Проблемы гидротехнических сооружений, построенных на мерзлых грунтах в условиях потепления климата в Центральной Якутии

Лоскин М.И.¹, Готовцев С.П.², Сыромятников И.И.².

Аннотация. *Приведены результаты обследования гидроузлов Центральной Якутии. В результате глобального потепления климата практически во всех гидроузлах активизировались криогенные процессы. Особенно большие изменения наблюдаются на низконапорных гидроузлах, построенных в районах распространения пород ледового комплекса. Делается вывод, что по характеру повреждений криогенного характера в основном подтверждены зоны примыкания плотин к коренному берегу.*

Даны рекомендации по дальнейшей безопасной эксплуатации гидротехнических сооружений Центральной Якутии.

Ключевые слова: *плотина, водохранилище, уровеньный регулятор, геокриологические условия, многолетнемерзлые породы, ледовый комплекс.*

Problems with the hydro projects on permafrost in Central Yakutia under a changing climate

M.I. Loskin¹, S.P. Gotovtsev², I.I. Syromyatnikov²

Abstract. *This article presents the results of a survey performed in Central Yakutia to assess the condition of hydro projects. The survey has shown enhanced*

¹ ГБУ «Управление по мелиорации земель и сельскохозяйственному водоснабжению» Министерства сельского хозяйства и продовольственной политики Республики Саха (Якутия).

² Института мерзлотоведения им.П.И.Мельникова СО РАН.

¹ Department of Land Reclamation and Agricultural Water Supply, Republic of Sakha (Yakutia) Ministry of Agriculture and Food Policy

² Melnikov Permafrost Institute SB RAS

development of frost-related processes at nearly all the hydro projects as a result of global climate change. Small dams constructed on ice-rich permafrost are experiencing the most significant changes. Dam abutments have been found to be most susceptible to permafrost-related damage. Recommendations are given for safe operation and maintenance of the dams and other hydro projects in Central Yakutia.

Keywords: *dam, reservoir, headgate, geocryological conditions, permafrost, ice complex.*

1. Состояние вопроса.

Согласно составленным климатическим моделям, в середине XXI века средняя температура Земли может повыситься от 1,1 до 6,4°C [1]. В Центральной Якутии этот показатель за последние 20 лет уже выросла более чем на 2,5°C [2]. Изменившиеся климатические условия начали воздействовать на основания фундаментов инженерных сооружений, а также влиять на надежность и прочность плотин гидроузлов (ГТС) построенных на многолетнемерзлых грунтах.

Вопросам безопасности гидротехнических сооружений, построенных на мерзлых грунтах, уделяли много внимания [3, 4, 5, 6, 7]. Плотины большинства гидроузлов Якутии низконапорные, поэтому по критериям опасности они относятся к IV классу, т.е. - низкой. Тем не менее, из-за близкого расположения к населенным пунктам и по каскадному расположению, они всегда представляют большие техногенные риски.

Одним из районов, где массово сооружены такие гидроузлы, является Лено-Амгинское междуречье, которое исторически является местом постоянного проживания коренного населения Якутии. Данная территория по характеру климата и орогидрографии не обеспечена достаточным количеством воды хозяйственно-питьевого назначения. Здесь, начиная с 50-х годов

прошлого века, проблему нехватки воды начали решать регулировкой стока мелких рек путем строительства земляных дамб и плотин, которые строились хозяйственным способом без утвержденного проекта.

При этом обычно применялся I принцип строительства, т.е. сохранение грунтов основания в мерзлом состоянии. Вместе с тем, в последние годы существенные изменения климата Центральной Якутии привели к изменению термовлажного режима плотин и водности водохранилищ таких гидроузлов.

Рельеф Центральной Якутии представлен денудационно-аккумулятивной равниной Приленского плато с абсолютными высотами 300-400 м, который характеризуется чередованием плоскодонных долин с плавно очерченными увалами. В районе много аласов и аласных долин занятых лугами. Водораздельная поверхность представлена межаласьем занятой лиственничной тайгой.

Климатические условия региона изучены хорошо [16]. Некоторые параметры температуры воздуха Центральной Якутии приведены в таблице 1.

Таблица 1

Некоторые параметры температуры воздуха Лено-Амгинского междуречья, °С

Станция	Абс. макс.	Абс. мин.	Абс. амплитуда	Среднегодовая температура
Якутск	38	-64	102	-10,3
Чурапча	37	-66	103	-11,7
Ытык-Кель	38	-66	104	-12,2
Амга	39	-65	104	-11,1
Борогонцы	37	-66	103	-11,6

Такие достаточно суровые климатические условия определили сплошное распространение многолетнемерзлых горных пород (ММП) с температурой от -1,0° до -3,5°С мощностью до 300 – 400 м. Из массивообразующих подземных льдов широко распространены повторно-жильные льды (ПЖЛ) [8, 9]. Мощность сезонноталого слоя (СТС) изменяется от 1 до 3 м.

В Якутии в результате в результате глобального потепления климата на верхней части ММП стали появляться «перезимки», т.е. когда за зиму СТС не успевает смыкаться с верхней частью ММП [10]. В этих условиях, внутри плотин гидроузлов могут появляться талые горизонты. Поэтому в этих условиях снижается степень безопасности ГТС.

2. Результаты работ

В 2015 г. нами проведено обследование инженерно-геологических и геокриологических условий 22 гидроузлов, расположенных на территориях пяти улусов Лено-Амгинского междуречья (табл. 2). Основной целью работы было выявление наиболее проблемных гидроузлов для налаживания мониторинговых наблюдений. Рекогносцировочные обследования включали описание мерзлотно-ландшафтных условий прилегающей к гидроузлу территории, изучение характера переработки берегов и выявление зон фильтрации на разных объектах гидроузла.

На территории Мегино Кангаласского улуса обследованы гидроузлы Хатыннаах, Курдьях, защитная земляная дамба с. Бютяйдях, Нижний и Верхний Ньыыттаах, Лама и Хататтаах. В момент обследования на гидроузле «Лама» шли ремонтные работы. Остальные имели достаточно серьёзные повреждения. Например, плотины гидроузлы «Нижний и Верхний Ньыыттаах», вообще не эксплуатировались и имели проран, а на плотине гидроузла «Хатыннаах» сифонные трубы лежали в разъединенном виде. На заброшенной плотине водохранилища Курдьэх, на бортах ее примыкания к склону долины наблюдались термокарстовые формы рельефа (былары, байджерахи), образованные в результате деградации повторно-жильных льдов (рис. 1).

В Чурапчинском улусе были обследованы гидроузлы «Куогалы» и «Сири-Холлогос». Нами в первую очередь было обследовано гидроузел «Сири-Холлогос», где в июле 2014 г. произошел прорыв воды из водохранилища по

зоне примыкания плотины к борту долины. Здесь широко развиты породы ледового комплекса, представленные пылеватыми суглинками льдистостью 40 - 60% и содержащие повторно-жильные льды (ПЖЛ). Верхняя поверхность льдов залегает на глубине 2,0-2,5 м. Основной причиной разрушения зоны явилось увеличение глубины сезонного протаивания грунтов и деградация ПЖЛ. В результате этого появился проран шириной 30-40 м и длиной не менее 150 м. На бортах прорана обнажаются клинья повторно-жильного льда (рис. 2).

Таблица 2

Характеристика обследованных гидротехнических сооружений Лено-Амгинского междуречья

№ п/п	Улус РС (Я)	Название объекта	Населенный пункт	Год	Водоисточник	Объем, тыс, м ³	Характеристики плотины			
							Длина	Высота	Откосы	Грунт
1	Мегино- Хангаласски й	Хатыннаах	с. Чуйя	1975	р. Хатыннаах		50	3	1:3	глинистый
2		Лама	с. Бэдьимэ	1980	р.Тиэрэ	800	450	2	1:2	глинистый
3		Хататтаах	с. Бэдьимэ	1983	р.Тиэрэ	1500	60	5	1:2	глинистый
4		Н.Ньыттаах	с. Табага	1968	р. Ньыттаах	100	110	4	1:3	глинистый
5		В.Ньыттаах	с. Табага	1972	р. Ньыттаах	50	40	1,5	1:3	глинистый
6		Курдых	с. Бютяйдях		р. Сола	500	1000	3	1:2	глинистый
7	Чурапчинск ий	Харыылаах	с. Чурапча	1986	оз. Чурапча	9200	60	2-3	1:1	суглинок
8		Туора-Кюель	с. Хаяхсыт	2002		600	156	2	2-3	суглинок
9		Улахан Кюель	с. Чурапча	1984	р. Ойук	4000	50	3-4	1:2	суглинок
10		Липпэлээх	с. Чурапча	1981		900	320	3	1:1	суглинок
11		Куогалы	с. Чурапча	2007	р. Куохара	1400	230	2-3	1:2	суглинок
12		Сири-Холлогос	с. Хадар	1995	р. Татта	6300	1020	6	1:3	суглинок
13		Юрюн-Кюель	с. Хадар	1994	р. Синньигэс	1710	494	5-6	1:2	суглинок
14		Маралай	с. Мугудай	1993	р. Солообут	1100	250	5	1:3	суглинок
15		Кындал	с. Кындал	1984	р. Тея		50	3	1:1	суглинок
16	Таттинский	Савва-Кюель	с. Томтор	1990	р. Тэйиттэ	400	210	3,2	1:2	земляной
17		Туэйэ	с. Кыйы	1986	р. Татта	2400	80	3	1:2	земляной
18		Соболоох	с. Дэбдиргэ	1989	р. Соболоох	250	300	3,5	1:2	земляной
19		Усун-Эбэ	с. Туора-Кюель	1988	р. Усун-Эбэ	350	90	3	1:2	земляной
20		Туора-Кюель	с. Туора-Кюель	1959	р. Наммара	1470	350	4	1:2	земляной
21	Усть- Алданский	Илин-Юрях	с. Борогонцы	1986		5230	774			
22	Амгинский	Усун-Кюель	с. Амга	1972		250	30	2	1:2	глинистый

Изучение плотины гидроузла «Куогалы» показало, что ее основанием служат супесчано-суглинистые грунты. Сама плотина сооружена аналогичными отложениями и имеет высоту 2 – 4 м. Грунты мерзлые, имеют шлировую или массивную криогенную текстуру. Средняя льдистость грунтов 20 - 25%. По-видимому, данные отложения относятся к осадкам мелких водоемов, сформированные в субаквальных условиях с застойным режимом вод. На это указывают - наличие первичной субгоризонтальной слоистости, преобладание оторфованных суглинков с синеватым оттенком, а также наличие горизонта с резким запахом сероводорода. По классификации данную плотину можно отнести к плотинам средней льдистости [3].

Бурением трех скважин глубиной 10 - 12 м, установлено наличие повторно-жильных льдов (ПЖЛ) мощностью 6 – 8 м (рис. 3). Верхняя поверхность льда фиксируется примерно на глубине 1,5 – 2,0 м ниже основания плотины. В некоторых горизонтах лед имеет пузырьки воздуха с диаметром 1 - 2 мм. Измерение температуры грунтов в скважинах показали, что на уровне подошвы годовых нулевых амплитуд наблюдается весьма высокая температура равная $-0,8^{\circ}\text{C}$ (рис. 4).

Основной проблемой данного гидроузла является понижение уровня водохранилища из-за опускания канала уровня регулятора, поэтому эксплуатирующей организацией ежегодно проводятся ремонтные работы по его повышению путем подсыпки песчано-галечной смеси.

Выводы.

Таким образом, обследование гидроузлов Центральной Якутии показало, что у большинства плотин, в связи с глобальным потеплением климата и длительной их эксплуатацией, температура стала повышаться до положительных значений. Исходя из этого, основной причиной разрушения гидроузлов региона стало изменение гидротермического режима плотин.

Температурные изменения также коснулись основания плотин, где начали идти суффозионные и термокарстовые процессы, которые способствуют просадке плотин и уровенных регуляторов. В некоторых случаях не соблюдается режим эксплуатации гидроузлов. Например, из-за чрезмерного повышения уровня вод водохранилищ стали разрушаться места примыкания плотин к коренным берегам.

Поэтому в условиях глобального потепления климата, надежное функционирование гидроузлов возможно только при налаживании геокриологического мониторинга, который позволит своевременно выявлять возможные изменения их температурного и фильтрационного режима.

Кроме того, выявлено, что некоторые водохранилища имеют несоразмерные по потребностям населенного пункта объемы воды. В этом плане, может в некоторых районах стоит пересмотреть общую концепцию обводнения населенных пунктов. Однозначно можно сказать, что строительство водохранилищ на крупных водотоках отрицательно влияют на гидрологический режим рек.

Ремонтно-восстановительные работы проводить при пониженных уровнях, вплоть до полного опорожнения водохранилищ.

Список литературы

1. Анисимов О.А., Белолуцкая М.А. Оценка влияния изменения климата и деградации вечной мерзлоты на инфраструктуру в северных регионах России // Метеорология и гидрология. - 2006. - №6. - С. 15-22.
2. Балобаев В.Т., Скачков Ю.Б., Шендр Н.И. Прогноз изменения климата и мощности мерзлых пород центральной Якутии до 2200 года.// География и природные ресурсы. - Новосибирск: Наука, 2009. -№ 2. - С. 50-56.
3. Биянов Г.Ф., Когодовский О.А., Макаров В.И. Грунтовые плотины на вечной мерзлоте. Якутск: Ин-т мерзлотоведения СО АН СССР, 1989. – 152 с.
4. Чжан Р.В. Основные проблемы гидротехнического строительства водохозяйственного значения в Якутии // Наука и образование. - Якутск, 2000 - № 3. - С. 64-68.
5. Чжан Р.В. Температурный режим и устойчивость низкопорных гидроузлов и грунтовых каналов в криолитозоне. – Якутск: Издательство ИМЗ СО РАН, 2002. – 208 с.
6. Ларионова Н.Н. Надзор за безопасностью гидротехнических сооружений в соответствии с изменениями, внесенными в Федеральный закон №122 от 23 августа 2004 г. – Обеспечение безопасности гидротехнических сооружений, минимизация вредного воздействия вод в период прохождения паводков на малых реках и повышение эффективности использования их долин. - Якутск: Сайдам, - 2006 С.58-61.
7. Гулый С.А. Анализ работы плотины, перешедшей с мерзлого на талый тип эксплуатации (на примере плотины АрГрЭС на р. Мяунджа). – IX Международный симпозиум по проблемам инженерного мерзлотоведения (г. Мирный, Россия, 3-7 сентября 2011 г.) – С. 238 – 242.
8. Гаврилова М.К. Климат Центральной - Якутии. - Якутск, 1973. - 119 с.

9. Соловьев П.А. Криолитозона северной части Лено-Амгинского междуречья. М.: Изд-во АН СССР, 1959, - 144 с.
10. Иванов М.С. Криогенное строение четвертичных отложений Лено-Алданской впадины. – Новосибирск: Наука, 1984. – 126 с.
11. Васильев И.С. Пространственно-временные закономерности формирования деятельного слоя в ландшафтах Западной Якутии. – Новосибирск: Наука, 2005. – 228 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Ф. И. О. Лоскин Михаил Иванович

Место работы: ГБУ «Управление по мелиорации земель и сельскохозяйственному водоснабжению Министерства сельского хозяйства и продовольственной политики РС (Я). Республика Саха (Якутия) г. Якутск ул.Толстого, 20 каб.202

Должность: Первый заместитель руководителя

Тел. раб. 343-295

сот. 8-914-294-54-87

E-mail: melio_lmi@mail.ru

Домашний адрес: Республика Саха (Якутия) г.Якутск ул.Короленко, 19/1 кв.6

Ф. И. О. Готовцев Семен Петрович

Место работы: Института мерзлотоведения СО РАН.

Должность: Ст. научн, сотрудник, к.г.-м.н.

Лаборатория: Общей геокриологии

Тел. раб. 390-842

сот. 8-924-170-95-45

E-mail: gotovcev@mpi.ysn.ru

Домашний адрес: Республика Саха (Якутия) г.Якутск ул.Ярославского, 30/1 кв.108

Ф. И. О. Сыромятников Игорь Иннокентьевич

Место работы: Института мерзлотоведения СО РАН.

Должность: м.н.с.

Лаборатория: Общей геокриологии

Тел. раб. 390-815

сот. 8-964-429-79-01

E-mail: syromyatnikov@mpi.ysn.ru

Домашний адрес: Республика Саха (Якутия) г.Якутск ул.Сергеляхское шоссе, 1/1 кв.24

Подрисуночные подписи

Рис. 1. Термокарстовые формы рельефа на участке заброшенных водохранилищ Мегино-Кангаласского улуса

Рис. 2. Разрушенная часть зоны примыкания плотины гидроузла «Сири-Холлогос» Чурапчинского улуса.

Рис. 3. Вертикальная слоистость за счет илистой мути, показывает повторно-жильное происхождение ледяного тела. Образец поднят с интервала 4,3 – 4,5 м скважины.

Рис. 4. Температурное поле плотины гидроузла «Куогалы».

Условные обозначения: 1 – плотина; 2 – повторно жильный лед; 3 – изотермы; 4 – скважина; 4 – охлаждающее устройство.

Рисунки

Рис. 1.

Рис. 2.

Рис. 3.

Рис. 4.