КРИОСФЕРА ЗЕМЛИ
НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Криосфера Земли, 2017, т. XXI, № 4, с. 3–11 **http://www.izdatgeo.ru**

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ КРИОЛОГИИ ЗЕМЛИ

УДК 624.131.4 DOI: 10.21782/KZ1560-7496-2017-4(3-11)

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКАЯ ТЕМАТИКА В ИССЛЕДОВАНИЯХ ЯКУТСКИХ УЧЕНЫХ-МЕРЗЛОТОВЕДОВ

О.И. Алексеева

Институт мерзлотоведения имени П.И. Мельникова СО РАН,
677010, Якутск, ул. Мерзлотная, 36, Россия; o.i.alekseeva@mpi.ysn.ru

Якутские инженеры-мерзлотоведы традиционно работают в нескольких направлениях: изучение свойств мерзлых грунтов; прогнозирование взаимодействия инженерных сооружений с мерзлыми грунтами; разработка технологий строительства на мерзлых грунтах; геокриологический мониторинг на уникальных инженерных сооружениях в криолитозоне; научное сопровождение и комплексное обоснование проектирования, строительства и эксплуатации различных комплексов сооружений в криолитозоне России. Ими разработаны теоретические положения, способы, методы, механизмы и нормативная база строительства зданий и сооружений в условиях криолитозоны, выполнены прогнозные оценки их устойчивости при колебаниях климата.

Инженерное мерзлотоведение, криолитозона, здания и сооружения, криогенные процессы, изменения климата, мерзлые грунты

PERMAFROST ENGINEERING IN YAKUTIAN GEOCRYOLOGICAL RESEARCH

O.I. Alekseeva

Melnikov Permafrost Institute, SB RAS,
36, Merzlotnaya str., Yakutsk, 677010, Russia; o.i.alekseeva@mpi.ysn.ru

Permafrost engineering research in Yakutia has traditionally been carried out along several lines: study of frozen soil properties, theory and prediction of structure–permafrost interaction, development of construction technologies, geocryological monitoring of unique structures built on permafrost, and scientific support for new projects in the Russian permafrost regions through the design, construction and operation stages. These research efforts have resulted in theories, techniques, methodologies, and regulations for construction of buildings and structures in permafrost regions, as well as in predictive solutions for infrastructure stability under climate variations.

Engineering geocryology, cryolithozone, buildings and structures, cryogenic processes, climate change, frozen ground

В преддверии XI Международного симпозиума по проблемам инженерного мерзлотоведения, который пройдет в г. Магадане 5–8 сентября 2017 г., хотелось бы обозначить основные направления и тематику исследований якутских ученых-мерзлотоведов. Как показал предыдущий, X Международный симпозиум по проблемам инженерного мерзлотоведения, проходивший в 2014 г. в г. Харбине (Хэйлунцзян, Китай) [*Алексеева, 2015*], научный авторитет российских исследователей и полученные ими результаты достаточно высоко оценены и вызывают неизменное стремление зарубежных коллег к сотрудничеству.

Для реализации Правительственной программы стратегического развития России на период до 2030 г. для северных регионов необходимо усиление геокриологических исследований. Успешное выполнение этой программы возможно на базе Института мерзлотоведения (ИМЗ) им. П.И. Мельникова СО РАН в процессе реорганизации с приданием ему статуса Национального исследовательского института и соответствующей государственной поддержкой.

ВЕХИ ИСТОРИИ

По историческим причинам именно в России мерзлотоведение (геокриология) сформировалось как наука в 30-х гг. прошлого века на стыке геологических, географических, геофизических и инженерно-технических дисциплин. Связано это было с началом освоения огромных территорий Сибири, находящихся в зоне распространения

© О.И. Алексеева, 2017

многолетнемерзлых толщ горных пород. Северо-Восточные районы и тихоокеанское побережье России всегда представляли большой интерес для отечественных исследователей. В XIX в. выдающиеся по своим результатам исследования севера и востока Сибири выполнил профессор Киевского университета, член Петербургской академии наук А.Ф. Миддендорф, 200-летие со дня рождения которого научная общественность отметила в 2015 г. Именно он в апреле 1844 г. провел серию температурных измерений в шахте Шергина в интервале глубин от 15 до 116 м, примерно через каждые 15 м. По результатам этих исследований он впервые представил фактические данные о температуре многолетнемерзлых пород и их мощности [*Соловьев, Шац, 2012*].

По инициативе председателя Совета народных комиссаров ЯАССР М.К. Аммосова с 1925 по 1930 г. Академией наук СССР была проведена уникальная научно-исследовательская экспедиция – Первая Якутская академическая экспедиция по изучению производительных сил Якутии. Эта экспедиция дала мощный толчок развитию науки и различных отраслей народного хозяйства республики. В составе экспедиции был геокриологический отряд, успешные работы которого привели к созданию в 1941 г. Якутской мерзлотной станции в г. Якутске. Это была первая ячейка современного ИМЗ СО РАН.

Основоположником мерзлотоведения является М.И. Сумгин [*1927*], географ, геолог и инженер, человек с трудной судьбой революционера. Создателем же инженерного мерзлотоведения стал его ученик и последователь Н.А. Цытович [*1973*], специалист в области механики грунтов, фундаментостроения и инженерной геологии.

Занимаясь изучением мерзлых толщ горных пород, мерзлотоведы не только используют комплекс методов, присущих смежным наукам, но и разрабатывают собственные методы исследований. Теоретически обоснованы и успешно развиваются научные направления на стыке геокриологии и смежных (геология, география, химия, физика и др.) наук: термореология мерзлых грунтов [*Вотяков, 1975*]; криолитология [*Катасонов, 2009*]; теплофизика ландшафтов [*Павлов, 1979*]; ландшафтное мерзлотоведение [*Граве, Мельников, 1989; Мерзлотно-ландшафтная карта..., 1991*]; криогидрогеохимия [*Анисимова, 1981*]; геотермия мерзлой зоны литосферы [*Балобаев, 1991*]; основы криогенеза литосферы [*Романовский, 1993*]; основы теории взаимодействия инженерных сооружений и мерзлых грунтов [*Основы..., 1999*]; основы инженерной криолитологии [*Гурьянов, 2009*]; фундаментальные основы и принципы использования криогенных строительных ресурсов криолитозоны [*Алексеев, Чжан, 2011*]; криогенные геосистемы [*Мельников и др., 2010*]; криософия [*Мельников, Геннадиник, 2011*] и другие.

ВКЛАД ЯКУТСКИХ УЧЕНЫХ В РЕШЕНИЕ АКТУАЛЬНЫХ ЗАДАЧ ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОКРИОЛОГИИ

Большое внимание было уделено исследователями развитию тепловых расчетных методов в инженерном мерзлотоведении (в механике мерзлых грунтов). Получены численные значения параметров, характеризующих ползучесть мерзлых грунтов при сжатии, растяжении и сдвиге для мерзлых песков и суглинков [*Гречищев, 1963*]. Разработаны эмпирические зависимости для расчета продолжительности работы замораживающих систем до момента смыкания льдогрунтовых цилиндров и образования сплошной льдогрунтовой стенки с учетом взаимного теплового влияния соседних колонок [*Каменский, 1971*]. В результате экспериментов установлены закономерности теплообмена в термосифонах и даны рекомендации по их расчету [*Макаров, 1985*]. Разработан метод расчета для выбора принципа использования мерзлых грунтов в качестве оснований для фундаментов сооружений [*Растегаев и др., 2009*].

Российские мерзлотоведы внедрили в строительную практику городов Якутск, Мирный, Норильск, Игарка многие свои разработки и рекомендации, учитывающие условия строительства на многолетнемерзлых горных породах:

– свайные фундаменты с проветриваемым подпольем, предохраняющие мерзлое основание от теплового воздействия зданий и инженерных сооружений [*Мельников и др., 1963; Войтковский и др., 1968*];

– свайные фундаменты с “холодными сваями” – железобетонными сваями с встроенными в них охлаждающими устройствами, которые совмещают функции фундамента и охлаждающей системы [*Макаров, 1985*];

– свайные фундаменты с буронабивными сваями [*Сальников, Торгашев, 1988; Сборник..., 1997*], разработанные для буронабивного способа устройства висячих свай и свай-стоек в вечномерзлых грунтах при строительстве сооружений по принципам I и II;

– поверхностные фундаменты (фундаменты-оболочки, фундаменты структурного типа и плоские фундаментные плиты с сотовым заполнителем), адаптированные к условиям потепления климата [*Гончаров, 1988, 2016*];

– подземный способ прокладки трубопроводов как наиболее оптимальный для условий вечной мерзлоты [*Мельников и др., 1973*];

– метод строительства подземных емкостей (аккумуляторы холода, емкости для хранения различных продуктов, газов и ГСМ) с примене-

нием гидроразмыва мерзлых пород [*Устройство..., 2002б*];

– методы обеспечения термической, фильтрационной и статической устойчивости мерзлых плотин [*Каменский, 1971; Низконапорные гидроузлы..., 2012*], основанные на обобщении опыта работы грунтовых плотин в криолитозоне и прогнозных расчетов;

– методы искусственного регулирования температурного режима мерзлых оснований за счет естественно действующих охлаждающих систем [*Макаров, 1985; Алексеева, 1991*].

Более чем тридцатилетние геокриологические исследования, выполненные якутскими учеными в криолитозоне России – городах Мурманск, Норильск, Красноярск, Игарка и Якутск, позволили обобщить и сформулировать наиболее значимые научные выводы и практические рекомендации [*Растегаев и др., 2009*]. Идеология строительства фундаментов на этих территориях заключается в последовательном использовании многолетнемерзлых грунтов сначала как разрабатываемого материала, затем как основания для фундамента и потом как среды, вмещающей фундамент, с преимущественным сохранением естественного, предшествующего строительству, состояния грунтов. Таким образом, в многолетнемерзлых грунтах необходимо исключить их отепление и оттаивание, а в грунтах сезонного промерзания исключить промерзание талых грунтов оснований.

ОСОБЕННОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА НА МЕРЗЛЫХ ГРУНТАХ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА

В исследованиях российских мерзлотоведов конца XX–начала XXI в. особое внимание уделялось влиянию потепления климата на прочность и устойчивость мерзлых оснований. Последний период потепления в Якутии отмечен исследователями с 1970 по 2015 г. [*Павлов, Малкова, 2005*]. В Центральной Якутии средняя годовая температура воздуха повысилась более чем на 2 °С, при этом среднегодовая температура мерзлых грунтов в естественных условиях имеет тенденции как к повышению, так и к снижению [*Балобаев и др., 2009*]. Проводились теоретические и экспериментальные исследования температурного режима мерзлых грунтов. На научных стационарах, имеющих ряды наблюдений в 30 лет и более, отмечается как повышение, так и понижение температуры мерзлых грунтов [*Федоров и др., 2013*]. По-разному реагирует на изменения климата и мощность сезонноталого слоя в различных географических зонах: где-то она уменьшается, где-то нет. Это связано с тем, что процесс сезонного оттаивания грунтов осуществляется в короткое летнее время, тогда как многолетние климатические изменения часто сильнее проявляются в более длинные зимние периоды. В целом мерзлые толщи обладают достаточно большой тепловой инерционностью, однако мерзлотоведы, проводя многолетний мониторинг теплового и влажностного режимов грунтов криолитозоны, отмечают существенную деструктивную роль криогенных процессов, происходящих в деятельном слое. Так, на территории г. Якутска, где отсутствует ливневая канализация, вследствие потепления климата отмечается активизация и расширение площадей распространения таких деструктивных криогенных процессов, как просадки, пучение, солифлюкция и термокарст. Это выражается в разрушении дорожных покрытий и коммуникаций, деформациях насыпей, фундаментов сооружений, формировании термоэрозионных рытвин, зон заболачивания и др. [*Алексеева и др., 2007*]. Большую опасность для устойчивости грунтов оснований и несущих конструкций г. Якутска представляет подтопление и обводнение территории надмерзлотными водами. Причем обводнение происходит за счет пресных и минерализованных подземных вод – криопэгов [*Шепелев, Шац, 2000*].

По прогнозным оценкам, при потеплении климата в городах Якутске, Воркуте и Новом Уренгое сливающийся тип мерзлых пород может преобразоваться в несливающийся [*Хрусталев, Пустовойт, 1995*]. В этом случае сложно обеспечить устойчивость сооружений традиционными способами – посредством усиления фундаментов и увеличения глубины их заложения. Обеспечить устойчивость можно путем использования пространственных конструкций фундаментов либо за счет искусственного понижения температуры пород. Для этого разработаны пространственные конструкции фундаментов: фундаменты-оболочки, фундаменты структурного типа, плоские фундаментные плиты с сотовым заполнителем. Эти фундаменты возводятся без нарушения грунтовых условий, так как они приспособлены к повышению температуры грунтов и неравномерным осадкам. К сожалению, внедрение таких фундаментов сдерживается отсутствием соответствующей нормативной базы. Индустриальные методы радикального охлаждения оснований за счет использования термосифонов более 40 лет назад были успешно применены сотрудниками Вилюйской научно-исследовательской мерзлотной станции (ВНИМС) ИМЗ СО РАН в г. Мирном в виде использования холодных свай. Применение холодных свай при строительстве четырехэтажного жилого дома в г. Якутске, а также жилого массива Оганер (город-спутник Норильска) позволило понизить расчетную температуру грунтов более чем на 1.5 °С и тем самым повысить надежность использования свайных фундаментов. Известно, что при понижении температуры мерзлого грунта от

–0.3 до –1.5 °С несущая способность свайного фундамента увеличивается в 2.5 раза, поэтому искусственное замораживание грунтов признано наиболее универсальным и надежным способом повышения их прочности [*Вялов и др., 1984*]. Еще более эффективным является применение охлаждающих средств в комплексе с теплоизоляционными материалами, закладываемыми в грунтовое основание [*Алексеева, 1991*].

В 80-х гг. прошлого века сотрудниками института Гипротюменьнефтегаз был разработан метод обеспечения устойчивости мерзлых оснований в условиях потепления климата, вобравший в себя три идеи: использование поверхностных фундаментов, высокоэффективной теплоизоляции (пенопластов и пенополиуретанов) и охлаждающих средств [*Долгих, 1991*]. Этот метод стал альтернативным решением свайным фундаментам с проветриваемым подпольем. Его суть состоит в использовании фундаментов на подсыпках с размещением в них горизонтальных труб, автоматически действующих за счет естественного холода. Для обеспечения надежности эти трубы совмещаются также с искусственным источником холода. Это горизонтальные естественно действующие установки (ГЕТ), представляющие собой замкнутую конструкцию, заполненную легкокипящим хладогентом (аммиаком) и работающую по принципу двухфазного термосифона.

В лаборатории инженерной геокриологии ИМЗ СО РАН проводились исследования совместного охлаждающего воздействия на грунт термосифонов и высокоэффективной теплоизоляции, наглядно показавшие эффективность и целесообразность такого комплексного приема. Теплоизоляционные материалы в комплексе с охлаждающими средствами полностью исключают глубокое сезонное протаивание грунтов оснований, в том числе на участках с аварийными утечками из тепловых инженерных сетей. Создание мерзлого ядра, сливающегося с многолетнемерзлыми грунтами основания, за счет совместного применения термосифонов и теплоизоляции гребня плотины – один из методов обеспечения ее фильтрационной и статической устойчивости.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В РАЗВИТИИ ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОКРИОЛОГИИ

Сотрудниками ИМЗ СО РАН были проведены анализ и прогноз надежности низконапорных гидроузлов в криолитозоне и разработаны конструктивные схемы входящих в них плотин и каналов. Результаты исследований реализованы при проектировании, строительстве и эксплуатации многих гидротехнических объектов, а также включены в нормативные документы [*Чжан, 2002; Zhang, 2012*]. 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*].

Автомобильные и железные дороги – важный объект инженерного мерзлотоведения. Устойчивость дорожного полотна по-прежнему остается актуальной научно-практической задачей. Основными способами 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 (горизонтальных и вертикальных естественно действующих трубчатых установок), пленочного экрана или превентивного удаления льдистых массивов грунтов (ледяных линз) из основания и заполнением образующихся полостей непросадочными грунтами) [*Варламов и др., 2011; Шестернев, 2011*].

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 [*Шестернев, 2007*]. Поэтому для линейных объектов очень важно проведение инженерно-геокриологического мониторинга в процессе эксплуатации.

Для защиты территорий и сооружений от опасных криогенных процессов в ИМЗ СО РАН разработаны рекомендации, направленные на снижение и ликвидацию негативного техногенного воздействия на геокриологические условия в зоне расположения инженерных сооружений [*Временное руководство..., 1980*].

Сотрудники ВНИМС ИМЗ СО РАН совершенствуют различные технологии, направленные на обеспечение надежной эксплуатации инженерных сооружений в условиях меняющегося климата и интенсивного антропогенного воздействия на территории их расположения. Это создание аппаратурно-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; Великин и др., 2013*]; организация геокриологического мониторинга при научном сопровождении строительства и эксплуатации мегапроектов, таких как Амуро-Якут-

ская железнодорожная магистраль, автодороги АЯМ, “Вилюй”, “Амур”, нефтепровод Восточная Сибирь–Тихий океан, освоение месторождений полезных ископаемых [*Железняк и др., 2012*].

Особо значимыми являются разработки ИМЗ СО РАН в области энергосберегающих технологий [*Устройство..., 2012а*]. При создании криохранилища семян растений, расположенного на территории Якутска, реализованы новые патентные разработки по использованию ресурсов естественного холода [*Устройство..., 2012а, б*]. Это сооружение обладает повышенной устойчивостью, экономичностью (минимальной энергозатратностью при эксплуатации) и стабильностью 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. Совместно с институтами Якутского научного центра СО РАН получен также патент РФ на способ длительного хранения семян [*Способ..., 2010*].

Важным результатом работы мерзлотоведов 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 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 статических расчетов, расчета температурного режима вечномерзлых грунтов оснований, которые используются в мерзлом состоянии, сохраняемом в процессе строительства и в течение всего заданного периода эксплуатации здания или сооружения, а также для конструирования и технологии устройства пространственных вентилируемых фундаментов [*Рекомендации..., 2012а; Гончаров, 2016*].

Для прогноза устойчивости возводимых и эксплуатируемых сооружений и их взаимодействия с окружающей средой важны инженерно-геокриологические карты различного масштаба. К таким работам можно отнести Инженерно-геокриологическую карту масштаба 1:2 500 000 территории Республики Саха (Якутия), Магаданской области и прилегающих участков Красноярского края, Иркутской области, Хабаровского края [*Чжан и др., 2011*]. Выполнено оригинальное картографическое обобщение – Инженерно-геологическая карта территории Республики Саха (Якутия) масштаба 1:1 500 000, как результат многолетних работ ИМЗ СО РАН, а также специалистов из Института геологии алмаза и благородных металлов СО РАН и Комитета по геологии и недропользованию Республики Саха (Якутия). На карте впервые систематизированы современные данные по составу и криолитологическим особенностям грунтов, составу и свойствам надмерзлотных вод, экзогенным процессам [*Шестакова и др., 2016*].

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ЯКУТИИ

В 2015 г. в научно-исследовательские институты России был направлен План реструктуризации научных организаций, подведомственных Федеральному агентству научных организаций (ФАНО), утвержденный заместителем председателя Правительства Российской Федерации А.В. Дворковичем (письмо № 6791п-П8 от 14.10.2015 г.). Затем, в феврале 2016 г. за подписью руководителя ФАНО А.М. Медведева в институты пришло письмо с методическими рекомендациями по проведению мероприятий реструктуризации, а также Предложения по структуризации сети научных организаций, подведомственных ФАНО России. Среди различных вариантов реструктуризации была предложена структура “Национальный исследовательский институт (НИИ)”, ключевой задачей которого должно стать получение необходимого задела новых фундаментальных знаний в науке, открывающего новые возможности для реализации прикладных исследований и опытно-конструкторских работ в перспективе. НИИ должны формироваться на базе действующих академических институтов, являющихся мировыми и российскими лидерами в отдельных дисциплинах знаний, имеющих признанные научным сообществом научные школы.

Ученый совет ИМЗ СО РАН принял решение и подал заявку в ФАНО на проведение реструктуризации в отношении института в виде придания ему статуса “Национальный исследовательский институт”. В мае 2016 г. ученым советом была составлена Концепция программы развития НИИ “Ордена Трудового Красного Знамени Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН”, стратегическими целями деятельности которого обозначены:

– достижение 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;

– разработка более технологически совершенных и экологически безопасных методов строи-

тельства зданий и инженерных сооружений в северных и арктических регионах страны;

– обеспечение приоритетного развития геокриологических исследований с учетом мировых тенденций развития науки и в широком сотрудничестве с научными организациями-партнерами;

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

Институт мерзлотоведения СО РАН, созданный в 1960 г., является единственной в России научной организацией, в задачи которой входят комплексные исследования криолитозоны в фундаментальном и прикладном аспектах. Институт располагает беспрецедентно обширной сетью мониторинга криолитозоны, занимающей 65 % территории России. Отдельные исследовательские задачи решаются экспедиционными работами, а также с помощью региональных научных подразделений института, расположенных в Магаданской области, на севере Красноярского края, в Мирнинском районе Республики Саха (Якутия) и в горах Казахстана. Региональные подразделения и стационары – это постоянная мониторинговая сеть института, предназначенная для натурного изучения геокриологических условий в различных регионах криолитозоны. На стационарах проводятся междисциплинарные исследования в рамках интеграционных, комплексных программ СО РАН, РАН, международных проектов и др. Результаты исследований института составляют основу многих фундаментальных работ в области общей, инженерной и региональной геокриологии, криолитологии, исторической геокриологии, ландшафтоведения, гидрогеологии и охраны окружающей среды.

Современные изменения климата и нарастающие темпы промышленного освоения территории криолитозоны выдвигают перед геокриологической наукой ряд новых теоретических и научно-технических проблем. 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. Деятельность института относится к сфере выполнения требований национальной безопасности России, поскольку строительство и эксплуатация зданий и сооружений в криолитозоне связаны с серьезными рисками ее освоения, что обусловливает необходимость разработки новых конструкций фундаментов и технологий строительства инженерных сооружений на многолетнемерзлых грунтах, совершенствование принципов и методов инженерных изысканий, геокриологического прогноза и т. д.

Решение сложного комплекса геокриологических задач в этих условиях возможно при соответствующей поддержке со стороны государства в рамках реорганизации института в Национальный исследовательский институт. В перспективе это позволит значительно укрепить материально-техническую базу и кадровое обеспечения института, что позволит вести геокриологические исследования на качественно новом уровне.

Литература

Алексеев В.Р., Чжан Р.В. Криогенные строительные материалы. Формирование понятия, классификация, состояние изученности. Якутск, Изд-во ИМЗ СО РАН, 2011, 66 с.

Alekseev, V.R., Zhang, R.V., 2011. Cryogenic Construction Materials. Concept Formation, Classification, Degree of Knowledge. Publishing House of Melnikov Permafrost Institute, SB RAS, Yakutsk, 66 pp. (in Russian)

Алексеева О.И. Динамика температурного режима грунтовой дамбы // Климат, почва, мерзлота. Новосибирск, Наука, 1991, с. 135–138.

Alekseeva, O.I., 1991. The dynamics of the temperature regime of a ground dam, in: Climate, Soil, Permafrost. Nauka, Novosibirsk, pp. 135–138. (in Russian)

Алексеева О.И. X Международный симпозиум по проблемам инженерного мерзлотоведения // Криосфера Земли, 2015, т. XIX, № 1, с. 114–118.

Alekseeva, O.I., 2015. X International Symposium on Permafrost Engineering. Earth's Cryosphere, XIX (1), 114–118. (in Russian)

Алексеева О.И., Балобаев В.Т., Григорьев М.Н., Макаров В.Н., Чжан Р.В., Шац М.М., Шепелёв В.В. О проблемах строительства в криолитозоне (на примере Якутска) // Криосфера Земли, 2007, т. XI, № 2, с. 76–83.

Alekseeva, O.I., Balobaev, V.T., Grigoriev, M.N., Makarov, V.N., Zhang, R.V., Shatz, M.M., Shepelev, V.V., 2007. Urban development problems in permafrost areas (by the example of Yakutsk). Erath's Cryosphere, XI (2), 76–83. (in Russian)

Анисимова Н.П. Криогидрогеохимические особенности мерзлой зоны / Н.П. Анисимова. Новосибирск, Наука, 1981, 153 с.

Anisimova, N.P., 1981. Cryo hydrogeochemical Features of the Permafrost Zone. Nauka, Novosibirsk, 153 pp. (in Russian)

Балобаев В.Т. Геотермия мерзлой зоны литосферы Севера Азии / В.Т. Балобаев. Новосибирск, Наука, 1991, 191 с.

Balobaev, V.T., 1991. The Geothermy of the Permafrost Zone of the Lithosphere of Northern Asia. Nauka, Novosibirsk, 191 pp. (in Russian)

Балобаев В.Т., Скачков Ю.Б., Шендер Н.И. Прогноз изменения климата и мощности мерзлых пород Центральной Якутии до 2200 года // География и природ. ресурсы, 2009, № 2, с. 50–56.

Balobaev, V.T., Skachkov, Yu.B., Shender, N.I., 2009. Forecast of climate changes and of the permafrost soil depth for Central Yakutia till 2200. Geografia i Prirodnye Resursy 2, 50–56. (in Russian)

Варламов С.П., Скрябин П.Н., Шендер Н.И. О тепловом состоянии оснований насыпей железной дороги Томмот–Кердем на участке распространения пород ледового комплекса // Материалы IX Междунар. симп. "Проблемы инженерного мерзлотоведения" (Мирный, 3–7 сент. 2011 г.). Якутск, Изд-во ИМЗ СО РАН, 2011, с. 204–209.

Varlamov, S.P., Skryabin, P.N., Shender, N.I., 2011. On the thermal condition of the Tommot-Kerdem of the railway body foundations in the section of permafrost soil occurrence, in:

Proceedings of the IX International Symposium "Permafrost Engineering Studies" (Mirny, September 3–7, 2011), Publishing House of Melnikov Permafrost Institute, SB RAS, Yakutsk, pp. 204–209. (in Russian)

Великин С.А. Особенности геофизического мониторинга ГТС в криолитозоне // Наука и образование, 2012, № 4, с. 29–34.

Velikin, S.A., 2012. Features of geophysical monitoring of ГТС in the permafrost zone. Nauka i Obrazovanie 4, 29–34. (in Russian)

Великин С.А., Соболев И.С., Соболев Д.Н. Результаты инструментальных наблюдений и адаптированного прогноза термоабразии берегов Вилюйского водохранилища // Гидротехн. стр-во, 2013, № 6, с. 2–8.

Velikin, S.A., Sobolev, I.S., Sobolev, D.N., 2013. The results of instrumental observations and of adapted forecast of thermal abrasion of the shores of the Viluy reservoir. Gidrotekhnicheskoye Stroitelstvo 6, 2–8. (in Russian)

Войтковский К.Ф. Фундаменты сооружений на мерзлых грунтах в Якутии / К.Ф. Войтковский, П.И. Мельников, Г.В. Порхаев и др. М., Наука, 1968, 199 с.

Voitkovsky, K.F., Melnikov, P.I., Pokhaev, G.V., et al., 1968. Foundations of Buildings and Structures Built on Permafrost Grounds. Nauka, Moscow, 199 pp. (in Russian)

Вотяков И.Н. Физико-механические свойства мерзлых и оттаивающих грунтов Якутии / И.Н. Вотяков. Новосибирск, Наука, 1975, 176 с.

Votyakov, I.N., 1975. Physical and Mechanical Properties of Frozen and Thawing Grounds of Yakutia. Nauka, Novosibirsk, 176 pp. (in Russian)

Временное руководство по защите ландшафтов при прокладке газопроводов на Крайнем Севере / А.В. Павлов, В.Л. Суходровский, И.П. Константинов и др. Якутск, Изд-во ИМЗ СО РАН, 1980, 48 с.

Pavlov, A.V., Sukhodrovsky, V.L., Konstantinov, I.P., et al., 1980. Temporary Guidelines for Protection of Terrains in Lining Gas Pipelines in Extreme North. Publishing House of Melnikov Permafrost Institute, SB RAS, Yakutsk, 48 pp. (in Russian)

Вялов С.С. Термосваи в строительстве на Севере / С.С. Вялов, С.Э. Городецкий, Ю.А. Александров и др.. Л., Стройиздат, 1984, 148 с.

Vyalov, S.S., Gorodetsky, S.E., Alexandrov, Yu.A., et al., 1984. Stroyizdat, Thermal Piles in Northern Construction, 148 pp. (in Russian)

Гончаров Ю.М. Эффективные конструкции фундаментов на вечномерзлых грунтах / Ю.М. Гончаров. Новосибирск, Наука, 1988, 192 с.

Goncharov, Yu.M., 1988. Effective Foundation Designs for Permafrost Grounds. Nauka, Novosibirsk, 192 pp. (in Russian)

Гончаров Ю.М. Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах / Ю.М. Гончаров. Якутск, Изд-во ИМЗ СО РАН, 2016, 578 с.

Goncharov, Yu.M., 2016. Bases and foundations on permafrost grounds. Yakutsk, Publishing House of Melnikov Permafrost Institute, SB RAS, 578 pp. (in Russian)

Граве Н.А., Мельников П.И. Критерии и прогнозы устойчивости мерзлотных ландшафтов // Факторы и механизмы устойчивости геосистем. М., ИГ СО АН СССР, 1989, с. 163–171.

Grave, N.A., Melnikov, P.I., 1989. Criteria and predictions of permafrost landscapes, in: Factors and Mechanisms of Stability of Geosystems. Institute of Geography, SB AS of USSR, Moscow, pp. 163–171. (in Russian)

Гречищев С.Е. Ползучесть мерзлых грунтов при сложном напряженном состоянии // Прочность и ползучесть мерзлых грунтов. М., АН СССР, 1963, с. 55–124.

Grechishchev, S.E., 1963. Creep of frozen soils in complicated state of tension, in: Firmness and Creep of Frozen Soils. AS of USSR, Moscow, 1963, pp. 55–124. (in Russian)

Гурьянов И.Е. Инженерная криолитология: прочность вечномерзлых грунтов / И.Е. Гурьянов. Новосибирск, Академ. изд-во "Гео", 2009, 139 с.

Guryanov, I.E., 2009. Engineering Cryolithology: Stability of Permafrost Soils. Geo Academic Publishing House, Novosibirsk, 139 pp. (in Russian)

Долгих Г.М. Система температурной стабилизации оснований // Наука в СССР, 1991, № 2, с. 118–119.

Dolgikh, G.M., 1991. A system of temperature stabilization of building foundations. Nauka v SSSR 2, 118–119. (in Russian)

Железняк М.Н., Сериков С.И., Жижин В.И., Осипов Е.А. Температура горных пород и особенности распространения криолитозоны Эльконского горста // Вестн. СВФУ, Якутск, 2012, № 2, с. 57–65.

Zheleznyak, M.N., Serikov, S.I., Zhizhin, V.I., Osipov, E.A., 2012. The temperature of rocks and the specific features of permafrost occurrence in the Elkon horst. Vestnik SVFU, Yakutsk, No. 2, 57–65. (in Russian)

Каменский Р.М. Теплотехнический расчет льдогрунтовой противофильтрационной завесы плотин с учетом взаимного влияния колонок // Гидротехн. стр-во, 1971, № 4, с. 38–42.

Kamensky, R.M., 1971. The thermotechnical calculation for icy ground cutoff of dams considering mutual influence of rigging. Gidrotekhnicheskoye Stroitelstvo 4, 38–42. (in Russian)

Катасонов Е.М. Литология мерзлых четвертичных отложений (криолитология) Янской приморской низменности / Под ред. Т.Н. Каплиной. М., ПНИИИС, 2009, 176 с.

Katasonov, E.M., 2009. The Lithology of Frozen Quaternary Deposits (Cryolithology) of the Yanskaya Littoral Plain. Edited by T.N. Kaplina. Moscow, Construction Engineering Survey Research and Development Institute, 176 pp. (in Russian)

Кузьмин Г.П. Подземные сооружения в криолитозоне / Г.П. Кузьмин. Новосибирск, Наука, 2002, 176 с.

Kuzmin, G.P., 2002. Underground Structures in the Permafrost Zone. Nauka, Novosibirsk, 176 pp. (in Russian)

Макаров В.И. Термосифоны в северном строительстве / В.И. Макаров. Новосибирск, Наука, 1985, 167 с.

Makarov, V.I., 1985. Thermal Siphons in Northern Construction. Nauka, Novosibirsk, 167 pp. (in Russian)

Мельников В.П. Криогенные геосистемы: проблемы исследования и моделирования / В.П. Мельников, А.Н. Хименков, А.В. Брушков и др. Новосибирск, Академ. изд-во "Гео", 2010, 387 с.

Melnikov, V.P., Khimenkov, A.N., Brushkov, A.N., et al., 2010. Cryogenic Geosystems: the Issues of Investigation and Simulation. Geo Academic Publishing House, Novosibirsk, 387 pp. (in Russian)

Мельников В.П., Геннадиник В.Б. Криософия – система представлений о холодном мире // Криосфера Земли, 2011, т. XV, № 4, с. 3–8.

Melnikov, V.P., Gennadinik, V.B., 2011. Cryosophy: an outlook of the cold world. Earth's Cryosphere, XV (4), 3–8. (in Russian)

Мельников П.И., Бакулин Ф.Г., Карпов Е.Г. и др. Геокриологические условия и способы прокладки магистрального трубопровода Норильск–Мессояха // II Междунар. конф. "Принципы управления криогенными процессами при освоении территории с многолетнемерзлыми породами": Докл. и сообщ. Якутск, 1973, вып. 7, с. 133–142.

Melnikov, V.P., Bakulin, F.G., Karpov, E.G., et al., 1973. Geocryological conditions and methods of lining trunk pipeline Norilsk-Messoyakha, in: Proceedings of the II International Conference Principles of Managing Cryogenic Processes in Developing Territories with Permafrost Soils, reports and presentations, Yakutsk, Issue 7, pp. 133–142. (in Russian)

Мельников П.И., Вялов С.С., Снежко О.В. и др. Свайные фундаменты на многолетнемерзлых грунтах // Докл. Междунар. конф. по мерзлотоведению. М., Изд-во АН СССР, 1963, с. 198–210.

Melnikov, P.I., Vyalov, S.S., Snezhko, O.V., et al., 1963. Pile Foundations Based on Permafrost Soils, in: Proceedings of the International Permafrost Conference. Publishing House of AS USSR, Moscow, pp. 198–210. (in Russian)

Мерзлотно-ландшафтная карта Якутской АССР. М-б 1:2 500 000 / Сост.: А.Н. Федоров, Т.А. Ботулу, И.С. Васильев и др. М., Госгеодезия, 1991, 2 л.

Fedorov, A.N., Botulu, T.A., Vasilyev, I.S., et al., 1991. The Permafrost Terrain Map of Yakut Autonomous Soviet Socialist Republic 1:2 500 000. Gosgeodezia, Moscow, 2 pages. (in Russian)

Низконапорные гидроузлы криолитозоны Якутии: рекомендации по проектированию и строительству / Авт.-сост.: Р.В. Чжан, Г.И. Кузнецов, В.В. Шепелев и др. Якутск, Изд-во ИМЗ СО РАН, 2012, 124 с.

Zhang, R.V., Kuznetsov, G.I., Shepelev, V.V., et al., 2012. Low-pressure Waterworks of the Permafrost Zone of Yakutia: Guidelines for Design and Establishment. Publishing House of Melnikov Permafrost Institute, SB RAS. Yakutsk, 124 pp. (in Russian)

Основы геокриологии. Ч. 5. Инженерная геокриология / Под ред. Э.Д. Ершова. М., Изд-во Моск. ун-та, 1999, 526 с.

Ershov, E.D. (Ed.), 1999. Fundamentals of Geocryology. Part 5. Engineering Geocryology. Moscow University Publishing House, Moscow, 526 pp. (in Russian)

Павлов А.В. Теплофизика ландшафтов / А.В. Павлов. Новосибирск, Наука, 1979, 285 с.

Pavlov, A.V., 1979. The Thermal Physics of Terrains. Nauka, Novosibirsk, 285 pp. (in Russian)

Павлов А.В. Современные изменения климата на севере России / А.В. Павлов, Г.В. Малкова. Новосибирск, Академ. изд-во "Гео", 2005, 55 с.

Pavlov, A.V., Malkova, G.V., 2005. Modern Climate Changes in the North of Russia. Geo Academic Publishing House, Novosibirsk, 55 pp. (in Russian)

Растегаев И.К. Свайное фундаментостроение в криолитозоне / И.К. Растегаев, Д.С. Бакшеев, Р.М. Каменский. Новосибирск, Академ. изд-во "Гео", 2009, 279 с.

Rastegaev, I.K., Baksheev, D.S., Kamensky, R.M., 2009. Pile Foundations in the Permafrost Zone. Geo Academic Publishing House, Novosibirsk, 279 pp. (in Russian)

Рекомендации по проектированию и устройству поверхностных вентилируемых фундаментов на подсыпке в районах вечной мерзлоты / Авт.-сост.: Ю.М. Гончаров, А.П. Попович. Якутск, Изд-во ИМЗ СО РАН, 2012а, 60 с.

Goncharov, Yu.M., Popovich, A.P., 2012a. Guidelines on Designing and Establishing Overground Ventilated Pad Foundations in Permafrost Regions. Publishing House of Melnikov Permafrost Institute, SB RAS, Yakutsk, 60 pp. (in Russian)

Рекомендации по проектированию и устройству свайных фундаментов зданий и сооружений на оттаивающих и талых грунтах Магаданской области / Авт.-сост.: В.П. Власов, С.А. Гулый, Р.В. Чжан. Якутск, Изд-во ИМЗ СО РАН, 2012б, 64 с.

Vlasov, V.P., Guly, S.A., Zhang, R.V., 2012b. Guidelines on Designing and Establishing Pile Foundations of Buildings and Structures on Thawing and Thawed Grounds of the Magadan Region. Publishing House of Melnikov Permafrost Institute, SB RAS, Yakutsk, 64 pp. (in Russian)

Романовский Н.Н. Основы криогенеза литосферы / Н.Н. Романовский. М., Изд-во Моск. ун-та, 1993, 336 с.

Romanovsky, N.N., 1993. The Basics of Lithospheric Cryogenesis, Moscow University Publishing House, Moscow, 336 pp. (in Russian)

Сальников П.И. Временные рекомендации по проектированию и устройству буронабивных свай на оттаивающих вечномерзлых грунтах в г. Чите / П.И. Сальников, В.В. Торгашев. Якутск, ИМЗ СО АН СССР, 1988, 32 с.

Salnikov, P.I., Torgashev, V.V., 1988. Temporary Guidelines on Designing and Establishing Auger Piles on Thawing Permafrost Soils in Chita. Publishing House of Melnikov Permafrost Institute, SB RAS, Yakutsk, 32 pp. (in Russian)

Сборник инструкций по строительству оснований и фундаментов зданий и сооружений в Норильском промышленном районе. Норильск, КМЛ ГНМК, 1997, 358 с.

Collected Instructions on Construction of Bases and Foundations of Buildings and Structures in the Norilsk Industrial District, 1997. Norilsk, KML of the Norilsk Mining Plant, 358 pp. (in Russian)

Соловьев П.А. Шахта Шергина (прошлое и настоящее) / П.А. Соловьев, М.М. Шац. Якутск, Изд-во ИМЗ СО РАН, 2012, 20 с.

Solovyev, P.A., Shats, M.M., 2012. Shergin's Mine (the Past and the Present). Publishing House of Melnikov Permafrost Institute, SB RAS, Yakutsk, 20 pp. (in Russian)

Способ многолетнего хранения семян растений с использованием вечного холода толщи вечномерзлых горных пород: пат. 2391810 Рос. Федерация / Кершенгольц Б.М., Журавская А.Н., Иванов Б.И., Чжан Р.В., Филиппов Г.В., Шамшурин М.М., Хлебный Е.С., Ремигайло П.А., Кузьмин Г.П.; патентообладатель Ин-т биол. пробл. криолитозоны СО РАН. – № 2008112068; заявл. 28.03.2008; опубл. 20.04.2010; Бюл. № 11.

Kershengolts, B.M., Zhuravskaya, A.N., Ivanov, B.I., Zhang, R.V., Filippov, G.V., Shamshurin, M.M., Khlebny, E.S., Remigailo, P.A., Kuzmin, G.P., 2010. A method of many years' storage of plant seeds in permafrost: patent 2391810, Russian Federation. Patent holder: Institute of Biological Issues of the Permafrost Zone, SB RAS, # 2008112068; claimed 28.03.2008; published 20.04.2010; bulletin # 11.

Сумгин М.И. Вечная мерзлота почвы в пределах СССР / М.И. Сумгин. Владивосток, Изд. Дальневосточной геофизической обсерватории, 1927, 445 с.

Sumgin, M.I., 1927. Permafrost of Soil in the USSR. Vladivostok, Far Eastern Geophysical Observatory, 445 pp. (in Russian)

Устройство для стабилизации температуры в закрытых помещениях: пат. РФ на полезную модель № 112219 / Кузьмин Г.П., Чжан Р.В., Ремизов В.А., Панин В.Н., Вахрин И.С.; патентообладатель Ин-т мерзлотоведения СО РАН. – № 2011133062; заявл. 21.07.2011; опубл. 10.01.2012а; Бюл. № 1.

Kuzmin, G.P., Zhang, R.V., Remizov, V.A., Panin, V.N., Vakhrin, I.S., 2012a. A device for temperature stabilization in closed premises, a RF patent # 112219 for a useful model. Patent holder: Permafrost Institute, SB RAS, # 2011133062; claimed 21.07.2011; published 10.01.2012; bulletin # 1.

Устройство для охлаждения вечномерзлых грунтов: пат. РФ на полезную модель № 112219 / Кузьмин Г.П., Чжан Р.В., Яковлев А.В.; патентообладатель Ин-т мерзлотоведения СО РАН. – № 2011146997; заявл. 18.11.2011; опубл. 10.09.2012б; Бюл. № 25.

Kuzmin, G.P., Zhang, R.V., Yakovlev, A.V., 2012b. A device for cooling permafrost ground: a RF patent of RF a useful model # 112219 / Patent holder: Permafrost Institute, SB RAS, # 2011146997; claimed 18.11.2011; published 10.09.2012; bulletin # 25.

Федоров А.Н., Иванова Р.Н., Пак Х. и др. Современные изменения климата в мерзлотных ландшафтах Северо-Востока Евразии // Влияние изменений климата на природные процессы криолитозоны: Вопросы географии Якутии. Якутск, СМИК-МАСТЕР, 2013, вып. 11, с. 23–37.

Fedorov, A.N., Ivanova, R.N., Pak, H., et al., 2013. Modern climate changes in permafrost regions of northeastern Eurasia, in: The impact of climate changes on the natural processes in the permafrost zone: Voprosy Geografii Yakutii, Yakutsk, SMIK-MASTER, Issue 11, pp. 23–37. (in Russian)

Хрусталев Л.Н., Пустовойт Г.П. Расчет температуры вечномерзлого грунта, охлаждаемого горизонтальными термосифонами малого диаметра // Основания, фундаменты и механика грунтов, 1995, № 5, с. 22–25.

Khrustalev, L.N., Pustovoit, G.P., 1995. Calculation of the temperature of permafrost soil cooled by horizontally placed thermal siphons of a small diameter. Osnovaniya, Fundamenty i Mekhanika Gruntov, No. 5, 22–25. (in Russian)

Цытович Н.А. Механика мерзлых грунтов / Н.А. Цытович. М., Высш. шк., 1973, 445 с.

Tsytovich, N.A., 1973. Mechanics of Frozen Soils. Vysshaya Shkola, Moscow, 445 pp. (in Russian)

Чжан Р.В. Температурный режим и устойчивость низконапорных гидроузлов в криолитозоне / Р.В. Чжан. Якутск, Изд-во ИМЗ СО РАН, 2002, 208 с.

Zhang, R.V., 2002. The Temperature Regime and Stability of Low-pressure Waterworks in the Permafrost Zone. Publishing House of Melnikov Permafrost Institute, SB RAS, Yakutsk, 208 pp. (in Russian)

Чжан Р.В., Спектор В.Б., Алексеева О.И. и др. Инженерно-геологическая карта РС(Я) и прилегающих территорий масштаба 1:2 500 000 // Материалы IX Междунар. симп. "Проблемы инженерного мерзлотоведения" (Мирный, 3–7 сент. 2011 г.). Якутск, Изд-во ИМЗ СО РАН, 2011, с. 19–24.

Zhang, R.V., Spektor, V.B., Alexeeva, O.I., et al., 2011. The geological engineering map of SR (Yakutia) and of the adjourning territories, scale 1:2 500 000, in: Proceedings of the IX International Symposium "Permafrost Engineering Studies" (Mirny, September 3–7, 2011). Publishing House of Melnikov Permafrost Institute, SB RAS, pp. 19–24. (in Russian)

Шепелев В.В., Шац М.М. Геоэкологические проблемы обводнения и подтопления территории г. Якутска // Наука и образование, 2000, № 3, с. 64–68.

Shepelev, V.V., Shats, M.M., 2000. Geo environmental issues of inundation and flooding of the territory of Yakutsk. Nauka i Obrazivanie 3, 64–68. (in Russian)

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, ч. 12, с. 290–297.

Shestakova, A.A., Spektor, V.B., Torgovkin, Ya.B., Spektor, V.V., 2016. Summarized data on the permafrost zone on the engineering and geological map of the Sakha Republic (Yakutia), scale 1:1 500 000, in: Proceedings of the Fifth Conference of Geocryologists (Moscow, June 14–17, 2016). Univ. Kniga, Moscow, vol. 3, part 12, pp. 290–297. (in Russian)

Шестернев Д.М. Организационные и методические основы технического контроля инженерных изысканий при проектировании трубопроводов в криолитозоне // Материалы Междунар. конф. "Криогенные ресурсы полярных регионов". Пущино, ОНТИ ПНЦ РАН, 2007, т. 2, с. 329–331.

Shesternev, D.M., 2007. Organizational and methodological foundations of technological control of engineering survey in engineering pipelines in the permafrost zone, in: Proceedings of the International Conference "Cryogenic resources of Polar Regions". Pushchino, ONTI PNZ RAN, vol. 2, pp. 329–331. (in Russian)

Шестернев Д.М. Основные принципы организации геокриологического мониторинга линейных сооружений (на примере железной дороги Беркакит–Томмот–Якутск) // Материалы IX Междунар. симп. "Проблемы инженерного мерзлотоведения" (Мирный, 3–7 сент. 2011 г.). Якутск, Изд-во ИМЗ СО РАН, 2011, с. 252–260.

Shesternev, D.M., 2011. The main principles of organizing geocryological monitoring of line structures (with the example of the Berkakit-Tommot-Yakutsk railway), in: Proceedings of the IX International Symposium "Permafrost Engineering Studies" (Mirny, September 3–7, 2011). Publishing House of Melnikov Permafrost Institute, SB RAS, Yakutsk, pp. 252–260. (in Russian)

Zhang, R.V. Temperature Regime and Stability of Smaii Dams, Spillways and Canals in Permafrost, Russia. Harbin, Heilongjiang People's Publ. House, 2012, 200 p.

Поступила в редакцию
20 октября 2015 г.