

ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ НИЗКО- И СРЕДНЕНАПОРНЫХ ГРУНТОВЫХ ПЛОТИН В КРИОЛИТОЗОНЕ В СВЯЗИ С ИЗМЕНЕНИЕМ КЛИМАТА

Чжан Р.В.

Главный научный сотрудник, д.т.н., Институт мерзлотоведения им П.И. Мельникова Сибирского отделения Российской академии наук, 677010, Якутск, ул. Мерзлотная, 36, Россия; zhang@mpi.ysn.ru.

Потепление климата на земле во второй половине прошлого столетия продолжается и в настоящий период. В этой связи повышается риск природопользования, особенно на территории распространения многолетнемерзлых пород, которые занимают более 65 % России. На этом фоне в особом положении оказались гидротехнические сооружения, расположенные в этих регионах. Они испытывают не только общеклиматический, но и техногенный прессинг, обусловленный дополнительными водно-тепловыми нагрузками от водохранилищ. Дано понятие геокриологического мониторинга гидроузлов в криолитозоне и обосновано его проведение в связи с изменением климата. Приведена методика, состав и организация геокриологического мониторинга на средне- и низконапорных гидроузлах, учитывающие специфику Крайнего Севера и сложные инженерно-геологические, гидрогеологические и мерзлотные условия.

Ключевые слова: криолитозона, гидроузел, грунтовая плотина, мёрзлый грунт, климат, природно-техническая система, статическая устойчивость.

GEOCRIOLOGICAL MONITORING OF LOW- AND MEDIUM-HEAD EMBANKMENT DAMS ON PERMAFROST IN VIEW OF CLIMATIC CHANGE

Zhang R.V.

Melnikov Permafrost Institute SB RAS, Merzlotnaya St. 36, Yakutsk, Russia; zhang@mpi.ysn.ru

Global climate warming which began in the second half of the twentieth century is continuing. It is associated with increased risks for nature management, especially in permafrost areas comprising over 65% of Russia. Of special concern are hydroengineering structures located on permafrost. They are subject not only to climatic, but also to technogenic pressure caused by additional hydrothermal loads from water reservoirs. This article presents the concept of geocryological monitoring of hydroengineering structures and substantiates its necessity in view of climatic change. It also presents the methods, scope and implementation of geocryological monitoring at medium- and low-head engineering structures, considering the specific nature of Far Northern areas, as well as the complicated geotechnical, hydrogeological and permafrost conditions.

Keywords: Permafrost, hydroengineering complex, embankment dam, climate, frozen ground, geotechnical system, structural stability.

Современное изменение климата, которое началось во второй половине прошлого столетия, свершившийся факт – потепление произошло и продолжается [5]. Хотя есть работы, которые на основе частотно-амплитудного анализа изменения температуры воздуха и фактических наблюдений показывают, что темпы потепления в последнее время резко снизились. Так, на территории Европейского Севера России, северо-востоке Канады, в восточных районах Монголии наметилась тенденция даже к похолоданию [4,10]. Аналогичные ситуации на Земле происходили не один раз. В основе изменения климата лежат так называемые климатические циклы, близкие к циклам солнечной активности, а также орбитальные и планетарные причины, обусловленные расположением Земли и других планет солнечной системы относительно Солнца при их вращении. В качестве иллюстрации

приведем только одну таблицу, показывающую региональное потепление современного климата на территории криолитозоны России [7].

Таблица

Повышение среднегодовой температуры воздуха ($^{\circ}\text{C}$) и ее тренды в северных регионах России за 1965–2005 гг.

Регион	Повышение $t_{\text{вз}}$, $^{\circ}\text{C}$		Тренд $t_{\text{вз}}$, $^{\circ}\text{C}/\text{год}$	
	пределы изменений	средние региональные значения	пределы изменений	средние региональные значения
Европейский Север	0,7 – 2,0	1,3	0,018 – 0,050	0,033
Западная Сибирь	0,8 – 2,4	1,9	0,023 – 0,061	0,047
Средняя Сибирь	0,9 – 2,4	2,1	0,023 – 0,070	0,050
Юг Сибири	2,1 – 3,4	2,4	0,058 – 0,085	0,066
Северная Якутия	0,6 – 2,2	1,3	0,015 – 0,055	0,033
Центральная и Южная Якутия, Забайкалье	1,2 – 2,6	1,7	0,029 – 0,065	0,042
Северо-Восток России	1,2 – 1,8	1,3	0,030 – 0,046	0,034
Дальний Восток	1,0 – 1,6	1,6	0,026 – 0,060	0,044
Север России в целом	0,6 – 3,4	1,2	0,015 – 0,085	0,040

Рассматривая проблему климата в целом, мерзловеды с помощью натуральных наблюдений на стационарах, расположенных в различных частях криолитозоны России, исследовали реакцию многолетнемерзлых пород на потепление. Оказалось, что мерзлота в разных регионах, даже в пределах небольшой территории, неодинаково реагирует на климатические изменения. Есть случаи, когда присутствуют одновременно процессы двух направлений, например, величина сезонного протаивания увеличивалась, а рядом – уменьшалась. Климатические изменения сказались и на изменении температуры в слое годовых теплооборотов. Так, на Западном Ямале они изменялись в пределах от 0,1 до 1 $^{\circ}\text{C}$, а в пригороде города Якутска в отдельные летние месяцы изменения составляли 1 – 1,5 $^{\circ}\text{C}$, хотя в среднем за сезон отклонения были близки к нулю. Что касается изменения температур на более глубоких горизонтах, то измерения на Ямале показали, что они достигали глубины 80–110 м [7].

Итак, современное потепление климата вызвало в среднем, хотя и небольшое, повышение температуры верхних слоев литосферы, но в отдельные годы они достигали довольно существенных величин и могут способствовать, в сочетании с другими процессами, началу деградации мерзлоты со всеми вытекающими из этого последствиями.

В условиях распространения многолетнемерзлых грунтов каждая плотина по своей сути является уникальной. Их конструкции и условия работы могут быть сходными, но

никогда не бывают одинаковыми. Поэтому организация наблюдений за работой сооружений должна носить исследовательский характер и не сводиться только к комплексу стандартных наблюдений. В силу существующих особенностей конструктивного и эксплуатационного характера гидротехнических сооружений в криолитозоне нуждаются в особом подходе к организации натурных наблюдений, исследований и оценке их состояния. Достаточно сказать, что процесс формирования тепловлажностного режима сооружений растягивается на долгие годы. При этом изменяется схема статической работы сооружения и его основания, коренным образом изменяется фильтрационный режим, изменяются и другие параметры [21].

Таким образом, гидроузлы в криолитозоне представляют собой сложные природно-технические системы, включающие криогенные образования в теле и основании плотин и имеющие огромные дополнительные источники тепла в виде воды в водохранилищах. Поэтому геокриологический мониторинг на них не только необходим, но и должен вестись на этапах проектирования, строительства и эксплуатации.

Геокриологический мониторинг гидротехнических сооружений

Геокриологический мониторинг природных и природно-технических систем является составной частью мониторинга криолитозоны, которая в свою очередь входит в мониторинг геологической среды в целом. *Геокриологический мониторинг* – это система наблюдений за инженерно-геокриологическими процессами в природно-технических системах, которая включает комплекс специальных режимных наблюдений, на основе которых определяется состояние сооружений и делается прогноз развития процессов, определяющих их устойчивость и прилегающих к ним территорий.

Эта система должна включать следующие блоки: блок наблюдений; блок сбора, обработки, анализа, оценки и хранения информации; блок прогноза и разработки мероприятий по управлению процессами, обеспечивающих устойчивость гидроузла.

При проектировании системы измерительного комплекса и организации контрольных наблюдений следует руководствоваться нормативными и руководящими документами [12], [16].

В криолитозоне мониторинг на гидротехнических сооружениях и прилегающей к гидроузлам территории проводится под углом зрения влияния криогенных и посткриогенных явлений, как доминирующих факторов, влияющих на устойчивость всего природно-технического комплекса. Мониторинговые работы проводят в четыре этапа: предпроектный, проектный, строительный и эксплуатационный [2].

На этапе «ПРЕДПРОЕКТНАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ» – определяет необходимость постановки геокриологического мониторинга, устанавливает структуру и виды наблюдений,

назначаются технические требования к необходимым приборам и оборудованию. Проводится ландшафтно-геокриологическая съемка строительной площадки гидроузла и прилегающей к нему территории. Она включает в себя крупномасштабные карты, планы и профили. Эти работы представляются в виде графического и текстового материала по требованиям ГОСТа с обязательным отражением антропогенных изменений окружающей природной среды и схем рекультивации нарушенных земель. Составляется научно-технический отчет.

На этапе «ПРОЕКТ» – на основе ландшафтно-геокриологической съёмки, сделанной на стадии инженерных изысканий, конструктивных особенностей гидротехнических сооружений назначаются мониторинговые площадки и обосновывается обустройство их КИА. Составляется «Технический проект геокриологического мониторинга», уточняется геокриологическая обстановка на объекте, оборудуются площадки натурных наблюдений. Технический проект включает в себя следующие позиции: назначение и обоснование выбора видов наблюдений; определение и указание конкретных мест наблюдений, содержание выполняемых работ, описание методики производства режимных наблюдений; назначение приборов и оборудования; формы регистрации первичных данных; календарный план работ; программное обеспечение для электронных носителей информации; технические схемы по производству ликвидаций опасных ситуаций, включая криогенного характера; определение состава исполнителей; технико-экономическое обоснование мониторинговых работ; сметную стоимость работ.

На этапе «СТРОИТЕЛЬНЫЙ» производится оборудование площадок наблюдений, начиная с момента инженерной подготовки территории. В это время выполняются следующие виды работ: бурение и оборудование геотермических и пьезометрических скважин, установка мерзлотомеров, пучиномеров, пьезометров; устройство геодезической сети; оборудование площадок для изучения процессов криогенной дезинтеграции материала сооружений и в естественных условиях; оборудование сети снегомерных и наледных наблюдений на гидроузле, прилегающей территории; наблюдений за уречным и ледовым режимами на водохранилище.

На этапе «ЭКСПЛУАТАЦИИ ГИДРОУЗЛА» проводятся регулярные наблюдения и исследования на объекте и прилегающей территории по программе, разработанной в «Техническом проекте геокриологического мониторинга».

Состав, методика и организация геокриологического мониторинга

Состав, объемы и сроки проведения наблюдений, а также количество контрольно-измерительной аппаратуры (КИА) зависят от класса сооружений, его конструкции и размеров, инженерно-геологических и мерзлотных условий основания. В состав этих

наблюдений должны входить [20]: контроль за геокриологической и гидрогеологической обстановкой прилегающей к гидроузлу территории; контроль за рекультивацией нарушенных земель непосредственно на строительной площадке и в карьере; геотермические наблюдения за формированием температурного режима плотины, ее основания, береговых примыканий, зон сопряжения с водосбросом, берегов и ложа водохранилища; фильтрационные – в теле и основании плотины, вокруг водосбросов, в береговых примыканиях плотины; гидротермические – в приплотинной зоне водохранилища, включая поверхность подводного откоса и береговых склонов на участке примыкания к ним плотин; гидрогеологические – режим надмерзлотных вод в слое сезонного оттаивания и грунтовых вод подрусовых таликов в зонах водохранилища, сооружений гидроузла и их примыканий к берегам; контроль за сезонным промерзанием-протаиванием гребня и низового откоса плотины; геодезические – за осадками тела плотины и водосбросов, переработкой берегов; контроль за ландшафтно-геокриологическим состоянием прилегающей территории гидроузла; контроль за снегоотложением; контроль за наледообразованием; контроль за химическим составом воды в водохранилище и в нижнем бьефе; контроль за пучением и осадками тела и основания плотины, водосбросных сооружений; контроль за криогенной дезинтеграции грунтов и горных пород; контроль за устойчивостью сооружений гидроузла (зданий, замораживающих систем, дренажей, опор линий электропередач и связи, грунтовых каналов и др.).

Температурными наблюдениями в период возведения сооружения и в процессе эксплуатации должны быть установлены параметры следующих важнейших процессов, определяющих устойчивость сооружения: термического и ледового режимов водохранилища его ложа с захватом береговых санитарных зон на глубину теплового влияния; гидрологического режима водохранилища; динамики формирования температурно-влажностного режима плотины и его основания; локальных особенностей температурного режима в зоне естественного подрусового талика, водосбросных и водозаборных сооружений, а также на участках створа с неблагоприятными мерзлотно-грунтовыми условиями (например, при наличии естественных проявлений термокарста, солифлюкции, наледей, морозного пучения и трещинообразования); динамики сезонного промерзания-протаивания грунтов тела и основания плотины, береговых примыканий; развития криогенных явлений.

Места расположения термометрических скважин назначаются из следующих соображений: термостворы следует располагать в местах предполагаемой аварийной локальной фильтрации, приводящей к деградации мерзлоты в теле и основании плотины, а также в пределах естественных таликов, сохраняющихся в основании промороженного

массива со стороны низовой упорной призмы; в теле плотины должно быть оборудовано как минимум три створа: в наиболее высокой русловой части плотины и по бортам, на участках береговых примыканий плотины. Глубина и расположение в плане скважин назначать с учетом мерзлотно-геологического строения основания и по данным расчета прогноза температурного режима сооружения. Каждый пункт должен состоять из сблокированных систем наблюдений – термоскважины и пьезометра, чтобы можно было проверить правильность измерений температуры и уровней воды, сопоставляя эти параметры; в теле плотины с мерзлотной завесой скважины назначать между СОУ и по створу, перпендикулярному продольной оси плотины; на верховом откосе рекомендуется устройство незатопляемой бермы-шпоры для установки термоскважины, позволяющей контролировать оттаивание основания под верховым откосом перед мерзлотной завесой; на водосбросе должны располагаться на флютбете: в понурной части перед шпунтом, в центре водобоя, в конце водобоя за шпунтом и на рисберме, желательно, чтобы термостворы, устраиваемые в ложе водохранилища, были продолжением створов на плотине.

Температурные и пьезометрические наблюдения, а также солевое присутствие следует проводить с помощью установок, изготовленных специализированными организациями. В качестве первичных использовать современные цифровые датчики, оборудованные автономными логгерными устройствами.

Контроль процесса сезонного промерзания-протаивания грунта на гребне, низовом откосе и в береговых примыканиях плотины производят электромерзлотомером. В плотинах талого типа нельзя допускать, чтобы грунтовые противofильтрационные устройства подвергались сезонному промерзанию-протаиванию. Это приводит к разуплотнению противofильтрационных устройств и к возникновению повышенной фильтрации в плотине. Для мёрзлых плотин глубина протаивания в гребне плотины не должна опускаться ниже форсированного уровня воды в верхнем бьефе. Контроль процесса осуществляется по методике изучения процессов сезонного промерзания и протаивания грунтов [18].

Контроль за криогенным пучением и осадками при протаивании как гидротермического показателя движения грунтов ведется с помощью пучино- и осадкомерами, которые закладываются на плотине в строительный период. Наблюдения выполняются по методике ВСЕГИНГЕО [9].

Контроль за термокартом заключается в определении скорости его развития, величины и характера деформаций поверхности. Процесс развития термокарста опасен в береговых примыканиях плотин и водопропускных сооружений, также на склонах речных долин в нижнем бьефе. При изучении термокарстовых процессов использовать методику [9], [14].

Контроль за солифлюкцией осуществляется электрометрическими и механическими способами [15]. В настоящее время разработаны принципиально новые методы определения солифлюкции, основанные на базе цифровых трехосных инклинометров и датчиков температуры. Разработанная модель позволяет на ранних стадиях диагностировать развитие оползней по изменению температурного поля и напряженно-деформированного состояния массива.

Контроль за наледными процессами ведется на плотине и её береговых примыканиях, в нижнем и верхнем бьефах. Особую опасность они представляют на низовом откосе плотин, вдоль водосбросного тракта. При больших объемах наледей вдоль береговой линии водохранилища и в нижнем бьефе русла рек их динамика хорошо отслеживается аэрокосмическими съёмками, с последующей компьютерной обработкой. Непосредственные размеры площади и объёмы наледей фиксируются современными геодезическими приборами. Особое внимание нужно уделять химическому составу наледного льда, по которому судят об его происхождении и оценивают агрессивность наледных вод по отношению к материалам конструкций сооружений. Важным является исследование структуры льда, слоистости наледи, наличие в ней минерального материала. По этим параметрам можно судить о суффозионных процессах в теле и основании плотины. Наблюдения за динамикой наледи проводятся с обязательным температурным контролем её тела и подстилающих грунтов. При выполнении этих наблюдений следует использовать методические пособия [1], [11].

Термоэрозионные и термоабразионные процессы активизируются в теплый период года. Термоэрозионные процессы опасны на плотине, береговых примыканиях и в нижнем бьефе. Термоэрозия возникает в результате действия потоков от интенсивного таяния снега и дождевых вод. Термоэрозия под водопропускными и дренажными сооружениями приводит к суффозионным процессам. Боковая и донная термоэрозия фиксируется по сети вешек геодезическими приборами, с одновременным наблюдением за температурно-влажностным режимом, динамикой сезонного протаивания грунтов. Наблюдения за термоабразией берегов водохранилища также проводятся по сети вешек и марок относительно реперов. Наглядными и информативными являются аэрокосмические съёмки. Прогноз переработки берегов водохранилищ осуществляется по методике ВНИИГ [8], а также по методике, разработанной в Институте мерзлотоведения СО РАН [3]. Помимо этих традиционных методов мониторинга развития эрозионных размывов, провалов и обрушений, в настоящее время широко применяются геофизические методы.

Контроль за морозобойным трещинообразованием является одним из основных мониторинговых наблюдений на гидроузле. В результате сложного термо-напряжённо-

деформированного состояния, возникающего в теле плотины, других сооружениях гидроузла, при взаимодействии его с окружающей средой они подвержены морозобойному растрескиванию. Особенно опасны поперечные трещины в теле плотины и трещины в водопропускных сооружениях, так называемые «трещины отслоения». Если трещины на теле плотины довольно легко обнаруживаются визуально, то трещины отслоения грунта от несущих конструкций устоев водопропусков скрыты и требуют специальной закладной аппаратуры, устанавливаемой в период строительства. Опасным является морозобойное растрескивание грунтовых противофильтрационных устройств плотины (экрана, ядра). Параметры трещин регистрируют механическим способом по методике ВСЕГИНГЕО [9]. Данный вид деформаций сооружения хорошо диагностируется геофизическими методами. Прогноз морозобойного растрескивания грунтовых плотин производится по методике С.Е. Гречищева [6], [21]. *Контроль за криогенной дезинтеграцией* горных пород и грунтов тела плотины – новый вид мониторинга, который рекомендуется включить в программу наблюдений на гидроузлах. Этот вид криогенного явления очень важен для сооружения, так как он приводит к изменению механического состава пород и, как следствие, их теплофизических свойств, влияющих на тепловое состояние тела и основания плотин. Криогенной дезинтеграции подвержены упорные призмы плотин, отсыпанные из каменной наброски. Образовавшийся в результате этого процесса мелкозём заполняет пространство между камнями. Следует различать дезинтеграцию поверхностную, происходящую под влиянием внешних климатических факторов и по глубине сезоннопромерзающего – протаивающего слоя, развивающейся в основном за счет фазовых переходов влаги и гидрохимических процессов. Основным методом изучения криогенной дезинтеграции пород и грунтов является визуальные наблюдения в натуральных условиях и лабораторные исследования гранулометрического состава [18]. Глубина дезинтеграции пород и грунтов определяется бурением и проходкой шурфов. Рекомендуются также применять геофизические методы.

В течение года следует выполнять следующие контрольные циклы измерения температуры: первый (весенний) – до паводка и после освобождения водохранилища от льда; второй (летний) – после установки устойчивых положительных температур наружного воздуха; третий (осенний) – в период ледостава; четвертый (зимний) – с декабря по март месяцы.

К предельно допустимым параметрам, регламентируемым проектом и определяющим надежную работу сооружений мерзлого типа, следует относить: минимальную толщину мерзлотных завес – среднюю и в плоскости смыкания цилиндров мерзлого грунта (на середине расстояния между двумя соседними термосифонами); максимальную глубину

оттаивания вечномерзлого основания под верховым клином плотины перед мерзлотной завесой; температуру и скорость естественного промерзания талика под низовым клином плотины за мерзлотной завесой; максимальную глубину сезонного оттаивания грунтов на гребне, откосах и в береговых примыканиях плотины; среднемесячные температуры грунта на контакте с внешними контурами подземных элементов замораживающей системы, образующих мерзлотную завесу в теле, основании и береговых примыканиях плотины, а также в зоне ее сопряжений с водосбросом; уровни воды в пьезометрах, оборудованными автономными регистраторами, расположенных перед мерзлотной завесой и за ней; температуру подводной части поверхности верхового откоса и дна водохранилища перед плотиной; температуру грунта в подрусловом талике перед мерзлотной завесой; календарный график работы замораживающих систем (начало и окончание зимнего цикла, остановки); температурное поле вечномерзлого основания в пределах прогнозируемой зоны теплового влияния водохранилища и на границах этой зоны.

На все виды наблюдений должна быть составлена Инструкция, являющаяся приложением к техническому паспорту гидроузла и уточняемая ежегодно с учетом фактического состояния сооружений и результатов наблюдений. Наблюдения, обработка и анализ данных желательны проводить с помощью специализированных организаций и не менее двух раз в году, сопоставляя их с проектными.

В системе КИА использовать геофизические приборы и оборудование как наиболее эффективное средство исследования криогенных формирований и фильтрационных процессов. Геофизические методы исследований в гидротехническом строительстве регламентированы нормативным документом [13]. Сложные природно-климатические условия, в которых эксплуатируются гидроузлы, обязывают применять современные системы оперативного контроля и обработки полученной информации. По мнению специалистов Института «Якутнпроалмаз», для этих целей наиболее подходят автоматизированные системы дистанционного мониторинга (АСДМ), разработанные Московским Центром исследований экстремальных ситуаций (ЦИЭС), которые прошли проверку и адаптацию на объектах АК «Алроса». Система работает в суровых условиях (длительные зимы с низкими температурами воздуха, агрессивные воды, затрудненный доступ к объектам и др.) в автоматическом режиме (допускает и ручную съёмку), производит сбор и обработку считываемой информации в любом временном диапазоне, с помощью логгеров в режиме реального времени или с заданной периодичностью. Кроме этого, система позволяет съём информации либо по высокоскоростной кабельной системе, либо с помощью мобильной радиосвязи.

В настоящее время существуют более совершенные системы, с использованием спутниковой связи ГЛОНАС типа «Геолинк», но они очень дорогие. В институтах ЯНЦ СО РАН (ИКФИА и ИМЗ) на стадии доработки находятся системы такого же класса, но более дешевые. Первые образцы проходят апробацию в полевых условиях.

Заключение

Мониторинг гидротехнических сооружений в условиях криолитозоны приобретает исключительное значение. Как показала практика, нередко сооружения, запроектированные и построенные по первому принципу, в которых статическая и фильтрационная устойчивость обеспечивалась мёрзлыми грунтами, по разным причинам переходят в талое состояние, когда их устойчивость обеспечивается уже талыми грунтами. Безусловно, проблема очень сложная, требующая специальных исследований. Например, какова роль водохранилища в этом процессе на фоне изменения климата, роль криогенных процессов в изменении общей геологической, геокриологической обстановки данной природно-технической системы и другие. Сделаны выводы о том, что многолетние мерзлые породы в высоких и средних широтах криолитозоны не так уж интенсивно реагируют на изменение климата, не относятся к южной границе их распространения, а оценка их геокриологических параметров относится к *естественным* условиям.

Поэтому совершенно очевидно, что геокриологический мониторинг на гидроузлах в криолитозоне необходим, ибо только с помощью этой системы можно отслеживать направление процессов, делать прогноз их развития и вовремя принимать эффективные меры по обеспечению устойчивости этих сложных природно-технических систем.

Вместе с тем не следует связывать потерю устойчивости природно-технических комплексов, где имеют место ошибки проектно-строительных работ, а также недопустимый низкий эксплуатационный уровень, с потеплением климата.

Список литературы

1. Алексеев В.Р., Соколов Б.Л. Полевые исследования наледей. – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – 152 с.
2. Алексеев В.Р., Каменский Р.М., Самохин А.В. Геокриологический мониторинг на железнодорожном транспорте. – Иркутск: ИГ СО РАН, 1999. – 53 с.
3. Арэ Ф.Э. Основы прогноза термоабразии берегов. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1985. – 172 с.

4. Балобаев В.Т., Скачков Ю.Б., Шендр Н.И. Прогноз изменения климата и мощности мёрзлых пород центральной Якутии до 2200 года.// География и природные ресурсы. – Новосибирск: Наука, 2009. – № 2. – С.50-56.
5. Всероссийская конференция «Изменение климата в XXI веке: современные тенденции, прогностические сценарии и оценка последствий». – СПб.: ИНЕНКО, 2005. – 47 с.
6. Гречишев С.Е. Методические рекомендации по прогнозу морозобойного растрескивания грунтов. – М., 1972. – 38 с.
7. Мельников В.П., Павлов А.В., Малкова Г.В. Геокриологические последствия современных изменений глобального климата // География и природные ресурсы. – 2007. – № 3. – С. 19–27.
8. Методические рекомендации по прогнозированию переформирования берегов водохранилищ / П – 30-75. – Л.: ВНИИГ им. Б.Е.Веденеева, 1975. – 64 с.
9. Методические рекомендации по стационарному изучению криогенных физико-геологических процессов. – М.: ВСЕГИНГЕО, 1979. – 72 с.
10. Павлов А.В., Малкова Г.В. Современные изменения климата на севере России. – Новосибирск: Изд-во «Гео», 2005. – 55 с.
11. Пигузова В.М., Шепелёв В.В. Методика изучения наледей. – Якутск: Изд-во ИМЗ СО АН СССР, 1975. – 62 с.
12. СНиП 2.06.05-84*. Плотины из грунтовых материалов. – М.,1991. – 49 с.
13. СТО 17330282.27.140.003-2008. Стандарт организации ОАО РАО «ЕЭС России» Гидротехнические сооружения ГЭС и ГАЭС. Организация эксплуатации и технического обслуживания. Нормы и требования. Приказ от 13.03.2008, № 106.
14. Рекомендации по методике изучения термокарстовых процессов при инженерных изысканиях в области многолетнемёрзлых горных пород. – М.: Изд-во ПНИИС Госстроя СССР, 1969. – 38 с.
15. Рекомендации по методике изучения солифлюкционных процессов при инженерных изысканиях. – М.: Изд-во ПНИИС Госстроя СССР, 1969. – 40 с.
16. Рекомендации по проектированию и строительству плотин из грунтовых материалов для производственного и питьевого водоснабжения в условиях крайнего севера и вечной мерзлоты. – М.: НИИ ВОДГЕО, Стройиздат, 1976. – 112 с.
17. Рекомендации по методике изучения процессов сезонного промерзания и протаивания грунтов. – М.: Стройиздат, 1986. – 48 с.
18. Рекомендации по изучению морозного выветривания на состояние и механические свойства скальных пород. – Л.: ВНИИГ, 1989. – 66 с.

19. Фёдоров А.Н., Торговкин Я.И. Опыт картографирования мерзлотных ландшафтов с применением ГТС на примере бассейна р. Лены // Теория и практика оценки состояния криосферы Земли и прогноз её изменений. Материалы. Т. 2. – Тюмень, 2006. – С. 60-62.
20. Чжан Р.В. К вопросу о мониторинге на низконапорных гидроузлах в криолитозоне // Труды Международной конференции «Геотехника, оценка состояния оснований и сооружений». – СПб., 2001. – С. 108–116.
21. Чжан Р.В. Температурный режим и устойчивость низконапорных гидроузлов и грунтовых каналов в криолитозоне. – Якутск: Изд-во ИМЗ СО РАН, 2002. – 207 с.

Рецензенты:

Шестернёв Д.М., д.т.н., с.н.с., заведующий лабораторией инженерной геокриологии, Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, г. Якутск.

Кузьмин Г.П., д.т.н., с.н.с., г.н.с., лаборатория инженерной геокриологии, Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, г. Якутск.