

В 2007 г ИКЗ СО РАН под научным руководством академика В.П.Мельникова организовал и выполнил две экспедиции по направлениям «Исследования эволюции криосферы прибрежно-морской области и шельфа Российской Арктики» и «Динамика криолитозоны Российской Арктики в связи с изменением климата». Проведены исследования криосферы полярных областей суши и моря в районах Европейского Севера, Урала, Западной и Восточной Сибири, в Карском море и море Лаптевых. В этих регионах в июле-октябре 2007 г. работало семь экспедиционных отрядов с участием зарубежных исследователей, российских студентов и аспирантов, выполнивших полевые работы в низовьях р. Печоры, на Югорском п-ове Полярного Урала, на п-ове Ямал - месторождение Бованенково, полярная станция Марре-Сале, в районе городов Надым и Уренгой в Западной Сибири, на Таймыре Восточной Сибири.

Наблюдения за характеристиками криолитозоны на суше и в море в 2007 г. позволили изучить следующее:

- криогенные условия и криогенные геологические процессы на суше и в прибрежной части моря;
- строение, свойства и распространение многолетнемерзлых и посткриогенных (протянувшихся на месте) толщ в обнажениях и скважинах;
- изменения климата и палеоклимата;
- наземные экосистемы Арктики;
- строение и температурный режим отложений на побережье и дне Карского и Баренцева морей, моря Лаптевых.

Отряды на Западном Ямале и Западном Таймыре. На геокриологическом полигоне Марре-Сале, расположенном на восточном берегу Байдарацкой губы Карского моря в 2007 г. в прибрежно-морской области изучалась динамика криосферы Арктики на основе мониторинга континентальной и субаквальной мерзлоты в условиях меняющегося климата.

Марре-Сале - мыс на западе п-ова Ямал, на котором расположена полярная станция, и наши экспедиции добиваются до места работ на вертолете. Здесь уже больше 20 лет ведутся регулярные геокриологические исследования температуры и криогенного строения многолетнемерзлых пород, гидрологических, климатических и геокриологических факторов динамики отступления берегов Байдарацкой губы. Наиболее дискуссионной остается проблема происхождения крупных залежей пластовых льдов. Распространение мощных ледяных пластов и прогноз опасностей для инженерно-хозяйственных сооружений - просадки при их вытаивании, катастрофическое развитие криогенных склоновых процессов определяются их генезисом. Ряд исследователей считают пласты льда захороненными реликтами наземных и шельфовых ледников, геокриологи объясняют происхождение внутригрунтовых пластов льда криогенными процессами - промерзанием вод внутри толщ отложений. Для решения этих вопросов необходимо установить не только внутреннюю структуру льда, но взаимоотношения пластов льда со вмещающими породами и криогенными образованиями в перекрывающих толщах. Опробование мерзлых отложений в стенках береговых обнажений часто требует акробатической ловкости от исследователей.

На западном Таймыре с борта т/х «Федор Наянов» проведены исследования берегов р. Енисей и Енисейского залива от Дудинки до Диксона. Проведены работы по двум направлениям:



Ключевые участки на побережье Югорского п-



Ледовый комплекс Западного Таймыра - многолетнемерзлые тонкодисперсные отложения с крупными ледяными жилами, возникшими в результате морозобойного растрескивания поверхности в не очень далеком прошлом

1) геокриологические исследования естественных ландшафтов и обнажений;

2) геоботанические исследования для оценки связи строения, свойств мерзлых пород и характеристик ландшафтов, включая растительный покров и почвы.

Получены данные и предварительно установлено смещение границы лесной зоны и границ природно-климатических зон Западного Таймыра до 20 км к северу за последние 30 лет. На участке «Соп-карга» организован новый полигон для мониторинга современного новообразования мерзлоты на низких аккумулятивных морских поверхностях. Изучено геокриологическое строение и свойства основных криолитологических типов мерзлых толщ, впервые установлены границы распространения и особенности отложений «ледового комплекса» Западного Таймыра.

Проведена полевая практика студентов и аспирантов географического факультета Московского и Санкт-Петербургского государственных университетов, изучающих природную обстановку в Арктике. На реальных природных объектах студенты и аспиранты освоили методы изучения арктических ландшафтов, растительного и почвенного покровов, разрезов многолетнемерзлых толщ. Студентами собран коллекционный материал для курсовых и дипломных работ на фактических данных, а также прослушан курс лекций с реальными природными примерами об особенностях формирования и эволюции многолетнемерзлых толщ и ландшафтов Западного Таймыра. Проведены измерения и установлены зависимости скоростей и типов отступления берегов от основных климатических параметров и их изменения во времени, установлено, что уменьшение ледовитости Карского моря летом у берегов Югорского п-ова приводит к увеличению доли термоабразии в разрушении берегов, вмещающих пластовые льды.

Проведены ландшафтная съемка и классифицирование космических снимков, установлены зависимости скоростей отступления берегов от структуры и пространственной изменчивости ландшафтов. Исследовано развитие термоэрозии при меняющемся климате. Установлено увеличение роли термоэрозии в разрушении берегов в многоснежную зиму: весна и лето 2007 г. отличались распространением мощных снежников на берегах Югорского п-ова и ледовито-стью Карского моря вблизи его берегов, а

активное снеготаяние при ограничении волновой деятельности привело к развитию термоэрозии.

Исследование динамики берегов Югорского п-ова (южный берег Карского моря) в 2001-2007 г. показало, что пластовый лед в геологических разрезах определяет ведущую роль термоденудации в разрушении берегов. Два обычно выделяемых типа берегов криолитозоны: термоэрозионный и термоденудационный - невозможно использовать в исследовании, связанном с изменениями во времени. Любая часть побережья в краткосрочной динамике при колебаниях климата может не только преобразоваться из стабильной в активно отступающую, но на ней может смениться доминирующий процесс или комплекс процессов, развивающихся одновременно. Годы с усиленным волновым накатом увеличивают долю берегов с доминирующим термоабразионным механизмом. Смешанный тип разрушения берегов проявляется, когда «верхняя» бровка отступает под действием термоденудации, в то время как «нижняя» бровка разрушается термоабразией. На отдельных участках берега в отдельные годы может также доминировать термоэрозия в сочетании с термоденудацией и нивацией.

Из климатических факторов основным, определяющим темпы отступления берегов, является сумма летних значений температуры воздуха. Доминирующий механизм, определяющий зависимый от времени (динамический) тип берегов, определяется климатическими параметрами:

- волновым накатом, вызванным ранним разрушением морского льда и сильными ветрами в сторону суши;
- значительными зимними осадками, в результате которых образуется множество снежников, вызывающих при таянии в условиях дружной весны активную термоэрозию и криогенное оползание.



Пластовый лед в термоцирке «Первая Песчаная»,

Ландшафтная дифференциация территории - это существенный фактор, который влияет на термоденудационные процессы. Скорость отступления термоденудационных уступов связана с изменениями различных компонентов ландшафта и их комбинаций: крутизны склона, дренированности поверхности, доли моховой формации, сомкнутости растительного покрова. Темпы отступления термоденудационных уступов изменяются не только под действием колебаний климатических параметров, но и при переходе бровки уступа в другой ландшафт, отличающийся устойчивостью к термоденудации.

Изучены разрезы и криогенные образования в стенках термоцирков, опробованы плейстоценовые и современные генетические типы осадков, с борта НИС «Иван Петров» получены колонки керна и измерены температуры осадков Байдарацкой губы по профилю п-ов Югорский - п-ов Ямал для реконструкции строения мелководного шельфа и диагностики следов криогенеза в отложениях дна Карского моря.

Отряд в районе Печорской губы. Исследования на геокриологическом полигоне «Мыс Болванский», расположенном в устье Печоры на юге Баренцева моря, включали в себя:

- мониторинг геокриологических параметров мерзлых толщ и климатических условий южной тундры;
- измерения термабразии берегов.

Получены данные о глубинах протаивания и температуре деятельного слоя на площадках R24 международного проекта CALM II (Circumpolar Active Layer Monitoring), по скважинам получены данные о внутригодовой динамике температуры мерзлых пород, в рамках международного проекта TSP (Thermal State of Permafrost) для наблюдений за состоянием мерзлоты оборудованы новые скважины. Выполнены сейсмические исследования строения кровли мерзлых толщ в мелководной части шельфа, и разработана методика сейсмического малоуглубинного зондирования в прибрежной части моря.

Отряды на Центральном и Южном Ямале. На Надымском стационаре в рамках проектов «Расцвет Арктики» и TSP проведены полевые комплексные ландшафтные и геокриологические работы с международным участием, измерены глубины протаивания деятельного слоя, температуры многолетнемерзлых пород в режимных скважинах, выявлена изменчивость геосистем и взаимосвязи растительного покрова с глубиной сезонного протаивания и температурой почвы.

Впервые исследованы аквальные геосистемы: озера типизированы по морфометрическим показателям, данным измерения температуры воды на разных глубинах и составу донных осадков. Получены предварительные данные по фитоценологическим параметрам растительных сообществ и учету мелких млекопитающих на естественных и нарушенных наблюдательных площадках. Результаты измерения глубин сезонного протаивания и температуры пород в скважинах показали, что эти параметры продолжают увеличиваться в связи с возрастанием температуры воздуха.

На стационаре «Васькины Дачи» в районе Бованенковского месторождения (Центральный Ямал) и на 147-м километре железной дороги Обская-Бованенково в районе п. Лаборовая (Южный Ямал) в рамках проектов МПГ («Расцвет Арктики») проведены работы с международным участием, измерены глубины протаивания деятельного слоя на новых и режимных площадках; получены комплексные характеристики растительности, сопоставлены данные дистанционных исследований ландшафтной структуры Ямала с полевыми материалами.

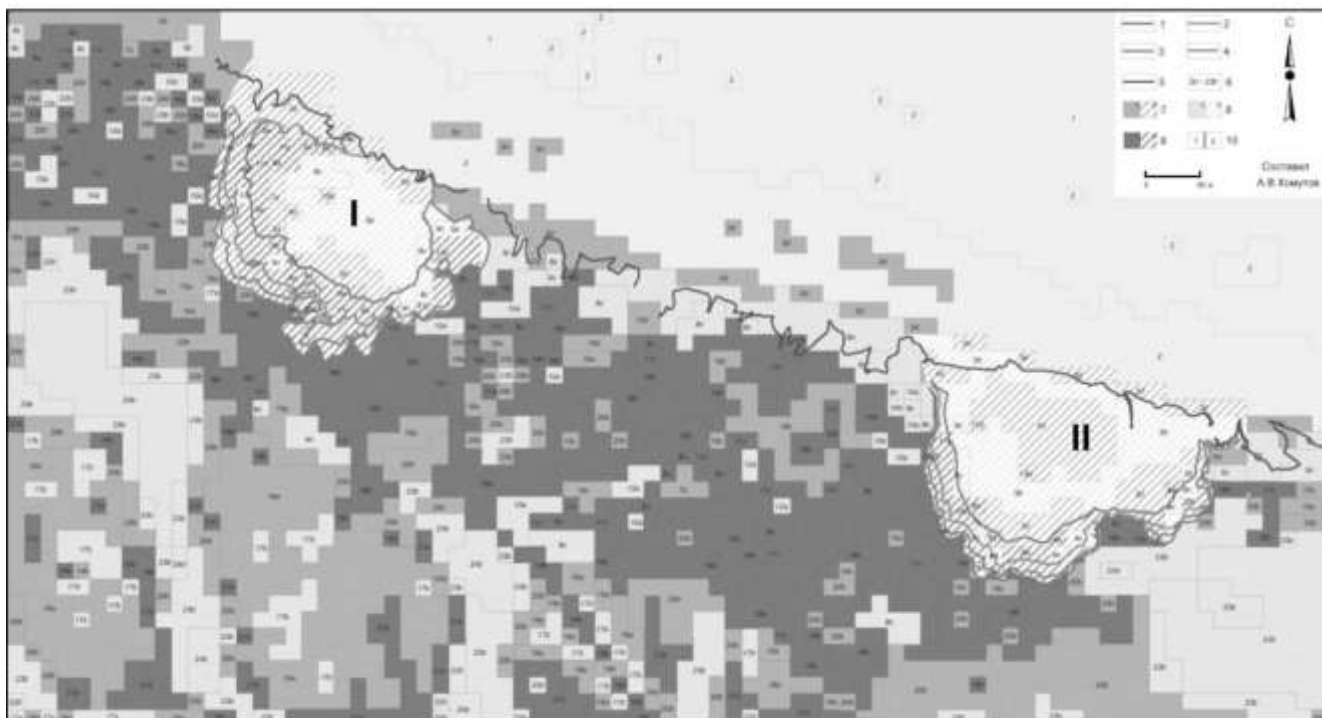
Отряд в Новом Уренгое. На территории Уренгойского нефтегазоконденсатного месторождения (НГКМ) проведены работы в рамках проекта TSP:

- измерена температура мерзлых пород на глубине 8-11 м в 15 скважинах на режимных полигонах, 4 наблюдательные скважины были оборудованы новыми 4-канальными логгерами типа НОВО U12 с глубинами измерения температуры 0, 3, 5 и 10 м;

- обобщены данные о многолетнем изменении температуры вечной мерзлоты по типичным и атипичным ландшафтам территории Уренгойского НГКМ, которые показали, что мерзлота деградировала неравномерно, в зависимости от ландшафтных условий.

В 2006-2007 гг. в рамках проекта TSP по программе МПГ 2007/08 шесть наблюдательных скважин на стационарах оборудованы 4-канальными логгерами типа НОВО U12. В качестве стандартных выбраны глубины измерения 0, 3, 5 и 10 м. Частота измерений - не менее 2 раз в сутки.

Изменения среднегодовой температуры грунтов весьма сглажены по сравнению с изменениями во внешних средах (например, с изменениями температуры воздуха). Это позволяет проследить общие геокриологические тенденции, не скрытые флуктуациями и экстремумами. На Уренгойском НГКМ температура мерзлоты возросла приблизительно на 1°C в 1975-1993 гг. из-за естественной динамики климата. Техногенное воздействие добавило еще 1,02,5 °C, но это повышение узко локализовано около сооружений. Существенно, что изменения температуры грунтов различны для разных ландшафтов (геосистем ранга урочища) и меняются в широких пределах. В южной лесотундре подъем температуры многолетнемерзлых пород (ММП) меняется от 0,6 до 2,1 °C. В северной лесотундре и южной тундре подъем несколько меньше (от -0,1 до 1,6 °C). Режимные наблюдения 1994-1997 гг. показали замедление роста температуры. Процессы следующих 5 лет подтвердили это, что позволяет предположить смену цикла потепления циклом понижения температуры.



Карта устойчивости ландшафтных комплексов побережья Байдарацкой губы к отступанию под действием термоденудации для ключевого участка «Первая Песчаная» Югорского п-ова: I - Западный термоцирк, II - Восточный термоцирк; линии бровки термоцирков: 1 - 2001 г., 2 - 2005 г., 3 - 2006 г., 4 - 2007 г.; 5 - линия берегового уступа 2007 г.; 6 - индексы ландшафтных комплексов; степень устойчивости ландшафтных комплексов к отступанию (а - ненарушенных, б - нарушенных термоденудацией): 7 - устойчивые, 8 - среднеустойчивые, 9 - неустойчивые; 10 - море

В высоких кустарниках, где в зимний период аккумулируется много снега и где даже в начале цикла потепления температура грунтов была близка к 0°C , происходит деградация ММП. Кровлю мерзлоты здесь можно обнаружить только на глубине приблизительно 10 м. Аналогичный процесс происходит в лесных урочищах. Таяние ММП не прекращается там и в наше время.

На тундровых урочищах и в болотах в середине 1990-х гг. потепление мерзлоты сменилось ее охлаждением. Наиболее значительное охлаждение грунтов фиксируется на различных буграх.

Интересно отметить, что в результате изменения температуры различные геосистемы приобретают идентичные значения температуры грунта: приблизительно 0°C для участков деградации мерзлоты и $1,0-1,4^{\circ}\text{C}$ для мест, где мерзлота сохранилась.

Аналогичные процессы идут в южнотундровой ландшафтной зоне, но происходят они при более низкой температуре. Все геосистемы ранга урочища охарактеризованы некоторым незначительным максимумом температуры. При этом разные скважины в тундровой зоне показывают очень близкие и достаточно низкие значения температуры: $4-5^{\circ}\text{C}$ для типичных условий.

Короткий период последних трех лет, включая 2007 г., характеризуется общей для севера Западной Сибири тенденцией - незначительным увеличением температуры

грунтов по сравнению с замедлением ее роста в 1994-2004 гг. Поэтому генеральный тренд среднегодовой температуры горных пород в регионе окончательно не установлен.

Проведены геологические и геокриологические работы с борта НИС «Иван Петров» в составе комплексной экспедиции ААНИИ и ВНИИОкеангеология в 2007 г. Опробованы донные осадки морей Баренцева, Карского и Лаптевых, измерена температура, изучены колонки отложений и зафиксированы посткриогенные текстуры в протаявших отложениях до глубин 12 м ниже дна моря.

Документация, опробование разрезов береговых обнажений и колонок морских отложений в Карском море. В 2008-2009 гг. в рамках реализации МПГ запланировано проведение международных экспедиций в Арктику:

- в Печорскую губу;
- на п-ова Югорский и Ямал;
- в Надым, Уренгой и на о. Белый (Западная Сибирь);
- на Таймыр (Восточная Сибирь);
- на мелководье Баренцева и Карского морей.

Планируется измерение геокриологических параметров на режимных площадках, изучение криогенных процессов, ландшафтов, разрезов квартера, криогенных явлений, анализ кернов скважин. Предполагается участие в наземных и морских экспедициях совместно с ААНИИ, ВНИИОкеангеология и др.