеоиздат, 355 с.

Израэль Ю.А. 1996. Радиоактивные выпадения после ядерных взрывов и аварий. – С-Пб., Прогресс-погода, 355 с.

Израэль Ю.А. 2005. Эффективный путь сохранения климата на современном уровне – основная цель решения климатической проблемы. – Метеорология и гидрология, № 10, стр. 5-9.

Израэль Ю.А., Анохин Ю.А., Гитарский М.Л., Карабань Р.Т., Назаров И.М., Сиротенко О.Д. 2001. Последствия изменения климата для России. – В кн.: Состояние и комплексный мониторинг природной среды и климата. Пределы изменений. – М., Наука, с. 40-64.

Израэль Ю.А., Артемов Е.М., Назаров И.М., Фридман Ш.Д., Зиненко В.И., Кривошапко А.И., Лященко Н.Г., Пахомов В.Г., Чирков В.А., Стукин Е.Д. 1993. Радиоактивное загрязнение местности в результате аварии на радиохимическом заводе в Томске-7. – Метеорология и гидрология, № 6, с. 5-8.

Израэль Ю.А., Борзенкова И.И., Северов Д.А. 2007. Роль стратосферных аэрозолей в сохранении современного климата. – Метеорология и гидрология, № 1, с. 5-14.

Израэль Ю.А., Вакуловский С.М., Ветров В.А., Петров В.Н., Ровинский Ф.Я., Стукин Е.Д. 1990. Чернобыль: радиоактивное загрязнение природных сред. – Л., Гидрометеоиздат, 295 с.

Израэль Ю.А., Володин Е.М., Кострыкин С.В., Ревокатова А.П., Рябошапко А.Г. 2013. Возможность геоинженерной стабилизации глобальной температуры в XXI в. с использованием стратосферных аэрозолей и оценка возможных негативных последствий. – Метеорология и гидрология, № 6, с. 9-23.

Израэль Ю.А., Захаров В.М., Иванов В.Н., Петров Н.Н., Андреев Ю.В., Гулевский В.А., Данилян Б.Г., Ераньков В.Г., Кирин Д.В., Куляпин В.П., Русаков Ю.С., Савченко А.В., Свиркунов П.Н., Северов Д.А., Фоломеев В.В. 2011. Натурный эксперимент по моделированию влияния аэрозольных слоев на изменчивость солнечной инсоляции и метеорологических характеристик приземного слоя. – Метеорология и гидрология, № 11, с. 5-14.

Израэль Ю.А., Захаров В.М., Петров Н.Н., Рябошапко А.Г., Иванов В.Н., Савченко А.В., Андреев Ю.В., Пузов Ю.А., Данелян Б.Г., Куляпин В.П. 2009. Натурный эксперимент по исследованию прохождения солнечного излучения через аэрозольные слои. – Метеорология и гидрология, № 5, с. 5-14.

Израэль Ю.А., Квасникова Е.В., Назаров И.М., Фридман Ш.Д. 1994. Глобальное и региональное радиоактивное загрязнение цезием-137 европейской территории бывшего СССР. – Метеорология и гидрология, № 5, с. 5–9.

Израэль Ю.А., Назаров И.М., Гитарский М.Л., Нахутин А.И., Яковлев А.Ф. 2002. Киотский протокол – проблемы его ратификации. – Метеорология и гидрология, № 11, с. 5-12.

Израэль Ю.А., Назаров И.М., Нахутин А.И., Яковлев А.Ф., Гитарский М.Л. 2002. Вклад России в изменение концентрации парниковых газов в атмосфере. – Метеорология и гидрология, № 5, с. 17-27.

Израэль Ю.А., Назаров И.М., Прессман А.Я., Ровинский Ф.Я., Рябошапко А.Г., Филиппова Л.М. 1989. Кислотные дожди. – Л., Гидрометеоиздат, 269 с.

Израэль Ю.А., Петров В.Н., Северов Д.А. 1997. Моделирование региональных радиоактивных выпадений из облака наземного ядерного взрыва. – Метеорология и гидрология, № 4, с. 16-24.

Израэль Ю.А., Рябошапко А.Г., Петров Н.Н. 2009. Сравнительный анализ геоинженерных способов стабилизации климата. – Метеорология и гидрология, № 6, с. 5-24.

Израэль Ю.А., Семенов С.М. 2005. Расчет изменения концентрации CO_2 в атмосфере для некоторых стабилизационных сценариев глобальной эмиссии с помощью модели минимальной сложности. – Метеорология и гидрология, № 1, с. 1-8.

Израэль Ю.А., Стукин Е.Д., Сойфер В.Н., Константинов С.В., Соловьев В.Н., Аверков В.А., Сметанкин А.В. 2000. Результаты радиоэкологического обследования района гибели атомной подводной лодки "Курск". – Метеорология и гидрология, № 10, с. 5-9.

Израэль Ю.А., Филиппова Л.М., Инсаров Г.Э., Семевский Ф.Н., Семенов С.М. 1978. О некоторых принципах экологического мониторинга в условиях фонового загрязнения окружающей природной среды. – Доклады АН СССР, т. 241, № 1, с. 253-255.

Израэль Ю.А., Цыбань А.В. 1989. Антропогенная экология океана. – Л., Гидрометеоиздат, 527 с.

Израэль Ю.А., Цыбань А.В. 1990. Исследование экосистемы Балтийского моря. – Ленинград, Гидрометеоиздат, 176 с.

Израэль Ю.А., Цыбань А.В. 1992. Исследование экосистем Берингова и Чукотского морей. – Санкт-Петербург, Гидрометеоиздат, 654 с.

Карабань Р.Т., Кокорин А.О., Назаров И.М., Швиденко А.З. 1993. Поглощение CO_2 лесами России. – Метеорология и гидрология, № 1, с. 5-14.

Квасникова Е.В., Жукова О.М., Гордеев С.К., Константинов С.В., Киров С.С., Лысак А.В., Манзон Д.А. 2009. Цезий-137 в почвах ландшафтов через 20 лет после аварии на Чернобыльской АЭС. – Известия РАН. Серия географическая, № 5, с. 66-83.

Квасникова Е.В., Пегоев А.Н., Стукин Е.Д. 1999. Влияние миграции цезия-137 на его вертикальный профиль в почве аккумулятивно-денудационных ландшафтов. – Атомная энергия, т. 86, вып. 2, № 2, с. 134-139.

Корзухин М.Д., Колосов П.А., Семёнов С.М. 2011. Опыт применения модели Дальтона к оценке испаряемости на территории России и соседних стран по данным долговременных наблюдений. – Метеорология и Гидрология, № 12, с. 17-28.

Корзухин М.Д., Коротков В.Н. 2018. Модификация модели РОБУЛ для расчета углеродного баланса лесов России. – Фундаментальная и прикладная климатология, т. 3, с. 30-53.

Корзухин М.Д., Семевский Ф.Н. 1992. Синэкология леса. – СПб., Гидрометеоиздат, 191 с., ISBN 5-286-00831-3

Корнева И.А., Семенов С.М. 2015. Оценка влияния изменения альбедо земной поверхности на положение нулевой изотермы. – Лёд и снег, т. 55, № 3, с. 5-13.

Коротков В.Н., Романовская А.А. 2013. Особенности учета выбросов и стоков парниковых газов при облесении, обезлесении и лесоуправлении в рамках отчетности по Киотскому протоколу. – В кн.: Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. № 2 – СПб., Издательство Политехн. ун-та, с. 12-15.

Коротков В.Н., Романовская А.А., Карабань Р.Т., Смирнов Н.С. 2012. Оценка углеродного бюджета лесов России в рамках отчетности по Киотскому протоколу. – Лесной вестник, № 7, с. 58-64.

Кухта А.Е., Семенов С.М. 2002. Метод мониторинга линейного прироста ювенильных растений и его роль в оценке крупномасштабных изменений состояния природной среды и климата. – В кн.: Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем, т, XYIII, – Санкт-Петербург, Гидрометеоиздат, с. 167-191.

Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем /под ред. Семенова С.М. 2012. – Москва, НИЦ «Планета», 512 с.

Мониторинг потоков парниковых газов в природных экосистемах. 2017. Алферов А.М., Блинов В.Г., Гитарский М.Л., Грабар В.А., Замолодчиков Д.Г., Зинченко А.В., Иванова Н.П., Ивахов В.М., Карабань Р.Т., Карелин Д.В., Калюжный И.Л., Кашин Ф.В., Конюшков Д.Е., Коротков В.Н., Кровотынцев В.А., Лавров С.А., Марунич А.С., Парамонова Н.Н., Романовская А.А., Трунов А.А., Шилкин А.В., Юзбеков А.К. /Под ред. Д.Г. Замолочикова, Д.В. Карелина, М.Л. Гитарского, В.Г. Блинова. 2017. – Саратов, Амирит, 279 с.

Мониторинг фонового загрязнения природных сред. /Под ред. Ю.А. Израэля и Ф.Я. Ровинского. 1991, вып. 7. – Л., Гидрометеоиздат, 296 с.

Назаров И.М., Фридман А.И., Фридман Ш.Д., Воробьев В.А., Перемятова Н.А., Абрамов Н.Ф., Бекилов Э.Х., Демидюк Л.М., Дмитриев А.М. 1992. Антропогенная эмиссия метана в странах СНГ и Прибалтики. – Метеорология и гидрология, № 11, с. 15-20.

Обзор загрязнения окружающей природной среды в Российской Федерации за 1992 г. /Под ред. Ю.А.Израэля и Ф.Я.Ровинского. 1993. – М., Росгидромет, 68 с.

Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2017 год. /Под ред. проф. Г.М. Черногаевой. 2018. – М., Росгидромет, 206 с.

Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории российской Федерации. Том II. Последствия изменений климата. Руково-

дитель С.М. Семенов. 2008. – Москва, Росгидромет. Изд-во ГУ "НИЦ "Планета", 288 с.

Попов И.О., Ясюкевич В.В. 2014. Таежный клещ *Ixodes persulcatus*: распространение в условиях меняющегося климата XXI в. – Метеорология и гидрология, № 8, с. 77-84.

Попова Е.Н., Попов И.О. 2016. Прогноз изменений климатического ареала колорадского жука на территории России и соседних стран при различных сценариях антропогенного воздействия на климат. – Известия РАН. Серия географическая, № 1, с. 67-73. doi:10.15356/0373-2444-2016-1-67-73.

Попова Е.Н., Семенов С.М., Попов И.О. 2016.Оценка возможного расширения климатического ареала итальянского пруса в России в XXI в. в условиях прогнозируемых изменений климата. – Метеорология и гидрология, № 3, с. 82-88.

Разумовский С.М. 1981. Закономерности динамики биоценозов. – М., Наука, 231 с.

Ровинский Ф.Я., Егоров В.И. 1986. Озон, окислы азота и серы в нижней атмосфере. – Л., Гидрометеоиздат, 182 с.

Романовская А.А. 2018. Потребности и пути развития мониторинга адаптации. – Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем, т. 29, № 1, с. 107-126.

Романовская А.А., Гитарский М.Л., Карабань Р.Т., Назаров И.М. 2002в. Оценка эмиссии закиси азота от неутилизируемой в аграрном секторе страны мортмассы сельскохозяйственных растений. – В кн.: Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем, т. 18, с. 276- 286.

Романовская А.А., Гитарский М.Л., Конюшков Д.Е., Карабань Р.Т., Назаров И.М. 2002а. Интенсивность почвенной эмиссии закиси азота при внесении разных доз минеральных азотных удобрений. – Сельскохозяйственная биология, № 1, с. 98-103.

Романовская А.А., Коротков В.Н., Карабань Р.Т., Смирнов Н.С. 2012. Динамика элементов баланса углерода на неиспользуемых пахотных угодьях Валдайской возвышенности. – Экология, № 5, с. 347-352.

Романовская А.А., Федеричи С. 2015. Квота на выбросы и роль лесного сектора в национальных обязательствах Российской Федерации в новом климатическом соглашении. – В сб.: Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. – СПб., СПбНИИЛХ, вып. 1, с. 20-38.

Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. /Под ред. проф. В.А. Абакумова. 1992. – Л., Гидрометеоиздат, 318 с.

Руководство по методам биологического анализа морской воды и донных отложений. 1980. – Л., Госкомгидромет СССР, 190 с.

Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений /под ред. В.А. Абакумова. 1983. – Л., Гидрометеоиздат, 238 с.

Рябошапко А.Г., Гинзбург В.А., Ревокатова А.П. 2017. Перспективы стабилизации глобальной приземной температуры атмосферы на приемлемом уровне. – Фундаментальная и прикладная климатология, т. 4, с. 124-137.

Рябошапко А.Г., Кострыкин С.В., Бушмелев И.О., Ревокатова А.П. 2017. Совместный подход к сохранению климата Арктики и решению проблемы высокого загрязнения атмосферы Норильска. – Фундаментальная и прикладная климатология, т. 1, с. 89-105.

Рябошапко А.Г., Ревокатова А.П. 2015. Потенциальная роль удаления CO_2 из атмосферы методами инженерии климата в стабилизации его концентрации на приемлемом уровне. – Москва, ФГБУ "ИГКЭ Росгидромета и РАН", 85 с., ISBN 978-5-9907116-1-7

Семевский Ф.Н., Семенов С.М. 1982. Математическое моделирование экологических процессов. – Л., Гидрометеоиздат, 280 с.

Семенов С.М. 1996. Генетический подход к расчету вкладов различных источников в общее содержание веществ в окружающей среде. – Доклады Академии наук, т. 351, № 2, с. 284-286.

Семенов С.М. 2004. Парниковые газы и современный климат Земли. – Москва, Издательский центр «Метеорология и гидрология», 175 с.

Семенов С.М. 2016. Атрибуция изменения содержания парниковых газов в атмосфере. – Фундаментальная и прикладная климатология, т. 2, с. 22-37.

Семенов С.М., Гельвер Е.С. 2002. Изменение годового хода среднесуточной температуры воздуха на территории России в XX веке. – Доклады Академии наук. Геофизика, т. 386, № 3, с. 389-394.

Семенов С.М., Гельвер Е.С., Ясюкевич В.В. 2002. Температурные условия для развития двух видов возбудителей малярии в организме переносчика на территории России в XX веке. – Доклады Академии наук. Общая биология. т. 387, № 1, с. 131-136.

Семенов С.М., Говор И.Л., Уварова Н.Е. 2018. Роль метана в современном изменении климата. – Москва, 106 с. ISBN 978-5-9631-0687-7.

Семенов С.М., Кунина И.М., Кухта Б.А. 1998. Сравнение антропогенных изменений приземных концентраций O3, SO2 и CO2 в Европе по экологическому критерию. – Доклады Академии наук, т. 361, № 2, с. 275-279.

Семенов С.М., Кунина И.М., Кухта Б.А. 1999. Тропосферный озон и рост растений в Европе. – Москва, Издательский центр «Метеорология и гидрология», 208 с.

Семенов С.М. Ясюкевич В.В., Гельвер Е.С. 2006. Выявление климатогенных изменений. – Москва, Издательский центр «Метеорология и гидрология», 324 с.

Семенов С.М., Попов И.О. 2011. Сравнительные оценки влияния изменения концентраций диоксида углерода, метана, закиси азота и водяного пара на радиационно-равновесную температуру земной поверхности. – Метеорология и гидрология, № 8, с. 34-43.

Семенов С.М., Ранькова Э.Я. 2018. Особенности многолетних изменений и сезонной изменчивости современных фоновых концентраций CO_2, CH_4 и N_2O на станциях глобального мониторинга. – Фундаментальная и прикладная климатология, т. 4, с. 71-87. DOI: 10.21513/2410-8758-2018-4-71-90

Смирнов Н.С., Коротков В.Н., Романовская А.А. 2015. Выбросы черного углерода от природных пожаров на землях лесного фонда Российской Федерации в 2007- 2012 гг. – Метеорология и гидрология, № 7, с. 5-17.

Трунов А.А. 2017. Обезлесение на территории России и его влияние на антропогенную эмиссию диоксида углерода в 1990-2013 гг. – Метеорология и гидрология, № 8. с. 64-75.

Фридман Ш.Д., Квасникова Е.В., Глушко О.В:, Голосов В.Н., Иванова Н.Н. 1997. Миграция цезия-137 в сопряженных геокомплексах Среднерусской возвышенности. – Метеорология и гидрология, № 5, с. 45-55.

Фридман Ш.Д., Контарович Р.С., Федоткин А.Ф., Керцман В.М. 1994. Реконструкция следов радиоактивных выпадений в результате аварий и ядерных взрывов. – Метеорология и гидрология, № 8, с. 5-18.

Цельникер Ю.Л., Корзухин М.Д., Семёнов С.М. 2010. Модельный анализ широтного распределения продуктивности некоторых лесных пород России. – Лесоведение, № 2, с. 36-45.

Уварова Н.Е., Грабар В.А., Гитарский М.Л., Нахутин А.И., Дыган М.М., Бердин В.Х. 2017. Национальные параметры для расчета эмиссии парниковых газов в российском нефтегазовом секторе. – Экологический вестник России, № 11, с. 12-17.

Черногаева Г.М., Жадановская Е.А. 2018. Загрязнение поверхностных пресных вод на урбанизированных территориях субъектов Российской Федерации. – Вопросы географии, сб. 145. Гидрологические изменения /под ред. акад. В.М. Котлякова, с. 414-423.

Черногаева Г.М., Зеленов А.С., Зеленова М.С., Малеванов Ю.А. 2009. Экологическое состояние бассейна Днепра на территории России. – М., Метеоагентство Росгидромета, 230 с.

Ядерные испытания СССР. Новоземельский полигон: обеспечение общей и радиационной безопасности / Коллектив авторов, 2000. – М., ИздАТ, 487 с.

Ясюкевич В.В., Казакова Е.В., Попов И.О., Семенов С.М. 2009. Распространение иксодовых клещей IXODESRICINUS L., 1758 и IXODESPERSUL CATUSSHULZE, 1930 (PARASITI FORMES, IXODIDAE) на территории России и соседних стран и наблюдаемые изменения климата. – Доклады Академии наук. География, т. 427, № 5, с. 688-692.

Akimoto H., Luangjame J., Hara H., Gromov S., Khummongkol P., Carandang W. (Eds.) 2011. The Second Periodic Report of the State of Acid Deposition in East Asia. Part I: Regional Assessment. UNEP/RRC.AP-ACAP, 269 p.

Atmospheric Nuclear Tests. Environmental and Human Consequences. / Ed. Ch.S. Shapiro. NATO ASI Series, 2.Environment, 1988, vol. 35, ISBN 3-540-63804-0 Springer-Verlag, New York, XIV, 282 p.

Brimblecombe P., Hammer C., Rohde H., Ryaboshapko A., Boutron C.F. 1991. Human Influence on the Sulphur Cycle. – Evolution of the Global Biogeochemical Sulphur Cycle. (Eds. Brimblecombe, P. and A. Y. Lein). SCOPE 39, NY: JOHN WILEY & SONS, pp. 77-121.

Bulygina O.N., Korshunova N.N., Bardin M.Yu., Davletshin S.G. 2018. Russia [in "State of the Climate in 2017"]. – Bull. Amer. Meteor. Soc., 99 (8), S150-S152, doi:10.1175/2018 BAMS State of the Climate.1

Filippova L.M., Semenov S.M., Insarov G.E., Semevsky F.N., Kunina I.M., Nyomarkay K.M., Fridvalski L., Szasz J. 1984. Effects of SO_2 on plants. – Moscow, Gidrometeoizdat, 137 p.

Insarov G. 2010. Epiphytic Montane Lichens Exposed to Background Air Pollution and Climate Change: Monitoring and Conservation Aspects. – International Journal of Ecology and Environmental Sciences, vol. 36 (1), pp. 29-35.

Insarov, G., Insarova, I. 2002. Long-term monitoring of the response of lichen communities to climate change in the Central Negev Highlands (Israel). – Bibliotheca Lichenologica, No. 82, pp. 209-220.

Insarova I. D., Insarov G. E., Bråkenhielm S., Hultengren S., Martinson P.-O., Semenov S. M. 1992. Lichen sensitivity and air pollution. – Swedish Environment Protection Agency. Report 4007 Uppsala, 72 p.

Insarov, G., Insarova, I., Semenov, S. 1999. A system to monitor climate change with epilithic lichens. – Environmental Monitoring and Assessment, vol. 55, pp.279-298.

Izrael Yu.A., Semenov S.M. 2006. Critical Levels of Greenhouse Gases, Stabilization Scenarios, and Implications for the Global Decisions. In: Avoiding Dangerous Climate Change /Schellnhuber, H.J., Cramer, W., Nakicenovic, N., Wigley, T. and Yohe, G. (Eds). – Cambridge University Press, pp. 73-79.

Nuclear Tests. Long-Term Consequences in the Semipalatinsk/Altai Region./ Ed. Ch.S.Shapiro, V.I.Kiselev, E.V.Zaitsev. NATO ASI Series, 2. 1988. – Environment, vol. 36, ISBN 3-540-63805-9 Springer-Verlag, Ney York, 196 p.

Nuclear Test Explosions: Environmental and Human Impacts / Frederick Warner and René J. C. Kirchmann (eds), 1999. Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE) of the International Council for Science, *SCOPE 59.*, John Wiley & Sons, New York, 1999.

Romanovskaya A.A, Gytarsky M.L, Karaban' R.T, Konyushkov D.E, Nazarov I.M. 2002. Nitrous oxide emission from agricultural lands in Russia. – Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, vol. 7, No.1, pp.31-43.

Ryaboshapko A., Gallardo L., Kjellstrom E., Gromov S., Paramonov S., Afinogenova O., Rodhe H. 1998. Balances of oxidized sulfur and nitrogen over the former Soviet Union territory. – Atmospheric Environment, vol. 32, No. 4, pp. 647-658.

Ryaboshapko A., Gromov S. A. et al. 1999. Expert Meeting on Chemistry of Aerosols, Clouds and Atmospheric Precipitation in the former USSR. (Saint Petersburg, Russian Federation, 13-15 November 1995). WMO/GAW Report 116, 69 p.

Ryaboshapko A.G., Sukhenko V.V., Paramonov S.G. 1994. Assessment of wet sulphur deposition over the former USSR. – Tellus, Ser. B, No. 46, pp. 205-219.

Sakamoto K., Lee S.-J., Gromov S., Cho S.-Ye., Meng F., Carandang W. (Eds.). 2016. The Third Periodic Report on the State of the Acid Deposition in East Asia. Part I : Regional Assessment. – UNEPRRC.AP. 259 p.

Semevsky F.N., Semenov S.M., Thompson L.C. 1997. Detecting imported fire ant (Hymenoptera, Formicidae) effects on crop production using a statistical model. – Russian Entomological Journal, No. 6 (1-2), pp. 153-160.

Vet, R., Artz R.S., Carou S., Shaw M., Ro Ch.-U., Aas W., Baker A., Bowersox V.C., Dentener F., Galy-Lacaux C., Hou A., Pienaar J.J., Gillett R., Forti M.C., Gromov S., Hara H., Khodzher T., Mahowald N.M., Nickovic S., Rao P. S. P., Reid N.W. 2014. A global assessment of precipitation chemistry and deposition of sulfur, nitrogen, sea salt, base cations, organic acids, acidity and pH, and phosphorus. – Atmospheric Environment, vol. 93, pp. 3-100.

Vetrov V.A. 2003. Use of ^{152}Eu as a Tracer for Identifying Fallout in the Altai Region from Nuclear Explosions at the Semipalatinsk Test Site: Would it Work for Present? – In Environmental Protection against Radioactive Pollution. – Cluver Academic Publishers, pp. 127-129.

Статья поступила в редакцию: 21.03.2019 г. *После переработки: 28.03.2019 г.*

THIRTIETH ANNIVERSARY OF Yu. A. IZRAEL INSTITUTE OF GLOBAL CLIMATE AND ECOLOGY

M.Yu. Bardin, Yu.A. Buyvolov, V.A. Vorobiev, V.A. Ginzburg, M.L. Gitarsky, A.A. Gladilshchikova, S.A. Gromov, A.I. Nakhutin, O.M. Potyutko, L.A. Prokhorova, E.Ya. Rankova, A.A. Romanovskaya, A.G. Ryaboshapko, V.P. Sedyakin, S.M. Semenov, G.M. Chernogaeva

Yu. A. Izrael Institute of Global Climate and Ecology,
20B, Glebovskaya str., 107258, Moscow, Russian Federation; *fgbuigce@igce.ru*

Abstract. The paper considers process of the establishment and development of global studies in the Earth's sciences in Russia in connection with an increase in types and scale of anthropogenic impacts on the Earth's system from the mid-20th century to present. The role of Yu.A. Izrael Institute of Global Climate and Ecology in the process, its establishment and development are highlighted. The main areas of research activities of the Institute are described: – radioactive and chemical pollution of the environment; – global climate change, its causes and consequences; – constraining of anthropogenic impacts on the Earth's system; – geoengineering. The prospects of further development of research areas are outlined. The bibliography of major publications is presented.

Keywords. Earth's system, global change, anthropogenic impacts, Russia, research development, prospects.

References

Abakumov V.A. 1991. Ekologicheskiye modifikatsii i razvitiye biotsenozov [Ecological modifications and development of biocenoses]. V kn.: *Ekologicheskiye modifikatsii i kriterii ekologicheskogo normirovaniya. Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma*. [In the book: Ecological modifications and criteria for environmental regulation. Proceedings of the International Symposium]. Leningrad, Gidrometeoizdat, pp.18-40.

*Atlas Vostochno-Ural'skogo i Karachayevskogo radioaktivnykh sledov, vklyuchaya prognoz do 2047 goda [*Atlas of the East-Ural and Karachay radioactive traces, including the forecast up to 2047]. Pod red. Yu.A. Izraelya, 2013. Moscow, IGKE Rosgidrometa i RAN, Fond «Infosfera» – NIA-Priroda, 140 p.

Atlas zagryazneniya Yevropy tseziyem posle Chernobyl'skoy avarii [Atlas of European pollution with cesium after the Chernobyl accident]. Pod red. Yu.A. Izraelya, 1998. Lyuksemburg: Byuro ofitsial'nykh publikatsiy Yevropeyskoy komissii, ISBN 92-828-3140-KH.

Atlas radioaktivnogo zagryazneniya Yevropeyskoy chasti Rossii, Belorussii i Ukrainy [Atlas of radioactive contamination of the European part of Russia, Belarus and Ukraine]. Razrab. v In-te global'nogo klimata i ekologii Rosgidrometa

i RAN pod nauch. rukovodstvom akad. Yu.A. Izraelya, 1998a. Moscow. Roskartografiya, 142 p.

Atlas sovremennykh i prognoznykh aspektov posledstviy avarii na Chernobyl'skoy AES na postradavshikh territoriyakh Rossii i Belarusi (ASPA Rossiya-Belarus') [Atlas of current and predictive aspects of the consequences of the Chernobyl nuclear power plant accident in the affected areas of Russia and Belarus (ASPA Russia-Belarus)] Pod red. Yu.A. Izraelya, I.M. Bogdevicha., 2009. Moskva – Minsk. Fond «Infosfera» - NIA-Priroda, 140 s.

Bardin M.Yu., Ran'kova E.Ya., Rocheva E.V., Samokhina O.F. 2017. Klimaticheskiye anomalii temperatury prizemnogo vozdukha na territorii Rossii letom 2016 g [Climatic anomalies of surface air temperature in Russia in the summer of 2016]. *Meteorologiya i gidrologiya – Meteorology and Hydrology,* no 2, pp. 137-143.

Budyko M.I., Golitsyn G.S., Izrael' Yu.A. 1986. *Global'nyye klimaticheskiye katastrofy* [Global climate disasters]. Moscow, Gidrometeoizdat, 278 p.

Vasilenko V.N., Nazarov I.M., Fridman, Sh.D. 1985. *Monitoring zagryazneniya snezhnogo pokrova* [Snow coverpollution monitoring]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 182 p.

Vasilenko V.N., Nazarov I.M., Fridman, Sh.D. 1992. Monitoring nagruzok kislotnykh vypadeniy [Monitoring acid deposition loads]. *Meteorologiya i gidrologiya – Meteorology and Hydrology*, no. 9, pp. 44-48.

Vtoroy otsenochnyy doklad Rosgidrometa ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiyskoy Federatsii [The second assessment report of Roshydromet on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation]. Osnovnoy tom. Pod red. V.M. Kattsova i S.M. Semenova. Moscow, Rosgidromet, 2014, 1008 p.

Gitarskiy M.L., Zamolodchikov D.G., Korovin G.N., Karaban' R.T. 2006. Emissiya i pogloshcheniye parnikovykh gazov v lesnom sektore strany kak element vypolneniya obyazatel'stv po klimaticheskoy konventsii OON [Emission and absorption of greenhouse gases in the forest sector of the country as an element of fulfilling obligations under the UN climate convention]. *Lesovedeniye – Forest Studies*, no. 6, pp. 34-44.

Gitarskiy M.L., Karaban' R.T., Filipchuk A.N., Korotkov V.N., Romanovskaya A.A. 2002. *Raschetnaya otsenka stoka ugleroda v lesakh Rossii za posledneye desyatiletiye* [Estimate of carbon sink in Russian forests over the past decad]. V kn.: Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniya ekosistem, vol. 18, pp. 261-275.

Golubev A.V., Insarov G.E., Strakhov V.V. 1980. *Matematicheskiye metody v lesozashchite* [Mathematical methods in forest protection]. Moscow. Lesnaya promyshlennost', 101 p.

Gruza G.V., Ran'kova E. Ya. 1980. *Struktura i izmenchivost' nablyudayemogo*

klimata. Temperatura vozdukha Severnogo polushariya [Structure and variability of the observed climate. Air temperature of the Northern Hemisphere]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 71 p.

Gruza G.V., Ran'kova E.Ya. 1989. *Monitoring i veroyatnostnyy prognoz korotkoperiodnykh kolebaniy klimata* [Monitoring and probabilistic forecast of short-term climate fluctuations]. V kn. «60 let Tsentru gidrometeorologicheskikh prognozov». Gidrometeoizdat, Leningrad, pp. 148-170.

Gruza G.V., Ran'kova E.Ya., 2011. Otsenka vozmozhnogo vklada global'nogo potepleniya v genezis ekstremal'no zharkikh letnikh sezonov na yevropeyskoy territorii RF [Estimation of possible contribution of global warming to the genesis of extremely hot summer seasons on the European territory of the Russian Federation]. *Izvestiya RAN. Fizika atmosfery i okeana−Proceedings of the RAS. Physics of the atmosphere and ocean*, vol. 47, no. 6, pp.1-4.

Gruza G.V., Ran'kova E.Ya. 2012. *Nablyudayemyye i ozhidayemyye izmeneniya klimata Rossii* [Observed and expected climate change in Russia]. Izd. FGBU «VNIIGMI-MTSD», 198 p., ISBN 978-5-901579-35-0.

Gruza G.V., Ran'kova E.Ya., Rocheva E.V. 1990. *Dannyye o strukture i izmenchivosti klimata. Temperatura vozdukha na urovne morya. Severnoye polushariye* [Data on climate structure and variability. Air temperature at sea level. Northern Hemisphere]. Obninsk.

Gruza G.V., Ran'kova E.Ya., Rocheva E.V., Samokhina O.F. 2017. Osobennosti temperaturnykh anomaliy u poverkhnosti zemnogo shara v 2016 g [The features of temperature anomalies at the surface of the Globe in 2016]. *Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya − Fundamental and applied climatology,* vol. 1, pp. 124-146.

Zamolodchikov D.G., Gitarskiy M.L., Shilkin A.V., Marunich A.S., Karelin D.V., Blinov V.G., Ivashchenko A.I. 2017. Monitoring tsiklov dioksida ugleroda i vodyanogo para na poligone «Log Tayezhnyy» (Valdayskiy natsional'nyy park) [Monitoring of carbon dioxide and water vapor cycles at the Log Taigasite (Valdai National Park)]. *Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya – Fundamental and applied climatology,* vol. 1, pp. 54-68.

IGKE, 2017. *Tendentsii i dinamika sostoyaniya i zagryazneniya okruzhayushchey sredy v Rossiyskoy Federatsii po dannym mnogoletnego monitoringa za posledniye 10 let.* Analiticheskiy obzor. Otv. red. G.M. Chernogayeva [Trends and dynamics of the state and pollution of the environment in the Russian Federation according to the data of long-term monitoring over the past 10 years. Analytical review. Ed. ed. G.M. Chernogayeva]. Moscow. Rosgidromet, 49 p.

Izrael' Yu.A. 1984. *Ekologiya i kontrol' sostoyaniya prirodnoy sredy* [Ecology and control of the state of the environment]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 355 p.

Izrael' Yu.A. 1996. *Radioaktivnyye vypadeniya posle yadernykh vzryvov i avariy* [Radioactive fallout after nuclear explosions and accidents]. St. Petersburg, Progress-pogoda, 355 p.

Izrael' Yu.A. 2005. Effektivnyy put' sokhraneniya klimata na sovremennom urovne – osnovnaya tsel' resheniya klimaticheskoy problem [An effective way to maintain climate at the present level is the main goal of solving the climate problem]. *Meteorologiya i gidrologiya – Meteorology and Hydrology,* no. 10, pp. 5-9.

Izrael' Yu.A., Anokhin YU.A., Gitarskiy M.L., Karaban' R.T., Nazarov I.M., Sirotenko O.D. 2001. *Posledstviya izmeneniya klimata dlya Rossii [Consequences of climate change for Russia*]. Sostoyaniye i kompleksnyy monitoring prirodnoy sredy i klimata Predely izmeneniy. [*State and integrated monitoring of the natural environment and climate. Limits of change]*. Moscow, Nauka, pp. 40-64.

Izrael' Yu.A., Artemov Ye.M., Nazarov I.M., Fridman Sh.D., Zinenko V.I., Krivoshapko A.I., Lyashchenko N.G., Pakhomov V.G., Chirkov V.A., Stukin Ye.D. 1993. Radioaktivnoye zagryazneniye mestnosti v rezul'tate avarii na radiokhimicheskom zavode v Tomske-7 [Radioactive contamination of the area as a result of an accident at the radiochemical plant in Tomsk-7]. *Meteorologiya i gidrologiya – Meteorology and Hydrology*, no. 6, pp.5-8.

Izrael' Yu.A., Borzenkova I.I., Severov D.A. 2007. Rol' stratosfernykh aerozoley v sokhranenii sovremennogo klimata [The role of stratospheric aerosols in preserving the current climate]. *Meteorologiya i gidrologiya – Meteorology and Hydrology*, no. 1, pp. 5-14.

Izrael' Yu.A., Vakulovskiy S.M., Vetrov V.A., Petrov V.N., Rovinskiy F.YA., Stukin Ye.D. 1990. *Chernobyl': radioaktivnoye zagryazneniye prirodnykh sred* [Chernobyl: radioactive contamination of natural media]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 295 p.

Izrael' Yu.A., Volodin Ye.M., Kostrykin S.V., Revokatova A.P., Ryaboshapko A.G. 2013. Vozmozhnost' geoinzhenernoy stabilizatsii global'noy temperatury v XXI v. s ispol'zovaniyem stratosfernykh aerozoley i otsenka vozmozhnykh negativnykh posledstviy [The possibility of geoengineering stabilization of the global temperature in the XXI century, using stratospheric aerosols and assessing possible negative effects]. *Meteorologiya i gidrologiya – Meteorology and Hydrology*, no. 6, pp. 9-23.

Izrael' Yu.A., Zakharov V.M., Ivanov V.N., Petrov N.N., Andreyev Yu.V., Gulevskiy V.A., Danilyan B.G., Yeran'kov V.G., Kirin D.V., Kulyapin V.P., Rusakov yu.S., Savchenko A.V., Svirkunov P.N., Severov D.A., Folomeyev V.V. 2011. Naturnyy eksperiment po modelirovaniyu vliyaniya aerozol'nykh sloyev na izmenchivost' solnechnoy insolyatsii i meteorologicheskikh kharakteristik prizemnogo sloya [Field experiment on modeling the effect of aerosol layers on the variability of solar insolation and meteorological characteristics of the surface layer]. *Meteorologiya i gidrologiya – Meteorology and Hydrology*, no. 11, pp. 5-14.

Izrael' Yu.A., Zakharov V.M., Petrov N.N., Ryaboshapko A.G., Ivanov V.N., Savchenko A.V., Andreyev Yu.V., Puzov Yu.A., Danelyan B.G., Kulyapin V.P. 2009. Naturnyy eksperiment po issledovaniyu prokhozhdeniya solnechnogo izlucheniya cherez aerozol'nyye sloi [Natural experiment to study the passage of

solar radiation through aerosol layers]. *Meteorologiya i gidrologiya – Meteorology and Hydrology*, no. 5, pp. 5-15.

Izrael' Yu.A., Kvasnikova Ye.V., Nazarov I.M., Fridman Sh.D. 1994. Global'noye i regional'noye radioaktivnoye zagryazneniye tseziyem-137 yevropeyskoy territorii byvshego SSSR [Global and regional cesium-137 radioactive contamination of the European territory of the former USSR]. *Meteorologiya i gidrologiya – Meteorology and Hydrology*, no. 5, pp. 5-9.

Izrael' Yu.A., Nazarov I.M., Gitarskiy M.L., Nakhutin A.I., Yakovlev A.F. 2002. Kiotskiy protokol – problemy yego ratifikatsi [The Kyoto protocol: ratification issues]. *Meteorologiya i gidrologiya – Meteorology and Hydrology* no. 11, pp. 5-12.

Izrael' Yu.A., Nazarov I.M., Nakhutin A.I., Yakovlev A.F., Gitarskiy M.L. 2002. Vklad Rossii v izmeneniye kontsentratsii parnikovykh gazov v atmosphere [Russia's contribution to the change in the concentration of greenhouse gases in the atmosphere]. *Meteorologiya i gidrologiya – Meteorology and Hydrology*, no. 5, pp. 17-27.

Izrael' Yu.A., Nazarov I.M., Pressman A.Ya., Rovinskiy F.Ya., Ryaboshapko A.G., Filippova L.M. 1989. *Kislotnyye dozhdi* [Acid rains]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 269 p.

Izrael' Yu.A., Petrov V.N., Severov D.A. 1997. Modelirovaniye regional'nykh radioaktivnykh vypadeniy iz oblaka nazemnogo yadernogo vzryva [Simulation of regional fallout from a ground nuclear explosion cloud]. *Meteorologiya i gidrologiya – Meteorology and Hydrology,* no. 4, pp. 16-24.

Izrael' Yu.A., Ryaboshapko A.G., Petrov N.N., 2009. Sravnitel'nyy analiz geoinzhenernykh sposobov stabilizatsii klimata [Comparative analysis of geoengineering methods of climate stabilization]. *Meteorologiya i gidrologiya – Meteorology and Hydrology*, no. 6, pp. 5-24.

Izrael' Yu.A., Semenov S.M. 2005. Raschet izmeneniya kontsentratsii SO2 v atmosfere dlya nekotorykh stabilizatsionnykh stsenariyev global'noy emissii s pomoshch'yu modeli minimal'noy slozhnosti [Calculation of changes in atmospheric CO_2 concentration for some stabilization global emission scenarios using the minimal complexity model]. *Meteorologiya i gidrologiya – Meteorology and Hydrology,* no. 1, pp. 1-8.

Izrael' Yu.A., Stukin Ye.D., Soyfer V.N., Konstantinov S.V., Solov'yev V.N., Averkov V.A., Smetankin A.V. 2000. Rezul'taty radioekologicheskogo obsledovaniya rayona gibeli atomnoy podvodnoy lodki "Kursk"[The results of the radioecological survey of the area of the death of the nuclear submarine "Kursk"]. *Meteorologiya i gidrologiya – Meteorology and Hydrology*, no. 10, pp. 5-9.

Izrael' Yu.A., Filippova L.M., Insarov G.E., Semevskiy F.N., Semenov S.M. 1978. O nekotorykh printsipakh ekologicheskogo monitoringa v usloviyakh fonovogo zagryazneniya okruzhayushchey prirodnoy sredy [On some principles of environmental monitoring under conditions of background environmental

pollution]. *Doklady AN SSSR – Reports of the USSR Academy of Sciences,* vol. 241, no.1, pp. 253-255.

Izrael' Yu.A., Tsyban' A.V. 1989. *Antropogennaya ekologiya okeana* [Anthropogenic Ocean Ecology]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 527 p.

Izrael' Yu.A., Tsyban' A.V. 1990. *Issledovaniye ekosistemy Baltiyskogo moray* [Baltic Sea ecosystem research]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 176 p.

Izrael' Yu.A., Tsyban' A.V. 1992. *Issledovaniye ekosistem Beringova i Chukotskogo morey* [The study of the ecosystems of the Bering and Chukchi seas]. Sankt-Peterburg, Gidrometeoizdat, 654 p.

Karaban' R.T., Kokorin A.O., Nazarov I.M., Shvidenko A.Z. 1993. Pogloshcheniye SO2 lesami Rossii [CO_2 absorption by Russian forests]. *Meteorologiya i gidrologiya – Meteorology and Hydrology*, no. 1, pp. 5-14.

Kvasnikova Ye.V., Zhukova O.M., Gordeyev S.K., Konstantinov S.V., Kirov S.S., Lysak A.V., Manzon D.A. 2009. Tseziy-137 v pochvakh landshaftov cherez 20 let posle avarii na Chernobyl'skoy AES [Cesium-137 in landscape soils 20 years after the accident at the Chernobyl nuclear power plant]. *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya – Proceedings of the RAS. Geographical series,* no. 5, pp. 66-83.

Kvasnikova Ye.V., Pegoyev A.N., Stukin Ye.D. 1999. Vliyaniye migratsii tseziya-137 na yego vertikal'nyy profil' v pochve akkumulyativno-denudatsionnykh landshaftov [The effect of cesium-137 migration on its vertical profile in the soil of accumulative-denudation landscapes]. *Atomnaya energiya – Atomic Energy,* vol. 86, iss. 2, no. 2, pp.134-139.

Korzukhin M.D., P.A. Kolosov, S.M. Semonov. 2011. Opyt primeneniya modeli Dal'tona k otsenke isparyayemosti na territorii Rossii i sosednikh stran po dannym dolgovremennykh nablyudeniy [Experience of using the Dalton model for estimating evaporation in Russia and neighboring countries with the use of long-term observational data]. *Meteorologiya i Gidrologiya – Meteorology and Hydrology*, no. 12, pp. 17-28.

Korzukhin M.D., Korotkov V.N. 2018. Modifikatsiya modeli ROBUL dlya rascheta uglerodnogo balansa lesov Rossii [Modification of the ROBUL model for calculating the carbon balance of Russian forests]. *Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya – Fundamental and applied climatology*, vol. 3, pp. 30-53.

Korzukhin M.D., Semevskiy F.N. 1992. *Sinekologiya lesa* [Synecology of forests]. St. Petersburg, Gidrometeoizdat, 191 p. ISBN 5-286-00831-3

Korneva I.A., Semenov S.M. 2015. Otsenka vliyaniya izmeneniya al'bedo zemnoy poverkhnosti na polozheniye nulevoy izotermy [Estimation of the effect of changes in the albedo of the earth's surface on the position of the zero isotherm]. *Lod i sneg – Ice and snow*, vol. 55, no. 3, pp. 5-13.

Korotkov V.N., Romanovskaya A.A. 2013. *Osobennosti ucheta vybrosov i stokov parnikovykh gazov pri oblesenii, obezlesenii i lesoupravlenii v ramkakh otchetnosti po Kiotskomu protokolu* [Features of accounting for emissions and

sinks of greenhouse gases in afforestation, deforestation and forest management in the framework of reporting under the Kyoto Protocol]. *Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo khozyaystva* [In the book: Proceedings of the St. Petersburg Research Institute of Forestry.] no. 2. Sankt-Peterburg, Izdatel'stvo Politekhn. un-ta, pp. 12-15.

Korotkov V.N., Romanovskaya A.A., Karaban' R.T., Smirnov N.S. 2012. Otsenka uglerodnogo byudzheta lesov Rossii v ramkakh otchetnosti po Kiotskomu protokolu [Assessment of the carbon budget of Russian forests in the framework of reporting under the Kyoto Protocol]. *Lesnoy vestnik – Forest Herald,* no. 7, pp. 58-64.

Kukhta A.Ye., Semenov S.M. 2002. *Metod monitoringa lineynogo prirosta yuvenil'nykh rasteniy i yego rol' v otsenke krupnomasshtabnykh izmeneniy sostoyaniya prirodnoy sredy i klimata* [Method of monitoring the linear growth of juvenile plants and its role in the assessment of large-scale changes in the state of the environment and climate]. V kn.: Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniya ekosistem [Problems of ecological monitoring and modeling of ecosystems], vol. XYIII. Sankt-Peterburg, Gidrometeoizdat, pp. 167-191.

Metody otsenki posledstviy izmeneniya klimata dlya fizicheskikh i biologicheskikh system [Methods for assessing the effects of climate change on physical and biological systems]. Semenov S.M., red. Moscow, 2012, NITS «Planeta», 512 p.

Monitoring potokov parnikovykh gazov v prirodnykh ekosistemakh [Monitoring greenhouse gas flows in natural ecosystems] Alferov A.M., Blinov V.G., Gitarskiy M.L., Grabar V.A., Zamolodchikov D.G., Zinchenko A.V., Ivanova N.P., Ivakhov V.M., Karaban' R.T., Karelin D.V., Kalyuzhnyy I.L., Kashin F.V., Konyushkov D.Ye., Korotkov V.N., Krovotyntsev V.A., Lavrov S.A., Marunich A.S., Paramonova N.N., Romanovskaya A.A., Trunov A.A., Shilkin A.V., Yuzbekov A.K. (Pod red. D.G. Zamolochikova, D.V. Karelina, M.L. Gitarskogo, V.G. Blinova). Saratov, Amirit, 2017, 279 p.

Monitoring fonovogo zagryazneniya prirodnykh sred [Monitoring of background environmental pollution]. Pod red. Yu.A. Izraelya i F.Ya. Rovinskogo, iss. 7. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1991, 296 p.

Nazarov I.M., Fridman A.I., Fridman Sh.D., Vorob'yev V.A., Peremyatova N.A., Abramov N.F., Bekilov E.Kh., Demidyuk L.M., Dmitriyev A.M. 1992. Antropogennaya emissiya metana v stranakh SNG i Pribaltiki [Anthropogenic methane emissions in the CIS and Baltic countries]. *Meteorologiya i gidrologiya – Meteorology and Hydrology,* no. 11, pp. 15-20.

Obzor zagryazneniya okruzhayushchey prirodnoy sredy v Rossiyskoy Federatsii za 1992 g. [Overview of environmental pollution in the Russian Federation for 1992]. Pod red. Yu.A. Izraelya i F.Ya. Rovinskogo. Moscow, Rosgidromet. 1993. 68 p.

Obzor sostoyaniya i zagryazneniya okruzhayushchey sredy v Rossiyskoy Federatsii za 2017 god [Overview of the state and environmental pollution in the

Russian Federation in 2017]. Pod red. prof. G.M. Chernogayevoy. Moscow, Rosgidromet. 2018. 206 p.

Otsenochnyy doklad ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii rossiyskoy Federatsii [Assessment report on climate change and its consequences in the Russian Federation]. Volume II. Consequences of climate change. Tom II. Posledstviya izmeneniy klimata. Rukovoditel' S.M. Semenov. Moskva, Rosgidromet. Izd-vo GU "NITS "Planeta", 2008, 288 p.

Popov I.O., Yasyukevich V.V. Tayezhnyy 2014. Kleshch *Ixodes persulcatus*: rasprostraneniye v usloviyakh menyayushchegosya klimata XXI v. [Taiga tick *Ixodes persulcatus*: distribution in a changing climate of the XXI century] *Meteorologiya i gidrologiya – Meteorology and Hydrology*, no. 8, pp. 77-84.

Popova Ye.N., Popov I.O. 2016. Prognoz izmeneniy klimaticheskogo areala koloradskogo zhuka na territorii Rossii i sosednikh stran pri razlichnykh stsenariyakh antropogennogo vozdeystviya na klimat [Projection of changes in the climatic range of the Colorado potato beetle in Russia and neighboring countries under different scenarios of anthropogenic impact on climate]. *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya – Proceedings of the RAS. Geographical series*, no. 1, pp. 67-73. doi:10.15356/0373-2444-2016-1-67-73.

Popova Ye.N., Semenov S.M., Popov I.O. 2016. Otsenka vozmozhnogo rasshireniya klimaticheskogo areala ital'yanskogo prusa v Rossii v XXI v. v usloviyakh prognoziruyemykh izmeneniy klimata [Assessment of possible expansion of the climatic range of the Italian locust in Russia in the 21st century under projected climate change]. *Meteorologiya i gidrologiya – Meteorology and Hydrology*, no. 3, pp. 82-88.

Razumovskiy S.M. 1981. *Zakonomernosti dinamiki biotsenozov* [Patterns of biocenoses dynamics]. Moscow, Nauka, 231 p.

Rovinskiy F.Ya., Yegorov V.I. 1986. *Ozon, okisly azota i sery v nizhney atmosphere* [Ozone, nitrogen oxides and sulfuroxides in the lower atmosphere]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 182 p.

Romanovskaya A.A. 2018. Potrebnosti i puti razvitiya monitoringa adaptatsii [Needs for and ways of the development of adaptation monitoring]. *Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniya ekosistem – Problems of ecological monitoring and modeling of ecosystems,* vol. 29, no. 1, pp. 107-126.

Romanovskaya A.A., Gitarskiy M.L., Karaban' R.T., Nazarov I.M. 2002b. Otsenka emissii zakisi azota ot neutiliziruyemoy v agrarnom sektore strany mortmassy sel'skokhozyaystvennykh rasteniy [Estimation of nitrous oxide emissions from the agricultural crop residues not utilizable in the agricultural sector of the country]. *Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniya ekosistem− Problems of ecological monitoring and modeling of ecosystems,* vol. 18, pp. 276- 286.

Romanovskaya A.A., Gitarskiy M.L., Konyushkov D.Ye., Karaban' R.T., Nazarov I.M. 2002a. Intensivnost' pochvennoy emissii zakisi azota pri vnesenii raznykh doz mineral'nykh azotnykh udobreniy [Intensity of soil emissions of

nitrous oxide under different doses of mineral nitrogen fertilizers]. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya – Agricultural Biology,* no. 1, pp. 98-103.

Romanovskaya A. A., Korotkov V. N., Karaban' R. T., Smirnov N.S. 2012. Dinamika elementov balansa ugleroda na neispol'zuyemykh pakhotnykh ugod'yakh Valdayskoy vozvyshennosti [The dynamics of carbon budget elements on unused arable lands of Valdai uplan]. *Ekologiya – Ecology*, no. 5, pp. 347-352.

Romanovskaya A.A., Federichi S. 2015. *Kvota na vybrosy i rol' lesnogo sektora v natsional'nykh obyazatel'stvakh Rossiyskoy Federatsii v novom klimaticheskom soglashenii* [Emission quota and the role of the forest sector in the national obligations of the Russian Federation in the new climate agreement]. *Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo khozyaystv*a [In Proceedings of the St. Petersburg Research Institute of Forestry]. Sankt-Peterburg, SPbNIILKH, iss. 1, pp. 20-38.

Rukovodstvo po gidrobiologicheskomu monitoringu presnovodnykh ekosistem [Guidance on hydrobiological monitoring of freshwater ecosystems]. pod red. prof. V.A. Abakumova. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1992, 318 p.

Rukovodstvo po metodam biologicheskogo analiza morskoy vody i donnykh otlozheniy [Guidance on the methods of biological analysis of sea water and sediments]. Leningrad, Goskomgidromet SSSR, 1980, 190 p.

Rukovodstvo po metodam gidrobiologicheskogo analiza poverkhnostnykh vod i donnykh otlozheniy [Guidance on methods of hydrobiological analysis of surface water and bottom sediments] pod red. V.A. Abakumova. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1983, 238 p.

Ryaboshapko A.G., Ginzburg V.A., Revokatova A.P. 2017. Perspektivy stabilizatsii global'noy prizemnoy temperatury atmosfery na priyemlemom urovne [Prospects for stabilizing the global atmospheric surface temperature at an acceptable level]. *Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya – Fundamental and applied climatology*, vol. 4, pp. 124-137.

Ryaboshapko A.G., Kostrykin S.V., Bushmelev I.O., Revokatova A.P. 2017. Sovmestnyy podkhod k sokhraneniy u klimata Arktiki I resheniyu problem vysokogo zagryazneniya atmosfery Noril'ska [A united approach to preserving the Arctic climate and solving the problem of high air pollution in Norilsk]. *Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya – Fundamental and applied climatology*, vol. 1, pp. 89-105

Ryaboshapko A.G., Revokatova A.P. 2015. *Potentsial'naya rol' udaleniya SO2 iz atmosfery metodami inzhenerii klimata v stabilizatsii yego kontsentratsii na priyemlemom urovne* [The potential role of CO_2 removal from the atmosphere by climate engineering methods in stabilizing its concentration at an acceptable level]. Moskva, FGBU "IGKE Rosgidrometa i RAN", 85 p., ISBN 978-5-9907116-1-7.

Semevskiy F.N., Semenov S.M. 1982. *Matematicheskoye modelirovaniye ekologicheskikh protsessov* [Mathematical modeling of ecological processes]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 280 p.

Semenov S.M. 1996. Geneticheskiy podkhod k raschetu vkladov razlichnykh istochnikovv obshcheye soderzhaniye veshchestv v okruzhayushchey srede [A genetic approach to calculating the contributions of various sources to the total content of substances in the environment]. *Doklady Akademii nauk – Reports of the Academy of Sciences,* vol. 351, no. 2, pp. 284-286.

Semenov S.M. 2004. *Parnikovyye gazy i sovremennyy klimat Zemli* [Greenhouse gases and the presentEarth's climate]. Moscow, Izdatel'skiy tsentr «Meteorologiya i gidrologiya», 175 p.

Semenov S.M. 2016. Atributsiya izmeneniya soderzhaniya parnikovykh gazov v atmosphere [Attribution of changes in the content of greenhouse gases in the atmosphere]. *Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya – Fundamental and applied climatology*, vol. 2, pp. 22-37.

Semenov S.M., Gel'ver Ye.S. 2002. Izmeneniye godovogo khoda srednesutochnoy temperatury vozdukha na territorii Rossii v XX veke [Changes in the annual course of the mean daily air temperature in Russia in the 20thcentury]. *Doklady Akademii nauk. Geofizika – Reports of the Geophysics Academy of Sciences,* vol. 386, no. 3, pp. 389-394.

Semenov S.M., Gel'ver Ye.S., Yasyukevich V.V. 2002. Temperaturnyye usloviya dlya razvitiya dvukh vidov vozbuditeley malyarii v organizme perenoschika na territorii Rossii v XX veke [Temperature conditions for the development of two types of malaria pathogens in the hostorganism in Russia in the 20thcentury]. *Doklady Akademii nauk. Obshchaya biologiya. – Reports of the Academy of Sciences General Biology*, vol. 387, no. 1, pp. 131-136.

Semenov S.M., Govor I.L., Uvarova N.Ye. 2018. *Rol' metana v sovremennom izmenenii klimata* [A role of methane in the recent climate change]. Moscow, 106 p. ISBN 978-5-9631-0687-7.

Semenov S.M., Kunina I.M., Kukhta B.A. 1998. Sravneniye antropogennykh izmeneniy prizemnykh kontsentratsiy O3, SO2 i CO2 v Yevrope po ekologicheskomu kriteriyu [Comparison of anthropogenic changes in surface concentrations of O_3, SO_2 and CO_2 in Europe with ecological criterion]. *Doklady Akademii nauk – Reports of the Academy of Sciences*, vol. 361, no. 2, pp. 275-279.

Semenov S.M., Kunina I.M., Kukhta B.A. 1999. *Troposfernyy ozon i rost rasteniy v Yevrope* [Tropospheric ozone and plant growth in Europe]. Moscow, Izdatel'skiy tsentr «Meteorologiya i gidrologiya», 208 s.

Semenov S.M. Yasyukevich V.V., Gel'ver Ye.S. 2006. *Vyyavleniye klimatogennykh izmeneniy* [Detection of climatogenic changes]. Moscow, Izdatel'skiy tsentr «Meteorologiya i gidrologiya», 324 p.

Semenov S.M., Popov I.O. 2011. Sravnitel'nyye otsenki vliyaniya izmeneniya kontsentratsiy dioksida ugleroda, metana, zakisi azota i vodyanogo para na radiatsionno-ravnovesnuyu temperaturu zemnoy poverkhnosti [Comparative estimates of the effect of changes in the concentrations of carbon dioxide, methane, nitrous oxide and water vapor on the radiation-equilibrium temperature of the

Earth's surface]. *Meteorologiya i gidrologiya – Meteorology and Hydrology,* no. 8, pp. 34-43.

Semenov S.M., Ran'kova E.YA. 2018. Osobennosti mnogoletnikh izmeneniy i sezonnoy izmenchivosti sovremennykh fonovykh kontsentratsiy CO2, SN4 i N2O na stantsiyakh global'nogo monitoringa [Features of perennial changes and seasonal variability of modern background concentrations of CO2, CH4 and N2O at global monitoring stations]. *Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya – Fundamental and applied climatology,* vol. 4, pp. 71-87. DOI: 10.21513/2410-8758-2018-4-71-90

Smirnov N.S., Korotkov V.N., Romanovskaya A.A. 2015. Vybrosy chernogo ugleroda ot prirodnykh pozharov na zemlyakh lesnogo fonda Rossiyskoy Federatsii v 2007 - 2012 gg. [Emissions of black carbon from wildfires on forest lands of the Russian Federation in 2007-2012]. *Meteorologiya i gidrologiya – Meteorology and Hydrology*, no. 7, pp. 5-17.

Trunov A.A. 2017. Obezleseniye na territorii Rossii i yego vliyaniye na antropogennuyu emissiyu dioksida ugleroda v 1990-2013 gg. [Deforestation on the territory of Russia and its influence on anthropogenic emissions of carbon dioxide in 1990-2013]. *Meteorologiya i gidrologiya – Meteorology and Hydrology*, no. 8. pp. 64-75.

Fridman Sh.D., Kvasnikova Ye.V., Glushko O.V:, Golosov V.N., Ivanova N.N. 19897. Migratsiya tseziya-137 v sopryazhennykh geokompleksakh Srednerusskoy vozvyshennosti [Cesium-137 migration in associated geocomplexes of the Central Russian Upland]. *Meteorologiya i gidrologiya – Meteorology and Hydrology*, no. 5, pp. 45-55.

Fridman Sh.D., Kontarovich P.C., Fedotkin A.F., Kertsman V.M. 1994. Rekonstruktsiya sledov radioaktivnykh vypadeniy v rezul'tate avariy i yadernykh vzryvov [Reconstruction of radioactive fallout traces from accidents and nuclear explosions]. *Meteorologiya i gidrologiya – Meteorology and Hydrology*, no. 8, pp.5-18.

Tsel'niker Yu.L., Korzukhin M.D., S.M. Semonov. 2010. Model'nyy analiz shirotnogo raspredeleniya produktivnosti nekotorykh lesnykh porod Rossii [Model analysis of the latitudinal distribution of productivity of some forest species in Russia]. *Lesovedeniye – Forest Studies*, no. 2, pp. 36-45.

Uvarova N.Ye., Grabar V.A., Gitarskiy M.L., Nakhutin A.I., Dygan M.M., Berdin V.Kh. 2017. Natsional'nyye parametry dlya rascheta emissii parnikovykh gazov v rossiyskom neftegazovom sektore [National parameters for the calculation of greenhouse gas emissions in the Russian oil and gas sector]. *Ekologicheskiy vestnik Rossii – Ecological Bulletin of Russia,* no. 11, pp. 12-17.

Chernogayeva G.M., Zhadanovskaya Ye.A. 2018. *Zagryazneniye poverkhnostnykh presnykh vod na urbanizirovannykh territoriyakh sub"yektov Rossiyskoy Federatsii* [Surface freshwater pollution in urbanized territories of the

federal subjects the Russian Federation]. Voprosy geografii, sb. 145. Gidrologicheskiye izmeneniya (pod red. akad. V.M. Kotlyakova. pp. 414-423.

Chernogayeva G.M., Zelenov A.S., Zelenova M.S., Malevanov Yu.A. 2009. *Ekologicheskoye sostoyaniye basseyna Dnepra na territorii Rossii* [Ecological state of the Dnieper basin in Russia]. Moscow, Meteoagentstvo Rosgidrometa, 230 s.

Yadernyye ispytaniya SSSR. 2000. *Novozemel'skiy poligon: obespecheniye obshchey i radiatsionnoy bezopasnosti* [Novaya Zemlya test site: ensuring general and radiation safety] Kollektiv avtorov. Moscow, IzdAT, 487 p.

Yasyukevich V.V., Kazakova Ye.V., Popov I.O., Semenov S.M. 2009. Rasprostraneniye iksodovykh kleshchey IXODES RICINUS L., 1758 i IXODES PERSULCATUS SHULZE, 1930 (PARASITIFORMES, IXODIDAE) na territorii Rossii i sosednikh stran i nablyudayemyye izmeneniya klimata [Ixodes ticks IXODES RICINUS L., 1758 and IXODES PERSULCATUS SHULZE, 1930 (PARASITIFORMES, IXODIDAE) spread in Russia and neighboring countries and observed climate changes]. *Doklady Akademii nauk. Geografiya − Report of the Academy of Sciences. Geography, v*ol. 427, no. 5, pp. 688-692

Akimoto H., Luangjame J., Hara H., Gromov S., Khummongkol P., Carandang W. (Eds.) 2011. The Second Periodic Report of the State of Acid Deposition in East Asia. Part I: Regional Assessment. UNEP/RRC.AP-ACAP, 269 p.

Atmospheric Nuclear Tests. Environmental and Human Consequences. / Ed. Ch.S.Shapiro. NATO ASI Series, 2. Environment, 1988, Vol. 35, ISBN 3-540-63804-0 Springer-Verlag, New York, XIV, 282 p.

Brimblecombe P., Hammer C., Rohde H., Ryaboshapko A., Boutron C.F. 1991. Human Influence on the Sulphur Cycle. – Evolution of the Global Biogeochemical Sulphur Cycle. (Eds. Brimblecombe, P. and A. Y. Lein). SCOPE 39, NY: JOHN WILEY & SONS, pp. 77-121.

Bulygina O.N., Korshunova N.N., Bardin M.Yu., Davletshin S.G. 2018. Russia [in "State of the Climate in 2017"] − Bull. Amer. Meteor. Soc., 99 (8), S150-S152, doi:10.1175/2018BAMSState of the Climate.1

Filippova L.M., Semenov S.M., Insarov G.E., Semevsky F.N., Kunina I.M., Nyomarkay K.M., Fridvalski L., Szasz J. 1984. Effects of SO_2 on plants. − Moscow, Gidrometeoizdat, 137 p.

Insarov G. 2010. Epiphytic Montane Lichens Exposed to Background Air Pollution and Climate Change: Monitoring and Conservation Aspects. − International Journal of Ecology and Environmental Sciences, 36 (1), pp. 29-35.

Insarov, G., Insarova, I. 2002. Long-term monitoring of the response of lichen communities to climate change in the Central Negev Highlands (Israel). − Bibliotheca Lichenologica, No. 82, pp. 209 –220.

Insarova I. D., Insarov G. E., Bråkenhielm S., Hultengren S., Martinson P.-O., Semenov S. M. 1992. Lichen sensitivity and air pollution. Swedish Environment Protection Agency. Report 4007 Uppsala, 72 p.

Insarov, G., Insarova, I., Semenov, S. 1999. A system to monitor climate change with epilithic lichens. − Environmental Monitoring and Assessment, vol. 55, pp. 279-298.

Izrael Yu.A., Semenov S.M. 2006. Critical Levels of Greenhouse Gases, Stabilization Scenarios, and Implications for the Global Decisions. In: Avoiding Dangerous Climate Change. /Schellnhuber H.J., Cramer W., Nakicenovic N., Wigley T.,Yohe, G. (Eds). − Cambridge University Press, pp. 73-79.

Nuclear Tests. Long-Term Consequences in the Semipalatinsk/Altai Region. / Ed. Ch.S. Shapiro, V.I. Kiselev, E.V. Zaitsev. NATO ASI Series, 2. Environment, 1988, vol. 36, ISBN 3-540-63805-9 Springer-Verlag, Ney York, 196 p.

Nuclear Test Explosions: Environmental and Human Impacts / Frederick Warner and René J. C. Kirchmann (eds), 1999. Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE) of the International Council for Science, SCOPE 59., John Wiley & Sons, New York, 1999.

Romanovskaya A.A, Gytarsky M.L, Karaban' R.T, Konyushkov D.E, Nazarov I.M. 2002. Nitrous oxide emission from agricultural lands in Russia.− Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, vol. 7, No.1, pp.31-43.

Ryaboshapko A., Gallardo L., Kjellstrom E., Gromov S., Paramonov S., Afinogenova O., Rodhe H. 1998. Balances of oxidized sulfur and nitrogen over the former Soviet Union territory.− Atmospheric Environment, vol. 32, No. 4, pp. 647-658.

Ryaboshapko, A., Gromov S. A., et al. 1999. Expert Meeting on Chemistry of Aerosols, Clouds and Atmospheric Precipitation in the former USSR. (Saint Petersburg, Russian Federation, 13-15 November 1995). WMO/GAW Report 116, 69 p.

Ryaboshapko A.G., Sukhenko V.V., Paramonov S.G. 1994. Assessment of wet sulphur deposition over the former USSR.− Tellus, Ser. B, No. 46, pp. 205-219.

Sakamoto K., Lee S.-J., Gromov S., Cho S.-Ye., Meng F., Carandang W. (Eds.). 2016. The Third Periodic Report on the State of the Acid Deposition in East Asia. Part I: Regional Assessment. UNEP RRC.AP. 259 p.

Semevsky F.N., Semenov S.M., 1997. Thompson L.C. Detecting imported fire ant (Hymenoptera, Formicidae) effects on crop production using a statistical model. − Russian Entomological Journal, No. 6 (1-2), pp. 153-160.

Vet, R., Artz R.S., Carou S., Shaw M., Ro Ch.-U., Aas W., Baker A., Bowersox V.C., Dentener F., Galy-Lacaux C., Hou A., Pienaar J.J., Gillett R., Forti M.C., Gromov S., Hara H., Khodzher T., Mahowald N.M., Nickovic S., Rao P. S. P., Reid N.W. 2014. A global assessment of precipitation chemistry and deposition of sulfur, nitrogen, sea salt, base cations, organic acids, acidity and pH, and phosphorus.− Atmospheric Environment, vol. 93, pp. 3-100.

Vetrov V.A. 2003. Use of ^{152}Eu as a Tracer for Identifying Fallout in the Altai Region from Nuclear Explosions at the Semipalatinsk Test Site: Would it Work for Present? – In: Environmental Protection against Radioactive Pollution.−Cluver Academic Publishers, pp. 127-129.