

ПРОБЛЕМЫ КРИОЛОГИИ ЗЕМЛИ

УДК 551.89

РЕЗУЛЬТАТЫ И ЗАДАЧИ
ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В РОССИИ

В. В. Баулин, Э. Д. Ершов, В. Н. Конищев, В. П. Мельников*, Г. З. Перльштейн, Р. В. Чжан*****

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, геологический и географический ф-ты,
119992, Москва, Ленинские горы, Россия*

** Институт криосферы Земли СО РАН, 625000, Тюмень, а/я 1230, Россия*

*** Институт геоэкологии РАН, 101000, Москва, Уланский пер., 13, стр. 2, Россия*

**** Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, 677010, Якутск, ул. Мерзлотная, 1, Россия*

Статья подготовлена по материалам пленарного доклада на Третьей конференции геокриологов России (1–3 июня 2005 г.), приуроченной к празднованию 250-й годовщины Московского университета. Изложены наиболее важные результаты исследовательских и практических работ по ведущим направлениям геокриологии за период после Второй конференции, состоявшейся в 2001 г. Намечены главные задачи научных исследований на ближайшие годы.

RESULTS AND PROBLEMS OF GEOCRIOLOGICAL INVESTIGATIONS IN RUSSIA

V. V. Baulin, E. D. Ershov, V. N. Konishchev, V. P. Melnikov*, G. Z. Perlshtein, R. V. Chzhan* * ***

Lomonosov Moscow State University, Departments of Geology and Geography, 119992, Moscow, Leninskie Gory, Russia

** Earth Cryosphere Institute SB RAS, 625000, Tyumen, P/O box 1230, Russia*

*** Institute of Environmental Geoscience RAS, 101000, Moscow, Ulan'sky per., 13, build. 2, Russia*

**** Melnikov Permafrost Institute SB RAS, 677010, Yakutsk, Merzlotnaya str., 1, Russia*

The article is based on the report made at the plenary session of the 3rd Russian Conference on Permafrost devoted to celebrations of the 250th anniversary of Moscow University. The most important results of the key fields of permafrost science and engineering are reported for the period after the 2nd Conference held in 2001. The main goals of researches for the years immediately ahead are outlined.

ВВЕДЕНИЕ

Четыре года, прошедшие со времени Второй конференции геокриологов России, оказались не менее сложными, чем предыдущее пятилетие. Определенная экономическая и политическая стабильность текущего периода положительно повлияла на востребованность в инженерных изысканиях и мониторинге крупных хозяйственных объектов в зоне вечной мерзлоты. Однако наука в нашей стране продолжает подвергаться разнообразным испытаниям со стороны новой волны реформаторов, пришедших к власти в последнее время. Следствием этого является не только недостаточное финансирование, но и медленное обновление нормативно-законодательной базы, определяющей общественную потребность в геологических профессиях, исключение ряда научных направлений из государственных и корпоративных целевых программ, совершенно недостаточное внимание к средне-

долгосрочным проблемам социально-экономического развития территории криолитозоны.

Несмотря на все очевидные трудности, потенциал российской геокриологии остается достаточно высоким. Это становится очевидным в ходе участия российских специалистов в международных совещаниях ученых и инженеров, таких как 8-я Международная конференция по мерзлотоведению в Цюрихе (2003 г.) или 6-й Международный симпозиум по инженерной геокриологии в Ланьчжоу (2004 г.). Российские делегации представительны и по численности и по составу участников, а доклады вызывают живейший интерес. Особо следует отметить резко возросшее число молодых ученых и студентов, участвующих в международных конференциях, что стало возможным благодаря помощи Международной ассоциации мерзлотоведения (МАМ) и ее членом. Налажена

более тесная координация между семинарами по мерзлотоведению, постоянно действующими в различных организациях.

Результаты исследований активно публиковались в научных журналах и в виде монографий. Следует особо отметить плодотворную деятельность журнала „Криосфера Земли”. Тематика журнала охватывает все многообразие исследований криосферы Земли и других планет. Каждая статья тщательно рецензируется ведущими специалистами (иногда неоднократно). Начиная с 1997 г. ежегодно издается по 4 номера. Журнал пользуется заслуженным уважением у широкого круга читателей. С 1997 г. было опубликовано свыше 400 статей, в написании которых участвовали более 300 авторов (в том числе 36 иностранных) из 95 различных организаций. Важно отметить, что авторы журнала работают в 48 городах (в том числе 26 городов Австрии, Германии, Дании, Канады, Нидерландов, Новой Зеландии, Норвегии, США, Финляндии, Франции, Швеции). В 2003 г. к 8-й Международной конференции в г. Цюрихе был издан специальный выпуск журнала на английском языке „Earth’s Cryosphere”.

Расширяется международное сотрудничество, в частности под эгидой МАМ. Благодаря этому удается вести тематические экспедиционные исследования, поддерживать наблюдения на станциях, обсуждать полученные результаты и обмениваться опытом в ходе международных встреч.

Заметный вклад в изучение вечной мерзлоты вносит Российский фонд фундаментальных исследований. Финансовую поддержку РФФИ только по основным направлениям геокриологии в настоящее время имеют около 25 научных коллективов в разных городах России.

За эти годы получила признание концепция комплексных исследований криосферы Земли и планет, развиваемая академиком В.П. Мельниковым. На международных конференциях в Пушино вместе с геокриологами работали исследователи медико-социальных проблем территории вечной мерзлоты. При этом все участники отмечали плодотворность подобных контактов с точки зрения обогащения идеями и методами смежных наук, выявления перспективных направлений научно-практической деятельности.

Результаты исследований по основным направлениям геокриологии приведены ниже.

ФИЗИКОХИМИЯ, МЕХАНИКА И ТЕПЛОФИЗИКА МЕРЗЛЫХ ПОРОД

Разработана классификация форм связи и обобщенная физико-химическая модель мерзлых дисперсных грунтов, составлены диаграммы их компонентного и фазового состава. Подготовлены таблицы теплофизических характеристик и содер-

жания незамерзшей воды в мерзлых отложениях различного состава, строения и геолого-генетического типа.

На основе опытных данных выведено уравнение длительной прочности мерзлых грунтов, включающее кинетический параметр. Обоснован термофлуктуационный характер их разрушения и ползучести. Кроме того, оценено влияние содержания нефти на прочностные свойства мерзлых грунтов (кафедра геокриологии МГУ).

В рамках теории неравновесной термодинамики гетерогенных сред исследованы особенности теплопереноса в дисперсных средах. Рассмотрена модель среды регулярной структуры с двойной пористостью: в крупных порах содержится лед, в мелких – незамерзшая вода. Показано, что вблизи точки фазового перехода под действием градиентов температуры, давления и концентрации возникает движение льда, по интенсивности сопоставимое с миграцией незамерзшей воды (ИКЗ СО РАН, Тюмень).

Обоснована методика корректного назначения нижних граничных условий при численном решении двумерной задачи Стефана, что имеет большое значение для долгосрочных геокриологических прогнозов (ОАО „Гипротюменьнефтегаз”, СибНИИИП).

Теоретически оценено влияние органического вещества на теплопроводность талых и мерзлых почв. С помощью разработанной расчетной модели установлены количественные закономерности изменения коэффициента теплопроводности почвы в мерзлом и талом состояниях в зависимости от влажности, плотности, содержания органического вещества и др. (ИМЗ СО РАН, Якутск).

В результате многолетних исследований Института криосферы Земли СО РАН разработана оригинальная методика сейсморазведки – высоко-разрешающая сейсморазведка на поперечных SH-волнах (ВСПВ). Среди наиболее значимых практических работ можно отметить участие в изысканиях под строительство третьего транспортного кольца в Москве, а также в исследованиях на площадке завода MFFR-R по утилизации оружейного плутония в Томской области, выполненных в 2004 г. в рамках межправительственного российско-американского соглашения (ИКЗ СО РАН).

ДИНАМИЧЕСКАЯ ГЕОКРИОЛОГИЯ

Многолетними наблюдениями на стационаре Марре-Сале выявлено повышение температуры пород на подошве слоя годовых колебаний, обусловленное потеплением климата. В разных ландшафтных условиях за 30-летний период тренд повышения температуры пород составлял 0,01–0,03 °С/год. В то же время выявлены экосистемы, в которых отмечено локальное охлаждение пород,

связанное с динамикой растительного покрова. Установлено, что на нефтегазовых объектах Западной Сибири и стационарах Центральной Якутии геокриологические процессы и условия имеют разную направленность (ИКЗ СО РАН, кафедра криолинологии и гляциологии МГУ).

Усовершенствована модель формирования температуры протаивающих грунтов под водным покровом. В ее основе лежат современные представления о теплообмене между поверхностью пород и атмосферой, а также учет проникающей радиации и свободной конвекции в слое воды. Согласно установленным закономерностям, глубина сезонного оттаивания под мелким водоемом увеличивается более чем на 10 %. Рассмотрен вопрос о критической глубине начального слоя воды (при котором процесс термокарста становится незатухающим), проанализировано влияние климатических и других факторов на эту величину (Институт геоэкологии РАН).

Выполнен анализ климатических изменений на территории Якутии. Установлен положительный тренд средней годовой температуры воздуха от 0,01 до 0,088 °С/год. Составлен прогноз изменений температуры пород и глубины залегания кровли многолетнемерзлых толщ. Для условий Центральной Якутии, где отмечено наибольшее потепление климата, уже к 2030 г. прогнозируется появление несливающейся мерзлоты. Выделены пять категорий районов с различной реакцией мерзлых толщ на потепление климата (кафедра геокриологии МГУ). Более сдержанные оценки получены в ходе исследований, выполненных ИГЭ РАН при участии ИКЗ СО РАН. Даже при высоком темпе потепления (0,08 °С/год) средняя годовая температура дневной поверхности становится положительной только через 50 лет. Температура пород на глубине 10 м через 25 лет повышается на 0,46 °С, а через 50 лет – на 0,94 °С. В течение всего расчетного периода глубина сезонного оттаивания практически не меняется.

Установлены новые закономерности в динамике криолитозоны Забайкалья. Общее потепление климата в XIX–XX вв. составило 1,2 °С, причем вклад антропогенной деятельности оценивается в 0,3 °С. Впервые для южных районов криолитозоны оценена текущая скорость оттаивания высокотемпературной (–0,2...–0,5 °С) криолитозоны. Она колеблется от 1 до 2 см/год (ИПРЭК СО РАН, Чита).

За последние 50 лет в Северном Забайкалье существенно увеличилась площадь несливающихся многолетнемерзлых пород (ММП). В Южном и Центральном Забайкалье площадь криолитозоны в XX в. сократилась на 20–30 %. Наблюдается разрушение промышленных, гражданских и других типов сооружений (ИПРЭК СО РАН).

Впервые в южных районах криолитозоны выявлена не только деградация, но и формирование ММП. Мощность новообразованных островов ММП на этих территориях за последние 40–50 лет достигла 10–15 м. Для режимных исследований криолитозоны агградационного типа в районе оз. Шакша установлен пункт термометрических наблюдений (ИПРЭК СО РАН).

Получены новые важные результаты, объясняющие механизм формирования таликов в поймах горных рек (ИМЗ СО РАН).

Для ледово-морской равнины и предгорий Заполярного Урала на основе данных Воркутинского мерзлотно-гидрогеологического полигона количественно охарактеризована динамика над- и межмерзлотных таликов за период потепления (1970–1995 гг.) и последующей стабилизации климата (Коми территориальный Центр государственного мониторинга состояния недр).

ЛИТОГЕНЕТИЧЕСКАЯ ГЕОКРИОЛОГИЯ

Получили дальнейшее развитие исследования в области криогенного выветривания пород. Проанализированы полученные в Антарктиде данные о разрушении коренных включений (кварца, полевых шпатов, амфиболов и слюд), присутствующих в гранитоидах. Первоначальный анализ показал, что и в коренном залегании ряд минералов сохраняет устойчивость по отношению к факторам криогенного разрушения. Разработан метод реконструкции температуры отложений на основе распределения по гранулометрическому спектру пределов криогенной устойчивости основных породообразующих минералов. Палеотемпературные построения, выполненные с помощью этого метода для севера Европейской равнины и северной Якутии, свидетельствуют об устойчивом понижении температуры грунта на протяжении позднего кайнозоя (кафедра криолинологии МГУ).

Завершены комплексные лабораторные и натурные исследования криогипергенеза в массивах скальных и крупнообломочных пород. Количественно оценено воздействие ведущих механизмов криогипергенеза на строение и свойства массивов скальных пород криолитозоны в зависимости от количества и глубины проникновения энергоциклов. Эти результаты дают основание говорить о появлении криопетрогенеза – нового научного направления в геокриологии, объектом изучения которого является трансформация вещественного состава, строения и свойств скальных и полускальных ММП под влиянием криогенных процессов (ИПРЭК СО РАН).

Проведен радиоуглеродный анализ микровключений органики в повторно-жильных льдах. Для исследованных опорных разрезов датировки повторно-жильных льдов менялись от 11 до

36 тыс. лет назад. Создана база данных по ледяным ледникам криолитозоны. Исследована взаимосвязь ледяных ледников и криопегов. Изучено влияние ледяных ледников на морфологию и динамику арктических берегов. Проанализирована трансформация арктических берегов в плейстоцене–голоцене в связи с палеогеографическими и мерзлотными условиями (кафедра криолитологии МГУ).

Установлено региональное распространение погребенных ледяных залежей подземных ледов на севере Новосибирского архипелага и тем самым доказано развитие в этих районах плейстоценового оледенения (лаборатория геоэкологии Севера МГУ).

ИСТОРИЧЕСКАЯ И РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОКРИОЛОГИЯ

В работах ИМЗ СО РАН установлено, что основную роль в длиннопериодных климатических изменениях играют факторы, связанные с изменением орбитальных параметров Солнечной системы и нашей Галактики. По-видимому, климатические циклы, обусловленные космическими и планетарными факторами, явились основой эволюции биосферы и причиной глобальных биологических катастроф, которые произошли в истории развития нашей планеты. Из представленной схемы следует, что положительная фаза климатического цикла 1,3 млрд лет, охватывающая практически весь фанерозой, завершается. Будущее нашей планеты на ближайшие 500–600 млн лет – это царство холода и льда, сравнимое по величине с протерозойским оледенением Земли (рисунк).

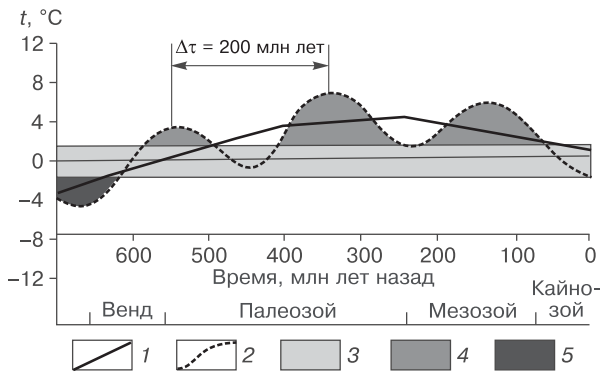


Схема взаимосвязи между двумя космопланетарными факторами формирования глобального климата Земли.

1 – ход кривой цикла с периодом около 1,3 млрд лет, обусловленного обращением нашей Галактики вокруг метagalacticкого центра; 2 – ход кривой цикла с периодом $\Delta\tau \approx 200$ млн лет, обусловленного обращением Солнечной системы вокруг галактического центра; 3 – область оптимальных климатических условий; 4 – экстремальные периоды потепления климата; 5 – экстремальный период похолодания.

Разработана система геоиндикаторов, которая позволяет проследить развитие геоиндикаторных процессов в течение позднего плейстоцена и голоцена. На примере Якутии выделены регионы с высокой, средней и низкой чувствительностью к короткопериодным изменениям климата (ИМЗ СО РАН).

Разработана численная модель динамики криолитозоны на протяжении последних 250 тыс. лет. В ее основу положена реконструкция климата Земли по данным бурения ледника на станции „Восток”, а также по анализу состава и возраста океанических осадков. Показано, что в пределах депрессионных структур Сибирской платформы мощность многолетнемерзлых толщ слабо реагирует на колебания климата. Последние 15–20 тыс. лет в подмерзлотных горизонтах формировался дефицит гидростатического давления, который приводил к постепенному пополнению артезианского бассейна пресными водами, поступающими с поверхности по сквозным таликовым зонам (ИМЗ СО РАН).

Для северо-восточного сектора Евразии выделены четыре этапа криолитогеоза – от эоплейстоцена до голоцена. Установлено широкое развитие мощных ледяных залежей льда и дана их генетическая интерпретация в верхнеплейстоценовых отложениях островов Фаддеевский и Новая Сибирь (кафедра геоиндикаторологии МГУ).

Проведена палеогеоиндикаторная интерпретация уникальных байкальских климатических летописей, составленных большим международным коллективом ученых на основе детального изучения содержания диатомовых водорослей и биогенного кремнезема в донных осадках озера. На этой основе существенно пересмотрены современные представления о геоиндикаторной обстановке юга Сибири в конце плейстоцена и в плейстоцене. Установлено, что в южных районах Сибири многолетнее промерзание пород началось 3,1 млн лет назад. Выявлены три криогенные эпохи. Первая из них (3,10–3,08 млн лет назад) была наименее холодной и самой короткой. Вторая (2,82–2,47 млн лет назад) отличалась очень холодным климатом и наиболее суровыми геоиндикаторными условиями. Третья криогенная эпоха началась 1,92 млн лет назад и продолжается до наших дней. Она характеризуется многократной сменой криохронов и термохронов: криогенные толщи, сформировавшиеся в криохроны, полностью (или почти полностью) деградировали на протяжении последующих термохронов. Установлено, что начало первой плейстоценовой криогенной эпохи на юге Сибири совпадает с началом устойчивого похолодания климата в акватории Тихого океана, что позволяет говорить о едином глобальном плейстоцен-плейстоценовом похолодании климата (ИМЗ СО РАН).

Обоснована концепция криосферы, расширяющейся на протяжении последних 3,2–3,5 млрд лет (поздний архей–кайнозой). Она отражает глобальную эволюцию криосферы, характеризующуюся направленным ростом массы льдов в эпохи похолоданий и усложнением структуры; по мере развития криосферы все большую роль играли подземное оледенение, альпийская горная мерзлота и зоны гидратообразования (кафедра криолитологии и гляциологии МГУ).

Температурными наблюдениями в скважинах на абсолютных отметках 1300 м обнаружена максимальная для Приполярного Урала мощность криолитозоны, равная 700 м (КТЦ ГМСН).

Впервые для территории Средней Сибири получен полный разрез пресноводных субаквальных отложений (мощностью около 40 м), соответствующий зырянскому горизонту позднего неоплейстоцена. Выделены климатические осцилляции, соответствующие короткопериодным крио- и термохронам в интервале от 120 до 60 тыс. лет назад. Изучены особенности формирования и распространения ММП в пределах Алданской антеклизы. Итогом исследований явилась серия карт, в том числе потока внутриземного тепла и мощностей мерзлых толщ (ИМЗ СО РАН).

Обобщены материалы по особенностям распространения вечной мерзлоты во внутригорных котловинах и окружающих их хребтах на Памире и Тянь-Шане. На основе выявленных закономерностей оценен суммарный объем подземных льдов. В горах Юго-Восточного Казахстана он составляет около 57 км³, что на 39 % меньше объемов всех ледников региона. Установлено, что за последние 50 лет потеплению климата привело к существенному сокращению наземного оледенения. Только в казахстанской части бассейна р. Или освободившиеся из-под ледников площади составили 356,6 км². В Казахстанской части Западного Алтая установлено полное отсутствие сезонномерзлых пород в поясе распространения черневых пихтовых высокоотравных лесов (Казахстанская лаборатория высокогорной мерзлоты ИМЗ СО РАН, Алматы).

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОКРИОЛОГИЯ

В Центральном Забайкалье мониторинг инженерных сооружений, построенных в 1950-е гг. по I принципу, показал, что в процессе потепления климата абсолютное большинство зданий и сооружений претерпело катастрофические деформации. Даны рекомендации по реконструкции фундаментов зданий и их переводу на эксплуатацию по II принципу. Получен экономический эффект более 100 млн рублей (ИПРЭК СО РАН). Разработаны и утверждены территориальные строительные нормы „Основания и фундаменты на мерзлых грунтах Читинской области” (ИПРЭК СО РАН

совместно с ИМЗ СО РАН, кафедрой геокриологии МГУ и лабораторией общей криологии ЧитГУ).

Осуществлено научно-техническое сопровождение проектирования и строительства Заполярного ГНКМ. При этом разработаны основные технические решения по основаниям, фундаментам и мониторингу объектов Бованенковского и Харасвайского месторождений (п-ов Ямал), а также по магистральному газопроводу Ямал–центральные районы России. В их числе: стабилизация температуры мерзлых грунтов оснований с применением тепловых экранов, охлаждающих установок сезонного и круглогодичного действия и др.; армирование поверхности грунтов георешетками и геосетками; устройство большепролетных ростверков повышенной несущей способности; многоуровневая система водоотвода (Институт „Фундамент-проект”, Москва).

Составлены карты глубин залегания пластовых льдов и типов инженерно-геологических разрезов грунта на территорию Бованенковского ГKM, проведено районирование территории месторождения по степени ее устойчивости к потеплению климата (лаборатория геоэкологии Севера МГУ).

Проведен широкий комплекс детальных инженерно-геокриологических исследований под крупными хозяйственными объектами на побережье Баренцева моря, в том числе крупномасштабное инженерно-геокриологическое картирование, изучение физико-механических свойств мерзлых и засоленных охлажденных грунтов, экологические исследования, инженерно-геокриологический прогноз (ПНИИИС).

Завершена серия теоретических и экспериментальных работ по обоснованию строительства сооружений на промерзающих пучинистых грунтах. При этом разработаны программы численного моделирования трехмерных полей температуры и влажности грунтов в основании сооружений (Петербургский государственный университет путей сообщения).

Исследованы причины деформирования зданий и сооружений в криолитозоне. Оценено изменение физико-химического состояния грунтов сезонного развития в зависимости от типа индустриального развития. Составлен „Альбом технических решений оснований зданий и сооружений для северных регионов с учетом изменения геокриологических условий, возникающих при строительстве”. Установлены количественные закономерности, определяющие интенсивность морозной деструкции материалов подземных частей (кафедра криолитологии и гляциологии МГУ).

Систематизирован комплекс мероприятий по строительству и эксплуатации автомобильных и железных дорог на территории криолитозоны, включающий способы регулирования теплообмена

на поверхности грунта, совместное использование термосифонов и теплоизоляторов для стабилизации мерзлого основания, мониторинг земляного полотна дорог и др. (Читинский политехнический институт, МИИТ). Исследованы особенности температурного режима вечномерзлых грунтов оснований железных и автомобильных дорог в условиях подтопления прилегающей территории (ЦНИИС).

Разработана методика комплексной оценки изменений температуры воздуха и реакции многолетнемерзлых толщ и грунтов оснований инженерных сооружений на эти изменения. Усовершенствован способ защиты окружающей среды путем создания барьеров из мерзлого грунта вокруг подземных могильников радиоактивных и токсичных отходов (кафедра геокриологии МГУ).

Разработана конструкция нулевых циклов зданий и резервуаров с применением напорных термосифонов с протяженной подземной частью.

ГЕОКРИОЛОГИЯ ШЕЛЬФА И ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ АРКТИКИ

Разработаны схемы геолого-тектонического строения шельфа и пространственного распределения температур на поверхности донных отложений, а также палеогеографический сценарий развития региона. На основе численного моделирования выделены внутренняя и внешняя зоны шельфа, заметно различающиеся по современному состоянию криолитозоны.

Разработана специальная методика для численных исследований зоны стабильности гидратов газов (ЗСГГ). В качестве основных факторов, определяющих их динамику на шельфе, рассматривались трансгрессии–регрессии моря и изменения климата. Результаты моделирования показали, что ЗСГГ имеет большую мощность и захватывает не только приморские низменности, но и практически всю территорию арктического шельфа. Ее нижняя граница расположена ниже подошвы мерзлой толщи, а верхняя находится внутри толщи ММП. В настоящее время во внешней части шельфа мерзлая толща уже протаяла, а ЗСГГ еще существует и даже имеет тенденцию к увеличению. По результатам моделирования выявлены некоторые признаки строения ЗСГГ, которые могут служить критериями при поисках месторождений гидратов газов на шельфе (кафедра геокриологии МГУ, Институт полярных и морских исследований им. А. Вегенера, Потсдам, Германия).

Составлена карта сегментации арктического побережья России. С ее помощью рассчитаны баланс, структура и объем вынесенного в море материала. В Ямало-Ненецком АО ежегодная потеря земель за счет разрушения мерзлых берегов Карского моря составляет 140 га (ИКЗ СО РАН, с участием сотрудников МГУ и ИМЗ СО РАН).

Выявлены важные закономерности распространения и эволюции подводной криолитозоны в Арктике. На основе результатов бурения на мелководном шельфе, проведенного со льда весной 2003 г., установлено, что верхняя граница многолетнемерзлых горных пород на расстояниях 0,4–1,3 км от береговой линии залегает на глубинах 2–17 м от уровня моря. Скорость деградации подводной многолетней мерзлоты на этом участке составляет 0,1 м/год и является рекордно высокой. На удалении 1,3 км от берега происходит резкий изгиб кровли ММП, и на расстоянии 1,4 км она зафиксирована на глубине 32 м. Подобное резкое изменение профиля верхней границы субаквальной многолетней мерзлой толщи можно объяснить существованием здесь реликтовой таликовой зоны (ИМЗ СО РАН).

ЭКОЛОГИЯ КРИОЛИТОЗОНЫ

На основе комплексного мониторинга изучены естественная динамика растительности и ее изменения под влиянием нефтегазового комплекса севера Западной Сибири. Интересно отметить, что по данным повторных нивелировок поверхность торфяно-минеральных бугров за три десятилетия со времени укладки трубопровода испытала проседание, подъем, стабилизацию, но так и не вернулась к исходному положению, оставаясь ниже него на 8–80 см. Интенсивность просадок убывает по мере удаления от трубопровода (ИКЗ СО РАН).

Проведены гляциологические и гляциохимические исследования ледника седловины г. Белуха (Алтай). Отобран 142-метровый керн льда, который послужит палеоархивным материалом при реконструкции уровней атмосферного загрязнения Центральноазиатского региона. При исследовании верхнего сегмента керна не обнаружено значительных различий между Алтаем и Альпами в уровнях концентраций для большинства основных ионов и ртути (ИКЗ СО РАН).

Усовершенствован способ защиты окружающей среды от радиационного и химического заражения путем создания барьеров из мерзлого грунта вокруг подземных могильников радиоактивных и токсичных отходов (кафедра геокриологии МГУ).

Важные данные получены при анализе катастрофических перемещений на леднике Колка, где 20 сентября 2002 г. произошел обвал огромного ледяного блока. В результате образовался гигантский ледоводокаменный поток, длина которого по долине Геналдона до Скалистого хребта составила 18 км, высота достигала 80–100 м, а скорость движения 150 км/ч. Погибло и пропало без вести более 120 человек, погребен поселок Верхний Кармадон, затоплено село Верхняя Саниба, уничтожены все коммуникации. При изучении последствий

следов обрушения ледника Колка установлено, что катастрофа как природное явление более всего похожа на снежно-каменно-ледовую лавину. По результатам полевых исследований и анализа космических снимков высокого разрешения объем льда ледника Колка, вовлеченный в катастрофическое движение, оценен в (80 ± 15) млн м³, часть ледника может все еще оставаться в ложе. Составлена современная карта состояния ледникового цирка Колка после катастрофы. На основе новых данных уточнен прогноз развития событий в зоне катастрофы. В ближайшие 10–20 лет новые катастрофические процессы в ледниковом цирке Колка маловероятны; основная часть ледяного тела в Кармадонской котловине растает за 2–3 года, но его полная деградация займет не менее 10 лет (кафедра криолитологии МГУ).

ГАЗЫ И ГАЗОВЫЕ ГИДРАТЫ В КРИОЛИТОЗОНЕ

Получены новые данные по механизму и кинетике образования газовых гидратов и льда в грунтах, насыщенных метаном. Найдены количественные показатели устойчивости газогидратных образований и эффекта самоконсервации газовых гидратов в дисперсных породах при отрицательных температурах (кафедра геокриологии МГУ).

Изучена кинетика разложения гидратов пропана при атмосферном давлении и положительной температуре окружающей среды. Установлено, что диссоциация гидратов протекает в две стадии. На первой стадии – эндотермической – гидраты разлагаются на метастабильную воду и газ, на второй – экзотермической – вода переходит в лед. Экспериментально изучено поведение гидратов природного газа Уренгойского месторождения при атмосферном давлении в интервале начальных температур образцов гидратов 263–283 К. Как и в случае с „самоконсервацией” гидратов метана, диссоциация гидратов природного газа при температуре ниже 268 К и атмосферном давлении протекает с аномально низкой скоростью (ИКЗ СО РАН).

КАРТИРОВАНИЕ, МОНИТОРИНГ, РАЗРАБОТКА ГИС

Подготовлена электронная карта растительности Арктики России на основе ранее составленных электронных карт: геологической, четвертичных отложений, ландшафтной и карты озерности. Карта растительности Арктики России является частью Циркумполярной карты растительности Арктики, которая опубликована в 2003 г. (ИКЗ СО РАН).

Выполнены работы по мониторингу геокриологических процессов в полосе влияния железной дороги Новая Чара–Чина в Северном Забайкалье. Установлено, что техногенная нагрузка и климати-

ческие изменения в предгорье хр. Удокан вызвали вытаивание пластовых и полигонально-жильных льдов и катастрофические просадки оснований полотно. В среднегорье под воздействием землетрясений и криогенной деструкции происходили катастрофические обвалы и осыпи. На участках развития курумов эти процессы привели к сходу полотна железной дороги (ИПРЭК СО РАН).

Разработана методика интерактивного крупномасштабного картографирования термического состояния альпийской криолитозоны, основанная на математическом моделировании процессов теплопереноса. По данной методике на базе ГИС-технологии составлены карты криолитозоны бассейна р. Бол. Алматинка (Зайлиийский Алатау). Данная методика позволяет оперативно проводить трехмерный анализ изучаемых объектов (Казахстанская лаборатория альпийской мерзлоты ИМЗ СО РАН).

На основе картографического моделирования и ГИС-технологий построена ландшафтная карта Надымского стационара. Этот участок может служить эталоном для мониторинга таежных экосистем севера Тюменской области. Карта характеризует типы нарушений природных ландшафтов и развитие геокриологических процессов в зоне повышения среднегодовых температур воздуха (ИКЗ СО РАН).

БИОЛОГИЧЕСКИЙ КОМПОНЕНТ КРИОЛИТОЗОНЫ

Формируется новое научное направление, посвященное криобиосфере, т. е. части биосферы Земли, существующей при отрицательных температурах. В криобиосфере скорости биохимических реакций и биологических процессов предельно низки, что способствует сохранению экосистем. Микроорганизмы, обнаруженные в мерзлых породах, при оттаивании легко вовлекаются в современные биогеохимические процессы, влияя на круговорот элементов и продуцирование парниковых газов. Семена некоторых видов растений, пребывавшие в мерзлом состоянии 30 тыс. лет, сохранили жизнеспособность. Опыты с их проращиванием в Институте биофизики клетки РАН дают основания предполагать, что из сохранившихся в мерзлоте спор и семян возможно восстановление генетических ресурсов прошлых эпох.

Получены важные результаты, касающиеся условий залегания метана в мерзлых толщах, в частности вследствие жизнедеятельности бактерий. Характер распределения метана в мерзлых толщах отражает биогеохимическую обстановку на момент промерзания и может использоваться при палеореконструкциях (Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН).

КРИОЛОГИЯ ПЛАНЕТ

Выполнен сравнительный морфологический и морфометрический анализ полигональных форм микрорельефа для высоких широт северного полушария Земли (север Западной Сибири, низовья рек Яны и Индигирки, Антарктида) и Марса (равнина Утопия, Северная равнина и др.). Составлена карта проявлений полигональных форм морозобойного растрескивания на Марсе (кафедра геокриологии МГУ, ГЕОХИ РАН).

Уточнены представления о размерах криолитосферы Марса (с учетом гипотезы о наличии в его недрах засоленных рассолов). На базе имеющихся в литературе обзорных карт Марса составлен вариант схематической геолого-структурной карты масштаба 1:50 000 000, в легенде которой отражены не только породы коренного основания и рыхлые перекрывающие покровы, но и ведущие экзогенные процессы. Определены термодинамические, теплофизические и механические характеристики земных пород-аналогов при температурах до -150°C (кафедра геокриологии МГУ).

Проведен анализ панорамных снимков поверхности Марса, полученных со спускаемых аппаратов, который позволил говорить о возможных проявлениях криогенеза (кафедра криолитологии и гляциологии МГУ).

Рассмотрен вопрос о жизнеспособности микробов, обитающих в высокоминерализованных рассолах (криопэггах). Такие экосистемы присутствуют на Земле и являются возможным прототипом аналогичных микробных сообществ на Марсе (ИФХБПП РАН).

Основные задачи российской геокриологии.

- Дальнейшее развитие криосферной концепции в качестве методологической основы организации и проведения геокриологических исследований.

- Более активная пропаганда новейших научно-технических достижений с целью их эффек-

тивного внедрения в практику народного хозяйства на территории криолитозоны.

- Активное участие и тесная координация исследований по программе Международного полярного года.

- Поддержка существующих и создание новых геокриологических стационаров для характеристики наиболее крупных мерзлотных регионов.

- Кооперация в деле информационного обеспечения геокриологических исследований, в том числе создания и использовании ГИС и баз данных.

- Оснащение лабораторных, стационарных и полевых работ современным контрольно-измерительным оборудованием.

- Углубление теоретических основ и выработка стандартных методик количественного геокриологического прогноза.

- Дальнейший сбор и анализ фактических данных по реакции высокотемпературных мерзлых пород на климатические изменения.

- Разработка системы количественных моделей мерзлотно-геологических процессов в связи с климатическими изменениями и антропогенным воздействием.

- Углубление теории деформирования и разрушения мерзлых грунтов на основе термореологической модели многофазной гетерогенной среды.

- Дальнейшее развитие поисково-исследовательских работ в области использования природных особенностей криолитозоны при народнохозяйственном освоении ее территории, особенно в части освоения нетрадиционных ресурсов природного тепла и холода.

- Активное участие в анализе информации орбитальных и спускаемых аппаратов о криолитосфере Марса и проявлениях криогенных процессов.

- Разработка системы мероприятий по привлечению молодежи к геокриологическим исследованиям и инженерной деятельности по освоению территории криолитозоны.

*Поступила в редакцию
1 сентября 2005 г.*