

## ХРОНИКА

УДК 551.345 (091)

DOI: 10.15372/KZ20210104

**ИНСТИТУТ МЕРЗЛОТОВЕДЕНИЯ ИМЕНИ П.И. МЕЛЬНИКОВА СО РАН  
НА РУБЕЖЕ 60-ЛЕТИЯ СО ДНЯ ОБРАЗОВАНИЯ****М.Н. Железняк, Р.В. Чжан, В.В. Шепелев, М.Н. Григорьев, А.Н. Федоров, О.И. Алексеева***Институт мерзлотоведения имени П.И. Мельникова СО РАН,  
677010, Якутск, ул. Мерзлотная, 36, Россия; o.i.alekseeva@mpi.ysn.ru*

В 2020 г. исполнилось 60 лет со дня образования Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН. В статье приведены краткая историческая справка об его образовании, научные достижения и основные итоги научно-исследовательской деятельности за последние 10 лет. Представлены научные направления и проекты для перспективного развития и расширения геокриологических исследований. Отмечено, что в условиях интенсивного промышленного освоения территории криолитозоны необходимо придание Институту мерзлотоведения СО РАН статуса Национального исследовательского института и соответствующая государственная поддержка.

*Криолитозона, мерзлотоведение (геокриология), инженерное мерзлотоведение, здания и сооружения, криогенные процессы, изменение климата, мерзлые грунты*

**THE MELNIKOV PERMAFROST INSTITUTE, SIBERIAN BRANCH, RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES  
AT THE TURN OF ITS 60th ANNIVERSARY****M.N. Zheleznyak, R.V. Zhang, V.V. Shepelev, M.N. Grigoriev, A.N. Fedorov, O.I. Alekseeva***Melnikov Permafrost Institute, SB RAS,  
Merzlotnaya str. 36, Yakutsk, 677010, Russia; o.i.alekseeva@mpi.ysn.ru*

2020 marked the 60th anniversary of the Melnikov Permafrost Institute SB RAS. This paper presents a brief history of its foundation and describes the major research achievements and outputs over the last decade. Promising avenues and projects for further geocryological research are outlined. In view of intensive industrial development of the permafrost regions, the authors believe that the Melnikov Permafrost Institute should be accorded a National Research Institute status with relevant government support.

*Permafrost, geocryology, permafrost engineering, buildings and structures, cryogenic processes, climate change, frozen ground*

**ИСТОРИЧЕСКАЯ СПРАВКА**

В 2020 г. исполнилось 60 лет со дня образования Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН (далее – Институт) (рис. 1).

Базой его создания явилась существовавшая с 1941 г. Якутская научно-исследовательская мерзлотная станция (с 1956 г. – Северо-Восточное отделение) Института мерзлотоведения им. В.А. Обручева АН СССР (ИНМЕРО, г. Москва).

Принципиальное решение о создании Института в г. Якутске было принято Постановлением Президиума АН СССР от 16.09.1960 г. № 899. Совет Министров РСФСР своим письмом от 02.11.1960 г. № 2.5897-350 рекомендовал Президиуму Академии наук СССР создать этот Институт в структуре Сибирского отделения АН СССР. 9 декабря этого же года Президиум АН СССР Постановлением № 1043 за подписью Президента АН СССР А.Н. Несмеянова принял решение о создании Института “в целях развития региональ-

ных исследований вечномёрзлых горных пород Сибири, необходимых для обеспечения нужд народного хозяйства”, и утвердил его структуру. Становление Института происходило весьма успешно по всем основным направлениям геокриологической науки, включая, безусловно, и инженерно-прикладные исследования. За крупные успехи в развитии отечественной геокриологии в 1969 г. Институт был награжден Орденом Трудового Красного Знамени. В 1995 г. по Указу Президента Республики Саха (Якутия) М.Е. Николаева Институту было присвоено имя его основателя и первого директора академика Мельникова Павла Ивановича. Согласно уставу Института, его основной деятельностью является выполнение фундаментальных научных исследований и прикладных разработок в рамках следующих научных направлений: эволюция криолитозоны под воздействием природных и антропогенных факторов;



Рис. 1. Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН. Якутск, 2020 г.



Рис. 2. Павел Иванович Мельников (1908–1994) – организатор и первый директор ИМЗ СО АН СССР, первый президент Международной ассоциации по мерзлотоведению, действительный член Академии наук СССР и РАН, Герой Социалистического Труда.

тепловое и механическое взаимодействие инженерных сооружений с многолетнемерзлыми грунтами. Согласно Указу Президента Российской Федерации от 15.05.2018 г. № 215 “О структуре федеральных органов исполнительной власти” и Распоряжения Правительства РФ от 30.05.2018 г. № 1055-р, Институт отнесен к ведению Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Организатором и бессменным руководителем Института с 1960 по 1987 г. был один из основоположников геокриологической науки академик Мельников Павел Иванович (1908–1994) (рис. 2).

С 1988 по 2003 г. директором Института был доктор технических наук Каменский Ростислав Михайлович (1936–2008), с 2004 по 2012 г. – доктор технических наук Чжан Рудольф Владимирович. С 2012 г. директором Института является доктор геолого-минералогических наук Железняк Михаил Николаевич.

Институт разрабатывает национально значимое для России направление научных исследований – геокриологию (мерзлотоведение) и имеет обширную сеть мониторинга криолитозоны, занимающей 65 % территории России. Институт, помимо шести научных подразделений в Якутске, имеет ряд региональных научных подразделений (станций, лабораторий, стационаров), располагающихся в разных регионах РФ и за рубежом (Казахстан), обладает мощной материально-технической базой [*Основные итоги..., 2019, 2020*].



Рис. 3. Арктическая научно-исследовательская станция “Остров Самойловский”, 2015 г.

Сотрудниками Института опубликовано около 400 монографий, методических рекомендаций и пособий, получено около 150 патентов, выдано свыше 500 научно-технических разработок промышленным партнерам. В 2012 г. Институтом (при участии других научных организаций) создана и успешно функционирует научно-исследовательская станция мирового уровня “Остров Самойловский” (рис. 3), введено в эксплуатацию уникальное инженерное сооружение – Федеральное криохранилище генофонда семян в толще многолетнемерзлых грунтов (рис. 4).

В настоящее время в Институте работают 207 человек, из них 83 научных сотрудника, в том числе 17 докторов и 40 кандидатов наук. Институт имеет аспирантуру, филиал кафедры мерзлотоведения Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова и докторский диссертационный совет. Институт является учредителем научного журнала “Криосфера Земли” и издает научно-популярный журнал “Наука и техника в Якутии”. В Институте действуют три признанные геокриологические научные школы (Гидрогеология и инженерная геокриология, Мерзлотно-климатические исследования, Геотермия мерзлой зоны литосферы). В 2010 г. Институт получил лицензию с правом ведения образовательной деятельности по специальности 25.00.08 “Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение”. Институт является членом саморегулируемой организации (СРО) Некоммерческое партнерство содействия развитию инженерно-изыскательской отрасли “Ассоциация инженерные изыскания в строительстве” (АИИС), имеет Сертификат соответствия требованиям стандарта ГОСТ ИСО 9001-2008. С 2020 г. Институту предоставлены права на



Рис. 4. Группа участников торжественного открытия Федерального криохранилища генофонда семян на фоне надшахтного строения. Территория ИМЗ СО РАН, 2012 г.

выполнение изыскательских работ в отношении особо опасных, технически сложных и уникальных объектов. Сотрудниками Института проведен комплекс геокриологических исследований по научному сопровождению таких мегапроектов, как: Южно-Якутский гидроэнергетический комплекс, Талаканское нефтегазоконденсатное месторождение, Эльконское урановое месторождение, железорудные и угольные месторождения Южной Якутии; алмазные рудники “Мир”, “Айхал” и “Удачный”; нефтепровод “Восточная Сибирь–Тихий океан”; газопровод “Сила Сибири”; Ванкорское газоконденсатное месторождение; Эвенкийская ГЭС; железные дороги БАМ, АЯМ, Улак–Эльга–Томмот–Кердем–Якутск; автодороги “Вилуй”, “Амур”, “Кольма”; высоковольтная ЛЭП ст. Хани–Тарыннахский ГОК и др. (рис. 5).



Рис. 5. Комплексная геокриологическая экспедиция «Магистральный газопровод “Сила Сибири”».

Получение новых знаний и подтверждение теоретических представлений в геокриологической науке невозможны без проведения полевых исследований. В период с 2011 по 2020 г. в Институте ежегодно проводятся полевые работы силами 11 комплексных экспедиций и 15–20 полевых отрядов. География экспедиционных исследований следующая: Восточная Сибирь (Верхоянье, дельта р. Лены, Новосибирские острова), Северный Тянь-Шань, Алтай, Тибет. Проводятся мониторинговые исследования теплового состояния мерзлых пород на научных стационарах и полигонах в Якутии, Магаданской области, на севере Красноярского края и Чукотке. Финансовое сопровождение экспедиционных работ осуществляется за счет средств РФФИ, хоздоговорных работ, а также субсидий бюджета РФ.

### ОСНОВНЫЕ ИТОГИ ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ИНСТИТУТА В 2010–2020 ГОДЫ

Роль геокриологической науки на современном этапе развития нашей страны определяется перспективой расширения и интенсификации хозяйственного освоения северных и восточных территорий, находящихся в области распространения многолетнемерзлых горных пород (криолитозоны) [Алексеева, Чжан, 2011]. Современное потепление климата, наблюдаемое практически во всех уголках земного шара, особенно сильно проявляется в приполярных областях нашей планеты. Так, территория Якутии относится к зоне наибольшего его влияния, как и все арктические и субарктические регионы страны. В таких условиях требуется

особый подход к воздействию на многолетнемерзлые породы, согласно принятому в 2019 г. Закону об охране вечной мерзлоты в Республике Саха (Якутия), дифференцирующему щадящее освоение в неустойчивых районах и интенсивное в устойчивых районах вечной мерзлоты.

Институт вплотную работал и продолжает работать с различными комитетами республиканского и федерального уровня по подготовке Федерального закона “Об охране и рациональном использовании вечной мерзлоты”. Принятие этого закона на федеральном уровне является весьма актуальным и своевременным мероприятием, без которого осложняется введение в действие республиканского закона.

В современном мире вопросы глобального потепления климата и его влияния на природную среду актуальны как никогда. В этом аспекте в Институте ведутся фундаментальные геотеплофизические и геохимические исследования, изучаются строение, криогенез и риски освоения льдистых толщ, динамика криогенных ландшафтов и гидрогеологических условий Северной Азии. Важное место отводится исследованиям по оценке надежности оснований инженерных сооружений в условиях меняющегося климата и техногенных воздействий [Алексеева, Чжан, 2011].

Наиболее важными результатами этих исследований являются следующие.

1. Впервые инструментально определена скорость деградации подводной мерзлоты на мелководном шельфе моря Лаптевых. Установлено, что средняя скорость понижения кровли подводной мерзлоты за 30 лет составила 14, 18,5, 13,5 и 6 см в год на расстоянии 0,3, 0,6, 0,85 и 2,5 км от берего-

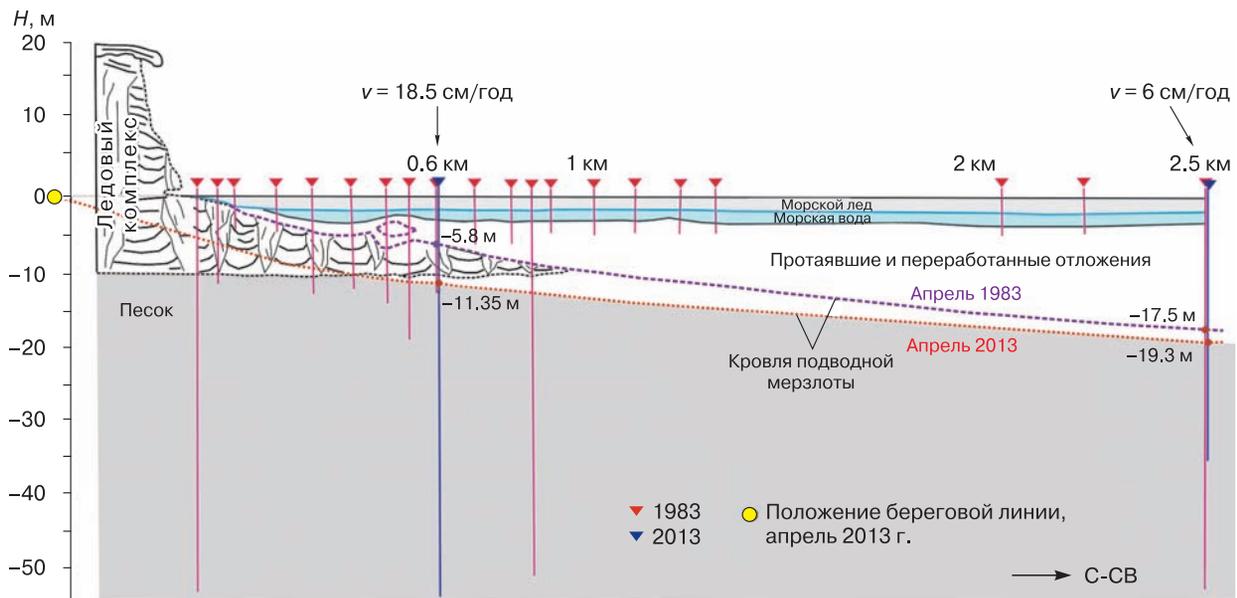


Рис. 6. Буровые профили в губе Буор-Хая (море Лаптевых) севернее о. Муостах, показывающие темпы понижения кровли подводной мерзлоты ( $v$ ) за 30 лет (апрель 1983 г.–апрель 2013 г.).

вой линии соответственно (рис. 6) [Григорьев, 2017; Shakhova et al., 2017].

2. Разработана математическая модель эволюции криолитозоны шельфа Восточно-Сибирского моря, позволяющая оценить масштабы распространения, темпы трансформации и морфологические параметры субаквальных многолетнемерзлых пород в позднем кайнозое. В настоящее время толща осадков шельфа центрального сектора Восточно-Сибирского моря включает, предположительно, шесть ярусов реликтовых многолетнемерзлых пород. На внутреннем шельфе преобладает термическая деградация верхних горизонтов мерзлоты с расчетной скоростью от 2 до 20 см/год. На среднем и внешнем шельфе мерзлота дегради-

рует со скоростью 0.2–0.5 см/год вследствие диффузии морских солей. Эти новые знания дают возможность учитывать границы мерзлоты при освоении шельфовой зоны Восточного сектора российской Арктики.

3. Подготовлены мерзлотно-ландшафтная и инженерно-геокриологическая карты Якутии масштаба 1:1 500 000, на которых отражены основные закономерности природных и инженерно-геокриологических условий. Эти карты используются как основа для оценки устойчивости природно-технических систем в криолитозоне (рис. 7) [Шестакова и др., 2016; Fedorov et al., 2018].

В настоящее время данные карты используются в рамках выполнения проектов по оценке и

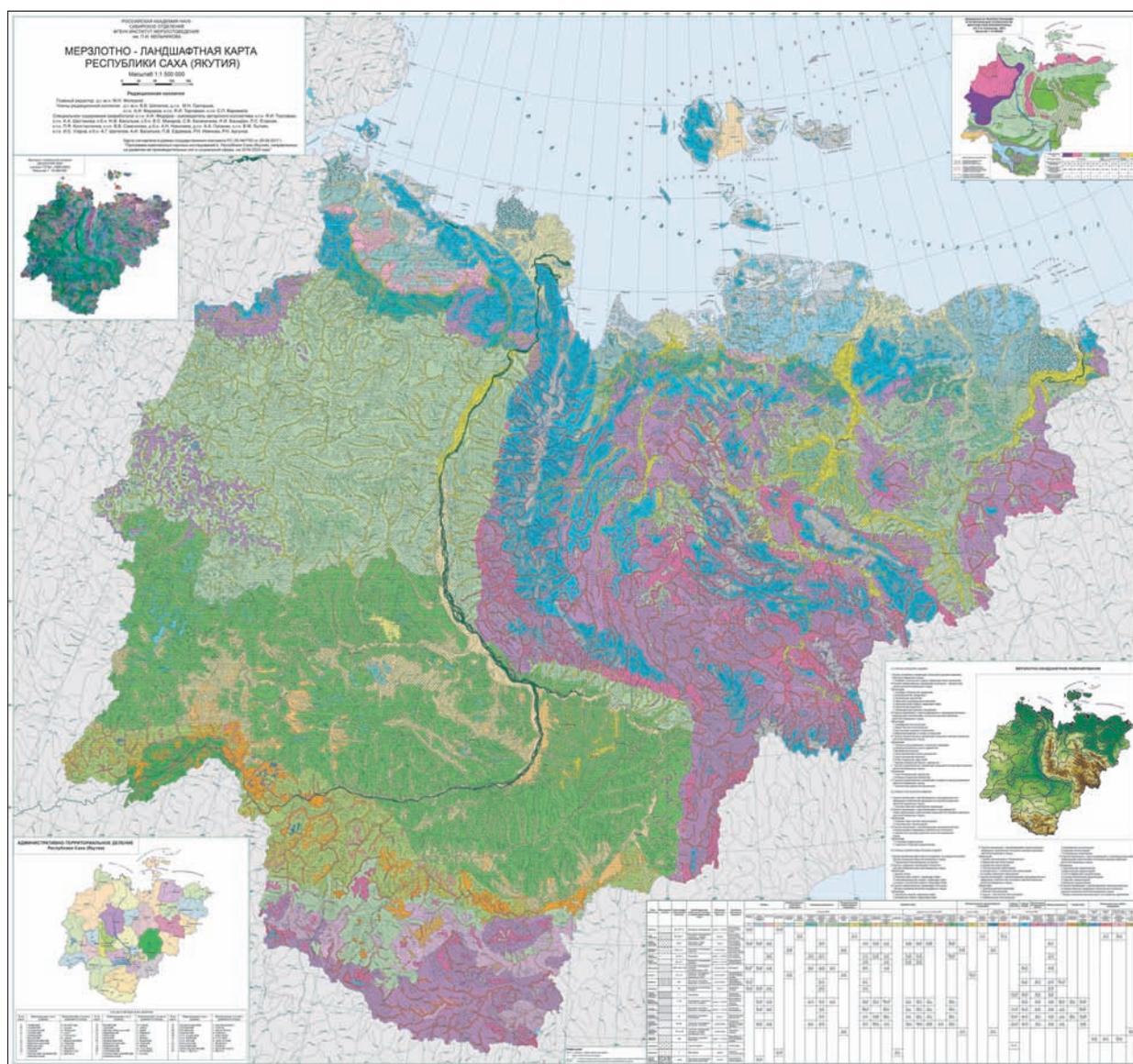


Рис. 7. Мерзлотно-ландшафтная карта Республики Саха (Якутия) масштаба 1:1 500 000 [http://mpri.usn.ru/images/mlk20182.pdf].

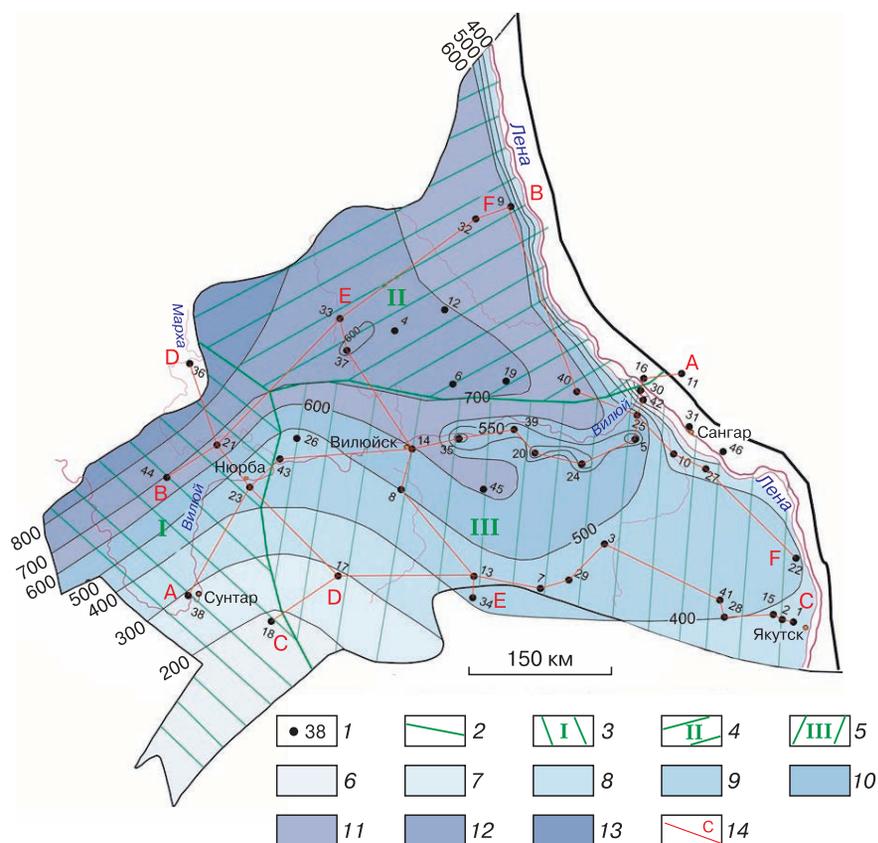
прогнозу геокриологической обстановки с разработкой рекомендаций при строительстве магистрального газопровода “Сила Сибири” и при планировании социально-экономического развития населенных пунктов Республики Саха (Якутия) на периоды до 2030 и 2050 гг.

4. Выявлены особенности и дана характеристика залегания нестационарной мерзлой толщи нефтегазоносных районов Сибирской платформы. Составлены карты распространения и глубины залегания нижней границы многолетнемерзлой толщи с серией мерзлотно-геотермических разрезов (рис. 8). Охарактеризованы мощности многолетнемерзлой толщи на площади отдельных месторождений, тектонических структур и в пределах Вилюйской синеклизы в целом. Созданы геокриологические базы данных Вилюйской синеклизы и Алданской антеклизы [Железняк, 2020].

5. Установлено, что за более чем 50-летний период эксплуатации Вилюйской ГЭС, построенной в зоне сплошного распространения многолетнемерзлых пород, тепловой режим криогенной среды

гидроузла не достиг стационарного режима. Инженерно-геофизическими мониторинговыми исследованиями установлены изменения температурно-криогенного и температурно-влажностного режимов геокриологической среды (рис. 9), а также роль каменной наброски в тепло- и массообменных (криогенных) процессах искусственно созданной сложной природно-технической системы. Выполнена оценка скорости деградации криогенной среды на участках береговых примыканий плотины и ложа водохранилища [Основные итоги..., 2019].

6. Выявлены основные особенности распространения и строения современных и реликтовых мерзлотно-геологических явлений на обширных равнинных и низкогорных пространствах Казахстана и прилегающих к ним регионов Центральной Азии. Определены главные фациальные признаки аридных (пустынных) и криогенных образований. Установлены максимальные современные глубины проникновения нулевых температур для разных типов криолитогенных отложений [Основные итоги..., 2020].



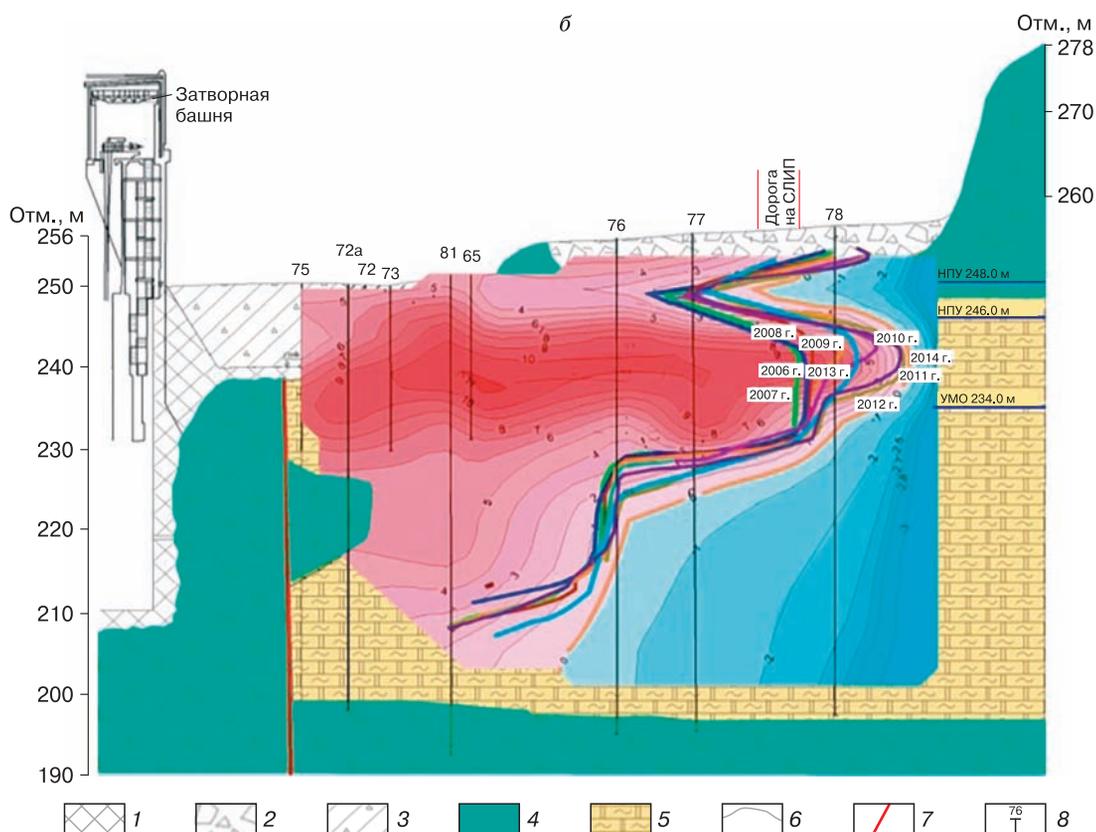
**Рис. 8. Карта глубины залегания нижней границы многолетнемерзлой толщи (ММТ) на территории Вилюйской синеклизы:**

1 – геологоразведочная площадь, ее номер; 2 – граница областей распространения ММТ; 3 – I область распространения ММТ; 4 – II область распространения ММТ; 5 – III область распространения ММТ; 6–13 – мощность ММТ: 6 – до 200 м, 7 – от 200 до 300 м, 8 – от 300 до 400 м, 9 – от 400 до 500 м, 10 – от 500 до 600 м, 11 – от 600 до 700 м, 12 – от 700 до 800 м, 13 – более 800 м; 14 – линии мерзлотно-геотермических разрезов.

а



б



**Рис. 9. Общий вид гидроузла Вилюйской ГЭС-1, 2 (а) и динамика талика по поперечному профилю скважин 75–78 за 2006–2014 гг. на правобережном примыкании плотины к горному обрамлению (б).**

Профиль талика выделен красным цветом, динамика талика показана изменением оттенков красного цвета, линии разного цвета – граница талика в разные годы, оттенки синего цвета – многолетнемерзлые породы. 1 – бетон; 2 – глыбы, щебень, дрова с супесчаным заполнителем; 3 – дресвяный грунт с суглинистым заполнителем; 4 – диабазы; 5 – ксенолиты карбонатных пород; 6 – геологические границы; 7 – тектонические контакты осадочных пород и интрузии; 8 – термометрическая скважина.

Впервые дана оценка объемов залегания подземных льдов в горных регионах Северного Тянь-Шаня. Ведутся исследования их динамики.

7. Выявлены особенности строения, изотопного состава и возраста ледников хребта Сунтар-Хаята (северо-восток Якутии), реконструированы размеры ледников для разных периодов их деградации.

8. Реконструированы палеогеографические условия формирования покровных дюнных отложений в Центральной Якутии в интервале от конца каргинского термохрона до начала голоцена в условиях сильнейшего иссушения и опустынивания климата. Формирование современных незакрепленных дюнных массивов (тукуланов) началось не более 1 тыс. лет назад и связано с климатическими событиями Малого ледникового периода XIII–XIX вв. Охарактеризованы основные типы позднечетвертичного и голоценового дюнного рельефа и ареалы его распространения (дьюлкуминской свиты) в Центральной Якутии [*Основные итоги..., 2019, 2020*].

9. Количественно оценена тепловая реакция верхних горизонтов криолитозоны Центральной Якутии на антропогенные воздействия. Исследована 30-летняя динамика индикаторов изменений термического режима грунтов: мощности деятельного слоя и температуры в слое годовых теплооборотов, охватывающих более 40 нарушенных ландшафтов в девяти типах местности.

Мониторинговыми исследованиями установлено, что потепление климата вызывает существенное повышение температуры мерзлых пород на глубине годовых теплооборотов. Так, температура мерзлых грунтов на территории города Якутска за последние 80 лет повысилась на 3 °С. На фоне этого происходит трансформация геокриологических и гидрогеологических условий в приповерхностной части многолетнемерзлых толщ. В районе г. Якутска выявлено формирование многоярусных зон криопэгов (соленых вод с отрицательной температурой). Изменения их уровня и химического состава свидетельствуют о переходе мерзлых пород, разделяющих отдельные ярусы криопэгов, в талое состояние [*Шепелев, 2011; Шепелев, Чжан, 2011; Анисимова, 2014*]. Подобная трансформация геокриологической обстановки на территориях северных городов России существенно снижает несущую способность мерзлых оснований зданий и сооружений, повышая степень их деформируемости и аварийности.

В криолитозоне расположены города Якутск, Мирный, Норильск, Мурманск, Воркута, Апатиты, Мончегорск, Кандалакша, Кировск, Нарьян-Мар и Салехард. Проблемы строительства зданий на мерзлых основаниях были, есть и будут. Предусмотреть все отрицательные последствия теплового и механического взаимодействия зданий и

сооружений с мерзлыми грунтами в процессе урбанизации практически невозможно, минимизировать эти последствия – вполне посильная задача. В этом плане Институтом развиты технологии, направленные на обеспечение надежной эксплуатации инженерных сооружений в условиях меняющегося климата и интенсивного антропогенного воздействия. К наиболее важным из них относятся следующие:

- создание аппаратурно-методического комплекса и технологии геофизического мониторинга для предотвращения природных и техногенных катастроф на крупных гидротехнических сооружениях, эксплуатируемых в зоне вечной мерзлоты;
- создание и внедрение эффективных методов мелиорации грунтов с целью упрочнения оснований фундаментов в криолитозоне с использованием нанотехнологий и криогенных ресурсов;
- разработка и внедрение эффективных способов дренирования подтапливаемых территорий в условиях криолитозоны на основе оригинальных конструктивных решений;
- разработка территориально-строительных норм по основаниям и фундаментам в высокотемпературной криолитозоне;
- создание современных систем по контролю и способам управления устойчивостью копров в зоне вечной мерзлоты др. [*Великин, 2012; Алексеева, 2017*].

В период 2010–2020 гг. сотрудниками Института выполнены анализ и прогноз надежности низконапорных гидроузлов в криолитозоне и разработаны конструктивные схемы входящих в них плотин и каналов. Обобщен значительный опыт плотиностроения в криолитозоне России. Получены результаты натурных исследований формирования криогенно-температурного режима сооружений энергетического и водохозяйственного назначения, являющегося основой статической и фильтрационной устойчивости гидроузлов. Результаты исследований реализованы при проектировании, строительстве и эксплуатации многих гидротехнических объектов и включены в нормативные документы. Составлены рекомендации для низконапорных гидротехнических сооружений на мерзлых основаниях. Они могут быть использованы при создании новых и реконструкции существующих гидроузлов водохозяйственного и мелиоративного назначения в криолитозоне [*Низконапорные гидроузлы..., 2012; Чжан др., 2019*].

Автомобильные и железные дороги – важный объект инженерного мерзлотоведения. Устойчивость дорожного полотна по-прежнему остается актуальной научно-практической задачей. Основным способом предотвращения его деформаций является понижение среднегодовой температуры грунтов основания и сохранение их в мерзлом состоянии (с помощью снегоочистки и окраски,

солнце- и осадкозащитного навеса, использования систем “ГЕТ” и “ВЕТ”, пленочного экрана) или превентивным удалением льдистых массивов грунтов (ледяных линз) из основания с последующим заполнением образующихся полостей непродачными грунтами.

Магистральные газо- и нефтепроводы, как и дороги, относятся к линейным сооружениям, трассы которых прокладываются в самых разных инженерно-геологических и геокриологических условиях. Это требует принятия различных схем прокладки трубопроводов на тех или иных участках. Наиболее надежной, с точки зрения воздействия внешних факторов на трубопровод, является подземная прокладка. Однако и здесь активизируются криогенные процессы (оттаивание, пучение), приводящие к потере устойчивости и сплошности трубы. Поэтому для линейных объектов очень важен инженерно-геокриологический мониторинг в процессе эксплуатации [Алексеева, 2017].

Сотрудники Института совершенствуют различные технологии, направленные на обеспечение надежной эксплуатации инженерных сооружений в условиях меняющегося климата и интенсивного антропогенного воздействия на территории их расположения. Это создание аппаратно-методического комплекса и технологии геофизического мониторинга на крупных гидротехнических и горных сооружениях, эксплуатируемых в зоне вечной мерзлоты (каскад Вилюйских ГЭС, алмазные трубки “Мир”, “Интернациональная”, “Удачная” и др.) [Великин, 2012; Чжан и др., 2019].

Институтом получены также значительные результаты в разработке фундаментальных основ и принципов использования криогенных строительных ресурсов криолитозоны. Особо значимыми являются разработки в области энергосберегающих технологий [Устройство..., 2012а,б; Кузьмин, Куваев, 2019]. При создании криохранилища семян растений, расположенного на территории г. Якутска, реализованы новые патентные разработки по использованию ресурсов естественного холода. Этот способ обладает повышенной устойчивостью, экономичностью (минимальной энергозатратностью при эксплуатации), обеспечивая стабильность температурно-влажностного режима в подземных галереях на долгосрочный период. Уникальность криохранилища состоит в том, что это первое в России подземное сооружение, специально построенное для долговременного хранения семян растений в толще вечной мерзлоты.

На территории Института также построен экспериментальный гараж с использованием технологии обогрева на основе теплоты фазовых переходов воды, которая перспективна для отопления некоторых видов помещений (ледовые катки, стояночные гаражи, ангары, прогулочные и спор-

тивные помещения при детских учреждениях, различные хранилища и др.) и для поддержания в них околонулевых отрицательных температур в холодное время года практически на всей территории РФ.

Важным результатом работы сотрудников Института является разработка рекомендаций по проектированию, строительству и эксплуатации сооружений различного назначения. Для свайных фундаментов зданий и сооружений, возводимых в условиях островного, прерывистого и сплошного распространения многолетнемерзлых грунтов с допущением их оттаивания в процессе эксплуатации, составлены рекомендации по их проектированию и устройству на оттаивающих и талых грунтах в Магаданской области [Рекомендации..., 2012б]. Составлены рекомендации по проектированию зданий и сооружений на пространственных вентилируемых фундаментах на промежуточном слое (подсыпке) в районах вечномерзлых грунтов. Рекомендации предназначены для расчета температурного режима вечномерзлых грунтов оснований, сохраняемых в процессе строительства и в течение всего периода эксплуатации здания или сооружения в мерзлом состоянии, а также для конструирования и технологии устройства пространственных вентилируемых фундаментов [Рекомендации..., 2012а; Гончаров, 2016].

## РАЗВИТИЕ МЕЖДУНАРОДНЫХ НАУЧНЫХ СВЯЗЕЙ

Для полной реализации современного научного потенциала геокриологов и обеспечения экологически безопасного существования современного мира исключительное значение имеет тесное международное научное сотрудничество в области мерзлотоведения.

*Академик П.И. Мельников [2008]*

Первые научные контакты с зарубежными коллегами якутские мерзлотоведы установили в 1963 г. во время I Международной конференции по мерзлотоведению (МКМ) в штате Индиана, США (г. Лафейетт). В 1973 г. состоялась II Международная конференция по мерзлотоведению в России (г. Якутск). Именно здесь было принято решение проводить МКМ с периодичностью раз в 5 лет. Председателем оргкомитета этого крупного международного форума мерзлотоведов был директор Института П.И. Мельников. В решении II МКМ, составленном и подписанном представителями СССР (П.И. Мельников), США (Т. Певе) и Канады (Р. Маккей) записано: “Считать целесообразным проведение международных комплексных исследований, связанных с сохранением окружающей среды в районах распространения многолетнемерзлых горных пород. Они включают обмен научной информацией, взаимное посеще-

ние специалистов, разработку эффективных способов борьбы с нарушениями окружающей среды и совершенствование методов использования природных ресурсов” [Климовский..., 2008]. Таким образом, был дан старт изучению проблем защиты окружающей среды в районах распространения многолетнемерзлых пород, особенно в связи с разведочными работами на месторождениях нефти и газа и проектами их освоения.

В 1983 г. на Аляске в США (г. Фэрбанкс) была организована Международная ассоциация по мерзлотоведению (МАМ), и П.И. Мельникова избрали ее первым президентом. Все это способствовало международной известности Института и росту научного авторитета якутской геокриологической школы. За прошедшие 37 лет существования МАМ доказала свою необходимость.

В последующем директора института Р.М. Каменский, Р.В. Чжан и М.Н. Железняк стремились поддерживать и развивать международную научную деятельность его сотрудников, добиваясь успехов в различных направлениях. Начиная с 90-х гг. прошлого века международные конференции по мерзлотоведению стали расширять свою тематику, активно включая в программы их проведения криосферную и другие тематики. Это конференции, которые ежегодно проводились в городах Пушино, Тюмень, Салехард и других совместно с Международными ассоциациями геоморфологов, криосферных наук и т. д.

Параллельно проведению международных конференций по инициативе мерзлотоведов МГУ был учрежден и стал проводиться один раз в 5 лет Съезд геокриологов России. Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН принимал самое активное участие в подготовке и проведении этих и других конференций, направляя делегации своих сотрудников для выступлений с докладами на различных секциях.

В 1993 г. в Чите по инициативе Р.М. Каменского, Р.В. Чжана и Д.М. Шестернева совместно с Хейлундзянским научно-исследовательским институтом по строительству в холодных регионах (г. Харбин, Китай) был организован и проведен первый Международный симпозиум по проблемам инженерного мерзлотоведения. Он стал мероприятием, дополняющим МКМ в инженерном направлении. Проводятся подобные симпозиумы раз в 3 года параллельно с основным международным форумом геокриологов под эгидой Совета по криологии Земли РАН и МАМ [Алексеева, 2015].

Институт поддерживает взаимовыгодное сотрудничество со многими учеными зарубежных стран. Ведутся исследования по договорам, соглашениям, меморандумам о совместном сотрудничестве с институтами и университетами Китая, Монголии, Германии, Канады, США, Южной Кореи,

Финляндии, Японии, Франции и других стран. Институт является постоянным представителем в программе Арктического международного научного комитета “Динамика арктических берегов”, а также участником других международных арктических программ.

Зарубежные специалисты по-прежнему проявляют большой интерес к изучению вечной мерзлоты в Сибири. Творческие связи с якутскими мерзлотооведами активно развивают многие организации, в частности:

– Институт полярных и морских исследований им. А. Вегенера (Германия) – совместные исследования вещественного состава и истории накопления прибрежно-морских, а также мерзлых аллювиальных, озерных и других континентальных отложений, процессов их преобразования в деятельном слое и таликах береговой зоны арктических морей, организация мониторинга процессов взаимодействия в системе суша–море–атмосфера;

– Шведский музей естествознания (Швеция), Британский университет г. Оксфорд (Великобритания) – совместные биогеохимические исследования в районе водосбора реки Лены и ее притоков; выявление изменений в процессе переноса углерода и микроэлементов металлов реками сибирского региона вследствие глобального изменения климата;

– Лаборатория взаимодействия и динамики окружающей среды с поверхностью Университета Париж-Сакле г. Орси (Франция) – изучение геоморфологических, термических и гидрологических изменений при деградации вечной мерзлоты, реакции теплового режима вечной мерзлоты на глубине в ответ на ее деградацию;

– Шведский институт метеорологии и гидрологии (Швеция) – изучение гидрологических процессов в условиях изменения природной среды криолитозоны;

– Японское агентство морских и наземных исследований и технологий (JAMSTEC) (Япония) – мониторинговые метео-, водно- и теплосбалансовые наблюдения, комплекс геокриологических и ландшафтных исследований на опытных полигонах Тикси;

– Институт географии Министерства образования Республики Казахстан, г. Алматы (Казахстан) – научно-техническое сотрудничество в сфере гляциологии, геокриологии, ландшафтоведения, геоинформационных систем, геоморфологии, экзогенных и эндогенных процессов и явлений, климатологии.

Сотрудники Института ежегодно участвуют в международных конференциях за рубежом: г. Потсдам, г. Гамбург (Германия), г. Сан-Франциско, г. Новый Орлеан (США), г. Фраскати

(Италия), г. Брест (Франция), г. Брюссель (Бельгия), г. Цюрих (Швейцария), г. Фэрбанк (США) и др. (рис. 10). В свою очередь, Институт ежегодно официально принимает от 60 до 100 зарубежных ученых, работающих по различным совместным договорам.

Свыше 20 лет в малоизученном Восточно-Сибирском регионе Арктики ведет работы Российско-германская экспедиция “Лена”. В 2018 г. в Санкт-Петербурге был проведен Международный форум «20 лет экспедиции “Лена”». Организаторы: Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт (АНИИ, г. Санкт-Петербург); Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова (ИМЗ СО РАН, г. Якутск); Институт полярных и морских исследований им. Альфреда Вегенера (Германия), Германский дом науки и инноваций (DWIN, г. Москва). По результатам работы этой экспедиции опубликованы сотни статей и десятки монографий, объясняющих современное и историческое состояние геосферы Земли, изменение климата в Арктике. Научная и материально-техническая база экспедиции “Лена”, расположенная на о. Самойловском, является одной из лучших арктических научно-исследовательских станций в мире.

В 2018–2019 гг. в Институте созданы две новые аналитические лаборатории: российско-германская изотопная лаборатория для анализа изотопного состава льда и воды совместно с Лабораторией стабильных изотопов АВИ-Потсдам (Германия); лаборатория по определению содержания углерода и воды в грунтовых образцах Leco RC612 (производства США).

В последние годы особенно активно развивается научное сотрудничество с организациями Китая. В 2017 г. в г. Ланьчжоу (провинция Ганьсу) состоялось официальное открытие Международного исследовательского центра природных и технических систем холодных регионов Азии (International Research Center for Asian Cold Regions Environment and Engineering). Соглашение о создании этого центра было подписано между Северо-Западным институтом экологии и природных ресурсов АН КНР и Институтом мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН. В рамках деятельности центра предусмотрена реализация совместных научно-исследовательских проектов по приоритетным научным направлениям сторон, включая общее мерзлотоведение, инженерное мерзлотоведение и материаловедение холодных регионов.

Вступила в силу Международная программа сотрудничества с Китайской академией наук (CAS), включающая: оценку воздействия изменяющейся криолитозоны в Китае, России и Монголии на крупные инженерные сооружения; обмен стипендиями Государственных департаментов об-



**Рис. 10. Делегация ИМЗ СО РАН на XI Международной конференции по мерзлотоведению, 20–24 июня 2016 г. (г. Потсдам, Германия).**

разования и культуры с КНР; проект “Один пояс и один путь” – научно-техническое сопровождение и предварительные консультации по высокоскоростному железнодорожному звену Пекин–Москва; совместные исследования криолитозоны горных областей Центральной Азии на территории Алтая, Станового нагорья и Тибета.

Накопленный Институтом опыт международного сотрудничества показывает, что совместно с зарубежными учеными возможно выполнение большого объема полевых работ, лабораторных и натуральных экспериментов, связанных с изучением состава, строения, состояния криолитозоны и процессов взаимодействия ее с другими компонентами окружающей среды, а также оперативная публикация полученных результатов в России и за рубежом.

#### **ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

В развитие кадрового потенциала, материально-технической и приборной базы Института, а также фундаментальных геокриологических исследований на перспективу, в 2016 г. в адрес ФАНО России была направлена заявка на проведение реструктуризации Института и придания ему статуса “Национальный исследовательский институт (НИИ)”. Ключевая задача НИИ – получение необходимого задела новых фундаментальных знаний в науке, открывающих новые возможности для реализации прикладных исследований и опытно-конструкторских работ в перспективе. Эта инициатива Института была поддержана руководством Сибирского отделения РАН, Республики Саха (Якутия), Советом Федерации РФ.

Ученым советом Института была составлена Концепция программы развития НИИ “Ордена Трудового Красного Знамени Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН”, стратегическими целями деятельности которого являются следующие основные положения:

– достичь качественно нового уровня научных знаний о распространении, составе и строении многолетнемерзлых горных пород, а также о процессах их взаимодействия с атмосферой, гидросферой, биосферой и ноосферой Земли;

– разработать более технологически совершенные и экологически безопасные методы строительства зданий и инженерных сооружений в северных и арктических регионах страны;

– обеспечить приоритетное развитие геокриологических исследований с учетом мировых тенденций развития науки и в широком сотрудничестве с научными организациями-партнерами;

– создать программу поддержки геокриологической научной школы как основы для привлечения талантливой молодежи в науку и др.

Современные изменения климата и нарастающие темпы промышленного освоения территории криолитозоны выдвигают перед геокриологической наукой ряд новых теоретических и научно-технических задач. К ним относятся выявление зональных и региональных закономерностей реакции верхних горизонтов криолитозоны на изменения климата и техногенные воздействия, прогноз развития криогенных процессов, активизация которых значительно усиливает экологическую опасность природопользования в криолитозоне.

Решение сложного комплекса геокриологических задач в этих условиях возможно при соответствующей поддержке со стороны государства в рамках реорганизации Института в Национальный исследовательский институт [Алексеева, 2017].

К сожалению, современный наукометрический подход ФАНО, а затем и Минобрнауки России к оценке результативности научно-исследовательских институтов не позволяет Институту мерзлотоведения СО РАН достичь необходимых численных показателей публикационной активности для статуса НИИ. Хотя результаты геокриологических исследований в первую очередь необходимы в России для использования новых знаний в подготовке кадров в области мерзлотоведения и внедрения новых разработок в организациях, ведущих освоение территорий криолитозоны России.

В прикладном аспекте Институт разработал и при наличии финансовых средств готов выполнить следующие важные прикладные инициативные проекты:

1) устойчивость инженерных сооружений и экологическая безопасность северных городов;

2) устойчивость автомобильных дорог в криолитозоне;

3) оптимизация использования агроземель криолитозоны для обеспечения сельскохозяйственной продукцией населения;

4) использование средств агрогеофизики для контроля агроземель криолитозоны в контексте повышения плодородия почв;

5) динамика континентальной и субаквальной криолитозоны российской Арктики;

6) реакция криогенных экосистем Арктической зоны России на глобальное потепление климата (на примере Колымской низменности);

7) разработка и внедрение современного инженерно-геокриологического мониторинга гидротехнических сооружений (грунтовых плотин и дамб) в криолитозоне РФ;

8) криогенные ресурсы России;

9) оценка перспектив использования подмерзлотных вод криолитозоны в качестве альтернативного источника водоснабжения;

10) создание Академгородка в г. Якутске на территории ИМЗ СО РАН.

К 60-летию образования Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН 28–30 сентября 2020 г. в Якутске проведена Всероссийская конференция с международным участием “Устойчивость природных и технических систем в криолитозоне” [2020].

По программе конференции работали следующие секции:

– проблемы общей геокриологии; устойчивость природных систем в условиях меняющегося климата и техногенных воздействий;

– взаимодействие поверхностных и подземных вод; их роль в формировании и динамике криогенных ландшафтов; геохимическая оценка криогенных ландшафтов;

– проблемы инженерной геокриологии; устойчивость технических систем в условиях меняющегося климата и техногенных воздействий;

– молодежная секция “Современный климат и вечная мерзлота”.

Безусловно, результаты геокриологических исследований регулярно обсуждаются в рамках различных конференций и симпозиумов, проводимых как в России, так и за рубежом. Но данная конференция знаменательна и актуальна тем, что состоялась в г. Якутске, который основоположник науки мерзлотоведения М.И. Сумгин называл “колыбелью мерзлотоведения”.

Заявки на участие в конференции подали более 150 человек из России (Якутск, Москва, Хабаровск, Пермь, Иркутск, Новосибирск, Тюмень, Нижний Новгород, Чита, Владивосток, Санкт-Петербург), а также из Китая, Швеции, Казахстана и других стран.

## Литература

- Алексеева О.И.** X Международный симпозиум по проблемам инженерного мерзлотоведения // Криосфера Земли, 2015, т. XIX, № 1, с. 114–118.
- Алексеева О.И.** Инженерно-геокриологическая тематика в исследованиях якутских ученых-мерзлотоведов // Криосфера Земли, 2017, т. XXI, № 4, с. 3–11.
- Алексеева О.И., Чжан Р.В.** Флагман геокриологической науки // Криосфера Земли, 2011, т. XV, № 3, с. 82–88.
- Анисимова Н.П.** Гидрогеохимические исследования криолитозоны Центральной Якутии / Н.П. Анисимова, Н.А. Павлова. Новосибирск, Акад. изд-во “Гео”, 2014, 189 с.
- Великин С.А.** Особенности геофизического мониторинга ГТС в криолитозоне // Наука и образование, 2012, № 4, с. 29–34.
- Гончаров Ю.М.** Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. Якутск, Изд-во ИМЗ СО РАН, 2016, 578 с.
- Григорьев М.Н.** Исследования деградации многолетнемерзлых пород морей Восточной Сибири (по результатам экспедиций 2014–2016 гг.) // Пробл. Арктики и Антарктики, 2017, № 1 (111), с. 89–96.
- Железняк М.Н.** Геотемпературное поле и криолитозона Вилуйской синеклизы / М.Н. Железняк, В.П. Семенов. Новосибирск, Изд-во СО РАН, 2020, 121 с.
- Климовский И.В.** Академик Павел Иванович Мельников / отв. ред. Р.В. Чжан, В.В. Шепелев. Новосибирск, Акад. изд-во “Гео”, 2008, 306 с.
- Кузьмин Г.П., Куваев В.А.** Вода как аккумулятор солнечной энергии // Международный журн. прикл. и фундам. исслед., 2019, № 9, с. 80–84.
- Низконапорные** гидроузлы криолитозоны Якутии: рекомендации по проектированию и строительству / Р.В. Чжан, Г.И. Кузнецов, В.В. Шепелев и др. Якутск, Изд-во ИМЗ СО РАН, 2012, 124 с.
- Основные** итоги деятельности Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН за 2018 год: Отчет о науч. и науч.-организац. работе Ин-та мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН / отв. ред. В.В. Шепелев, М.Н. Железняк. Якутск, Изд-во ИМЗ СО РАН, 2019, 222 с.
- Основные** итоги деятельности Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН за 2019 год: Отчет о науч. и науч.-организац. работе Ин-та мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН / отв. ред. В.В. Шепелев, М.Н. Железняк. Якутск, Изд-во ИМЗ СО РАН, 2020, 210 с.
- Рекомендации** по проектированию и устройству поверхностных вентилируемых фундаментов на подсышке в районах вечной мерзлоты / Ю.М. Гончаров, А.П. Попович. Якутск, Изд-во ИМЗ СО РАН, 2012а, 60 с.
- Рекомендации** по проектированию и устройству свайных фундаментов зданий и сооружений на оттаивающих и талых грунтах Магаданской области / В.П. Власов, С.А. Гульий, Р.В. Чжан. Якутск, Изд-во ИМЗ СО РАН, 2012б, 64 с.
- Устройство** для охлаждения вечномерзлых грунтов: пат. на полезную модель 112219 Рос. Федерация / Кузьмин Г.П., Чжан Р.В., Яковлев А.В.; патентообладатель Ин-т мерзлотоведения СО РАН. – № 2011146997; заявл. 18.11.2011; опубл. 10.09.2012а; Бюл. № 25.
- Устройство** для стабилизации температуры в закрытых помещениях: пат. на полезную модель 112219 Рос. Федерация / Кузьмин Г.П., Чжан Р.В., Ремизов В.А. и др.; патентообладатель Ин-т мерзлотоведения СО РАН. – № 2011133062; заявл. 21.07.2011; опубл. 10.01.2012б; Бюл. № 1.
- Устойчивость** природных и технических систем в криолитозоне: материалы Всерос. конф. с междунар. участием, посвящ. 60-летию образования Ин-та мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН (Якутск, 28–30 сент. 2020 г.) / отв. ред. М.Н. Железняк, В.В. Шепелев, Р.В. Чжан. Якутск, Изд-во ИМЗ СО РАН, 2020, 462 с.
- Чжан Р.В.** Грунтовые плотины в криолитозоне России / Р.В. Чжан, С.А. Великин, Г.И. Кузнецов, Н.В. Крук. Новосибирск, Акад. изд-во “Гео”, 2019, 427 с.
- Шепелев В.В.** Надмерзлотные воды криолитозоны. Новосибирск, Акад. изд-во “Гео”, 2011, 169 с.
- Шепелев В.В., Чжан Т.Р.** Особенности гидрогеологических условий урбанизированных территорий и основные проблемы борьбы с подтоплением (на примере г. Якутска) // Отеч. геология, 2011, № 6, с. 58–63.
- Шестакова А.А., Спектор В.Б., Торговкин Я.И., Спектор В.В.** Обобщение данных о криолитозоне на инженерно-геологической карте Республики Саха (Якутия) масштаба 1:1 500 000 // Материалы Пятой конф. геокриологов России (Москва, 14–17 июня 2016 г.). М., Унив. книга, 2016, т. 3, с. 290–297.
- Fedorov A.N., Vasilyev N.F., Torgovkin Y.I. et al.** Permafrost-landscape map of the Republic of Sakha (Yakutia) at scale 1:1,500,000 // Geosciences, 2018, vol. 8, p. 465, DOI: 10.3390/geosciences8120465. – <http://mpi.ysn.ru/images/mlk20182.pdf>
- Shakhova N., Semiletov I., Gustafsson O. et al.** Observational evidence for current rates and mechanisms of permafrost degradation in the East Siberian Arctic Shelf // Nature Communications, 2017, No. 8, p. 1–13, DOI: 10.1038/ncomms15872. – <https://www.nature.com/articles/ncomms15872.pdf> IF 13.092

## References

- Alekseeva O.I. X International Symposium on Permafrost Engineering, Kriosfera Zemli [Earth's Cryosphere], 2015, vol. XIX, No. 1, p. 114–118 (in Russian).
- Alekseeva O.I. Permafrost engineering in Yakutian geocryological research. Earth's Cryosphere, 2017, vol. XXI, No. 4, p. 3–9.
- Alekseeva O.I., Zhang R.V. Leader of geocryology. Kriosfera Zemli [Earth's Cryosphere], 2011, vol. XV, No. 3, p. 82–88 (in Russian).
- Anisimova N.P., Pavlova N.A. Hidrogeokhimicheskie issledovaniia kriolitozony Tsentralnoi Yakutii [Hydrogeochemical Studies of Permafrost in Central Yakutia]. Novosibirsk, Acad. Publ. House “Geo”, 2014, 189 p. (in Russian).
- Velikin S.A. Particularities of geophysical monitoring of hydrotechnical structures in the cryolithozone. Nauka i obrazovanie [Science and Education], 2012, No. 4, p. 29–34 (in Russian).
- Goncharov Yu.M. Osnovaniya i fundamenty na vechnomerzlykh gruntakh [Foundations in Permafrost]. Yakutsk, Melnikov Permafrost Institute SB RAS, 2016, 578 p. (in Russian).
- Grigoriev M.N. Study of permafrost formations degradation of East Siberia coastal zone (subsequent to the results of expeditions of 2014–2016). Problemy Arktiki i Antarktiki [Arctic and Antarctic Research], 2017, No. 1 (111), p. 89–96.
- Zhelezniak M.N., Semenov V.P. Geotemperaturnoe pole i kriolitozona Vilyuiskoy sineklizy [Subsurface Temperature Field and Permafrost in the Vilyui Basin]. Novosibirsk, Izd-vo SB RAN, 2020, 121 p. (in Russian).
- Klimovskiy I.V. Akademik Pavel Ivanovich Melnikov [Academician Pavel Ivanovich Melnikov]. Novosibirsk, Acad. Publ. House “Geo”, 2008, 306 p. (in Russian).
- Kuzmin G.P., Kuvaev V.A. Water as an accumulator of solar energy. Mezhdunarodniy zhurnal prikladnykh i fundamental-

nykh issledovaniy [Applied Journal of Applied and Fundamental Research], 2019, No. 9, p. 80–84 (in Russian).

Zhang R.V., Kuznetsov G.I., Shepelev V.V. et al. Nizkonapornye gidrouzly kriolitozony Yakutii: rekomendatsii po proektirovaniyu i stroitelstvu [Small Dams on Permafrost in Yakutia: Guidelines for Design and Construction]. Yakutsk, Melnikov Permafrost Institute SB RAS, 2012, 124 p. (in Russian).

Osnovnye itogi deyatel'nosti Instituta merzlotovedeniya im. P.I. Melnikova SO RAN za 2018 god. Otchet o nauchnoy i nauchno-organizatsionnoy rabote Instituta merzlotovedeniya im. P.I. Melnikova SO RAN [Main results of Melnikov Permafrost Institute SB RAS research and organizational activities. Annual report 2018]. Yakutsk, Melnikov Permafrost Institute SB RAS, 2019, 222 p. (in Russian).

Osnovnye itogi deyatel'nosti Instituta merzlotovedeniya im. P.I. Melnikova SO RAN za 2019 god. Otchet o nauchnoy i nauchno-organizatsionnoy rabote Instituta merzlotovedeniya im. P.I. Melnikova SO RAN [Main results of Melnikov Permafrost Institute SB RAS research and organizational activities. Annual report 2019]. Yakutsk, Melnikov Permafrost Institute SB RAS, 2020, 210 p. (in Russian).

Goncharov Yu.M., Popovich A.P. Rekomendatsii po proektirovaniyu i ustroystvu poverkhnostnykh ventiliruemykh fundamentov na podspyke v rayonakh vечноy merzloty [Guidelines for design and construction of surface spatial ventilated foundations on fill in permafrost areas]. Yakutsk, Melnikov Permafrost Institute SB RAS, 2012a, 60 p. (in Russian).

Vlasov V.P., Gulyi S.A., Zhang R.V. Rekomendatsii po proektirovaniyu i ustroystvu svaynykh fundamentov zdaniy i sooruzheniy na ottaivayushchikh i talykh gruntakh Magadanskoj oblasti [Guidelines for design and construction of pile foundations in thawing and thawed ground in the Magadan Oblast]. Yakutsk, Melnikov Permafrost Institute SB RAS, 2012b, 64 p. (in Russian).

Patent on useful model 112219 RF. Ustroystvo dlya okhlazhdeniya vechnomerzlykh gruntov [A device for cooling permafrost soils]. Kuzmin G.P., Zhang R.V., Yakovlev A.V. Patent Holder Permafrost Institute SB RAS. – No. 2011146997. Claimed 18.11.2011. Published 10.09.2012b, Bull. No. 25 (in Russian).

Patent on useful model 112219 RF. Ustroystvo dlya stabilizatsii temperatury v zakrytykh pomeshcheniyakh [A device for indoor temperature stabilization]. Kuzmin G.P., Zhang R.V., Remizov V.A. et al. Patent Holder Permafrost Institute SB RAS. – No. 2011133062. Claimed 21.07.2011. Published 10.01.2012a, Bull. No. 1 (in Russian).

Zhelezniak M.N., Shepelev V.V., Zhang R.V. (Eds.). Ustoichivost prirodnykh i tekhnicheskikh sistem v kriolitozone [Environmental and infrastructure integrity in permafrost regions]. Proceedings of the Russian Conference with International Participation on the Occasion of the 60th Anniversary of the Melnikov Permafrost Institute (Yakutsk, Sept. 28–30, 2020). Yakutsk, Melnikov Permafrost Institute SB RAS, 2020, 462 p. (in Russian).

Zhang R.V., Velikin S.A., Kuznetsov G.I., Kruk N.V. Gruntovye plotiny v kriolitozone Rossii [Embankment Dams in the Permafrost Zone of Russia]. Novosibirsk, Acad. Publ. House "Geo", 2019, 427 p. (in Russian).

Shepelev V.V. Nadmerzlotnye vody kriolitozony [Suprapermafrost Waters in the Cryolithozone]. Novosibirsk, Acad. Publ. House "Geo", 2011, 169 p. (in Russian).

Shepelev V.V., Zhang T.R. The hydrogeology of urban areas on permafrost and the main problems in water logging control: a case study of Yakutsk. Otechestvennaya geologiya [National Geology], 2011, No. 6, p. 58–63 (in Russian).

Shestakova A.A., Spektor V.B., Torgovkin Ya.I., Spektor V.V. Summarized data on the permafrost zone on the 1:1,500,000-scale engineering and geological map of the Sakha Republic (Yakutia). In: Proceedings of the Fifth Conference of Geocryologists (Moscow, June 14–17, 2016). Moscow, Univ. Kniga, vol. 3, p. 290–297 (in Russian).

Fedorov A.N., Vasilyev N.F., Torgovkin Y.I. et al. Permafrost-landscape map of the Republic of Sakha (Yakutia) at scale 1:1,500,000. Geosciences, 2018, vol. 8, No. 465, DOI: 10.3390/geosciences8120465.

Shakhova N., Semiletov I., Gustafsson O. et al. Observational evidence for current rates and mechanisms of permafrost degradation in the East Siberian Arctic Shelf. Nature Communications, 2017, No. 8, p. 1–13, DOI: 10.1038/ncomms15872.

*Поступила в редакцию 6 ноября 2020 г.,  
после доработки – 15 ноября 2020 г.,  
принята к публикации 26 ноября 2020 г.*