

# Тематическое сообщество по проблемам больших плотин



## Консолидированный обзор

### *ГЭС и вечная мерзлота*

Дата. Составители обзора и участники обсуждения

5 июля 2009 г. Составители: [А.С.Мартынов](#), С.И.Забелин.

#### Формулировка запроса

Особенности формирования водохранилищ, преобразования берегов и развития русловых процессов в условиях вечной мерзлоты не нашли отражения в Докладе Всемирной Комиссии по Плотинам. Однако обсуждаемые планы развития гидроэнергетики в России предполагают строительство масштабных объектов как раз в районах Сибири и Дальнего Востока, расположенных в зоне вечной мерзлоты. При создании российского доклада «Белая книга. Плотины и развитие» заполнение этого пробела имеет большое значение.

Необходима инвентаризация и аннотация имеющихся источников знаний по вопросу плотиностроения в условиях вечной мерзлоты, включая список специалистов, обладающих соответствующими знаниями, что позволит выявить пробелы, требующие проведение специальных исследований или научного анализа уже собранной информации.

#### Резюме обзора

#### Цифры и факты

#### Перечень ответивших (соавторы обзора)

Обзор 1. Оценка-описание последствий создания Вилюйской ГЭС (Е.Шадрина) позволяет выявить наиболее характерные результаты создания большой плотины в зоне вечной мерзлоты

Обзор 2. Технические проблемы, возникающие в процессе эксплуатации плотин, построенных в зоне вечной мерзлоты, подробно описаны в книге «Факторы риска повреждения гидротехнических сооружений. Проблемы безопасности» / Л.К. Малик; (отв. ред. Н.И. Коронкевич)

Обзор 3. Температурный режим тела плотин и упорной призмы подробно рассмотрен в книгах «Гидроэнергетическое строительство на Севере»

Обзор 4. Особенности функционирования водохранилищ в зоне вечной мерзлоты изложены также в Отчете «Проблемы гидротехнического строительства в криолитозоне: особенности, криогенные процессы, мониторинг, прогнозирование», 2009

Обзор 5. В обзоре, подготовленном для тематического сообщества Н.А.Шполянкой, на примере Западной Сибири дана характеристика особенностей реакции мерзлоты у южных границ её распространения при изменениях речного стока

## **Обзор 6. Взаимодействие водохранилищ с природной средой в области вечной мерзлоты**

### **Литература**

#### **Резюме обзора**

Расположение в зоне многолетнемерзлых пород (ММП) является серьезным фактором риска повреждения плотин и их водохранилищ. 48% аварий на гидростанциях происходит именно в таких регионах (при незначительном числе расположенных здесь ГЭС). Основная причина повреждений — недоучет криогенных процессов в теле плотин, их основаниях и в районах примыкания, связанных с изменениями под влиянием гидроузлов условий теплообмена, температурного режима, физико-технических свойств мерзлых пород, приводящих к развитию термокарста, термоэрозии, наледообразованиям и т.п.

Одновременно криогенные процессы (термоабразия, солифлюкция, термокарст) оказывают воздействие на ложе и берега водохранилищ, являясь, наряду с волновой абразией, активным берегоформирующим фактором. На отвесных берегах водохранилищ криогенные процессы приобретают свою специфику в условиях периодического промерзания и оттаивания слагающих пород. В мерзлых скальных породах с блочной разбивкой в береговых примыканиях плотины из-за нарушений сплошности и расширения швов фильтрация может резко (в разы) усиливаться.

Гидросооружениям зоны ММП также свойственно увеличение объемов водохранилищ и их площадей против проектируемых (по разным оценкам до 15% и более), в основном за счет просадок дна и роста мертвого объема в промежуточной и глубоководной зонах водоемов, что задерживает достижение нормального подпорного уровня, осложняет условия эксплуатации водохранилищ, снижает выработку электроэнергии.

#### **Цифры и факты**

В период наибольшего прогревания (июль) температура воды в нижнем бьефе Вилюйского водохранилища понизилась против естественного режима на 7,8°. В то же время, после заполнения, в подэкранный области плотины возникла зона, температура которой всегда положительна. В период окончания отсыпки плотины площадь этой зоны составляла 6 %. Через 10 лет площадь этой зоны увеличилась в 3 раза. Одновременно уменьшилась охлаждаемость призмы в зимнее время. Глубина проникновения изотермы -25°C в глубь призмы снизилась с 38 до 20 м. Размах сезонных колебаний температуры наброски в нижней части призмы уменьшился в 4 раза, а в средней и верхней части — в 1,5 раза; среднегодовая температура наброски внутренней зоны повысилась с -8,6 до -4,5°C, а размах сезонных колебаний уменьшился с 9,9 до 5,9°C.

В мерзлотоведении известно, что вертикальное тепловое влияние водоема распространяется на глубину, равную половине диаметра водоема. Следовательно, отепляющее влияние водоема, диаметр которого окажется равным 0,6-0,7 км и более, рано или позже скажется до глубины 300-400 м.

За 50 лет в зоне влияния водохранилищ протаивает покров рыхлых ММП мощностью 15-18 м. Таким образом, средняя скорость протаивания всей толщи рыхлых мерзлых пород со средней температурой -1 °C составляет 30-36 см/год. В течение первых 10 лет протаивание проходит заметно активнее, со средней скоростью 66-82 см/год. Техногенные воздействия отражаются в активности деструктивных криогенных процессов в ходе сезонного протаивания. Мерзлые породы начинают протаивать на 8-10 дней ранее, а глубина протаивания приблизительно в 2 раза больше, чем в естественных условиях.

При проектировании противофильтрационных завес Вилюйской и Усть-Хантайской плотин проницаемость скальных массивов оценивалась по данным исследований руслового талика. Однако по мере накопления опыта выявлено, что проницаемость оттаивающих пород может быть на 2-3 порядка выше, чем проницаемость руслового талика.

На участках рыхлых отложений с льдистостью до 40% разрушение берегов в процессе термоабразии наиболее активное (4-6 м/год и более). С увеличением льдистости пород возрастает скорость термоабразии, а если льдистость пород больше некоторого критического значения, разрушение берега приобретает незатухающий характер. Скорость разрушения берегов со временем увеличивается от 4-5 до 10-12 м/год. Это вызвано, в основном, усилением тепловой просадки подводного склона с течением времени и, как следствие, постепенным возрастанием энергии воздействующего на берега волнения.

Для ГЭС на мерзлоте характерно увеличение объемов водохранилищ и их площадей против проектируемых (до 15% и более) и роста мертвого объема за счет просадок на дне значительных блоков пород после их протаивания. В криолитозоне обводнение горных пород под дном водохранилища развивается по мере их оттаивания, которое может продолжаться десятки и сотни лет. Процесс оттаивания ММП в районе гидроузла Усть-Хантайской ГЭС продолжался 19 лет. У Вилюйского гидроузла в первые четыре года многолетнемерзлые породы протаяли под плотиной на глубину в 9 м, в остальные годы — на 6-9 м, а наибольшая величина протаивания достигала 14 м.

В условиях суровых зим из-за образования временного слоя мерзлых пород происходит осадка основного сооружения. Так было на Усть-Илимской ГЭС, поскольку в её каменной наброске образовался клин мерзлого тела, который затем растаял. Авария 1992 г. на русловом участке каменно-земляной плотины Курейской ГЭС, построенной в 1989-1992 гг., была вызвана суффозионными нарушениями фильтрационной прочности контакта ядра плотины со скальным основанием. 26 июля 1992 г. произошел прорыв напорного фронта плотины и фильтрация увеличилась с 20 до 1750 л/с. Прорыв сопровождался выносом значительного объема грунта, проседанием верхового откоса плотины, образованием продольных трещин и воронки на низовом откосе. Наиболее высока аварийность (более 80%) у низконапорных грунтовых плотин мерзлого типа и дамб в хвостовой части водохранилищ.

Особенностью северных рек на вечной мерзлоте являются резкие колебания расходов. Хантайка весной «полнеет» в 200 раз(!), а в зимнее время станции испытывают дефицит притока воды. Например, на Мамаканской ГЭС (первой из станций на мерзлоте) зимой работает всего один генератор из четырех.

## Перечень ответивших (соавторы обзора)

- **Григорьев Михаил Николаевич**, доктор географических наук, Институт мерзлотоведения СО РАН 677010, г. Якутск, ул. Мерзлотная, д. 36
- **Коронкевич Николай Иванович, Малик Лилия Константиновна, Барабанова Елена Алексеевна**, Лаборатория гидрологии ИГ РАН, т. (499) 129-04-74
- **Коцюк Денис Владимирович**, н.с. лаб. биоресурсов р. Амур, Хабаровского филиала ТИНРО Тел. 8 (4212) 31-59-20
- **Куницкий Виктор Владимирович**, доктор географических наук, заведующий лабораторией региональной геокриологии и криолитологии. Институт мерзлотоведения СО РАН 677010, г. Якутск, ул. Мерзлотная, д. 36 Тел.: 8 (4112) 33-44-76
- **Разумов Сергей Олегович**, доктор географических наук, Институт мерзлотоведения СО РАН 677010, г. Якутск, ул. Мерзлотная, д. 36
- **Соболь Станислав Владимирович**, Зав.кафедрой гидротехнических сооружений ИСИ Нижний Новгород Тел. 8(831)-434-02-91 Факс. 8(831)-430-53-48
- **Шадрина Елена Георгиевна**, доктор биологических наук, профессор. Биолого-географический факультет Якутского государственного университета Тел. (4112) 353213 (добав. 283).
- **Шполянская Нелла Александровна**, Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, географический факультет, кафедра криолитологии и гляциологии т. (495) 939-36-73

## Обзор 1. Оценка-описание последствий создания Вилюйской ГЭС (Е.Шадрина) позволяет выявить наиболее характерные результаты создания большой плотины в зоне вечной мерзлоты

**Существенные изменения** социальных, природно-климатических условий и биотической составляющей экосистем отмечены уже после ввода в эксплуатацию ГЭС-I-II (общая мощность 680 мВт).

Для северных водохранилищ в целом, в том числе и для Вилюйского, характерны **специфическая интенсивная переработка берегов** из-за оттаивания многолетней мерзлоты и других природных особенностей. Гидравлические сбросы воды привели к гидрологическим изменениям русла реки, берегообрушениям, образованиям неестественных ям в летнее время в русле реки. Происходит «растепление» вечной мерзлоты в береговой зоне водохранилища. В регионе наблюдается увеличение глубины сезонного протаивания мерзлоты, причем в ряде районов параллельно происходит уменьшение глубины промерзания.

**Интенсивное тепловое загрязнение Вилюя.** Одновременно с перераспределением стока появилось тепловое загрязнение реки в результате сброса через турбину ГЭС холодной воды летом и относительно теплой зимой. Наиболее резко температура воды Вилюя изменилась выше р. Мархи, где ее

среднемесячный показатель в период наибольшего прогревания (июль) понизился против естественного режима на 7,8° С. В осенний период (конец сентября — начало октября) температура воды повысилась, что особенно заметно выше впадения р. Мархи. Отопляющее воздействие водохранилища обнаруживается и в сроках осеннего ледохода. Если в появлении первых ледяных образований больших отклонений от естественного состояния нет, то начало осеннего ледохода в Сьюльдюкаре сдвинулось на 10 дней, в с. Крестях — до 6 дней.

**Изменился режим зимнего замерзания реки**, переезда по зимнику. В течение всей зимы производится суточное и недельное регулирование водности довольно резкими повышениями и понижениями, что способствует образованию наледей. Искусственные наледи приводят к трагическим авариям, к гибели водителей и пассажиров автотранспорта.

**Влияние на воспроизводство рыбных запасов.** Снижение уровня воды к весне на 7-8 м в результате отработки сливной линзы приводит к тому, что лед оседает на более продуктивную часть мелководья, удобную для размножения осенне-нерестующих рыб. Икра, отложенная на 2-3-метровой глубине, погибает, и пополнение популяции за счет естественного воспроизводства становится невозможным. ...

**Обзор 2. Технические проблемы, возникающие в процессе эксплуатации плотин, построенных в зоне вечной мерзлоты, подробно описаны в книге «Факторы риска повреждения гидротехнических сооружений. Проблемы безопасности» / Л.К. Малик; (отв. ред. Н.И. Коронкевич) — М.: Наука, 2005. — 354 с.**

На статическую устойчивость и фильтрационные свойства плотин контрасты температур в северных регионах оказывают очень большое влияние — складываются сложные гидродинамические условия в период строительства и эксплуатации гидроузлов, приводящие к аварийным ситуациям.

Выделяют следующие факторы, способствующие повышению температуры пород, развитию таликов в районе гидроузлов и деградации мерзлоты: влияние самих водных масс, особенно в глубоководной части водохранилищ, а также нарушение или частичное уничтожение растительного покрова; изменение гидрогеологических условий в основании плотины и на прилегающих участках; изменение микроклимата; зимние подтопления берегов в нижних бьефах вследствие перераспределения стока и снижения в связи с этим глубины сезонного промерзания грунтов. Сложное взаимодействие природных ландшафтов Севера, чрезвычайно уязвимых при различных видах антропогенных воздействий, в данном случае связано с изменениями под влиянием гидроузлов условий теплообмена, температурного режима, физико-технических свойств мерзлых пород, приводящих к развитию термокарста, термоэрозии, наледообразованиям и аварийным ситуациям.....

Оттаивание мерзлых пород и последующий вынос материала волнением и течением обуславливают существенное увеличение глубин водохранилищ в прибрежной зоне. Таким образом, приглубость берегов — характерная черта водохранилищ рассматриваемой зоны. Увеличение объемов водохранилищ и их площадей против проектируемых, свойственное этой зоне (по разным оценкам до 15% и более), происходит в основном за счет просадок дна и роста мертвого объема в промежуточной и глубоководной зонах водоемов, что задерживает достижение нормального подпорного уровня, осложняет условия эксплуатации водохранилищ, снижает выработку электроэнергии.

**Обзор 3. Температурный режим тела плотин и упорной призмы подробно рассмотрен в книгах «Гидроэнергетическое строительство на Севере» (Куперман В.Л., Мызников Ю.Н., Торопов Л. М., Энергоатом, 1987. 301 с.) и «Гидроэнергетика крайнего северо-востока» (Когодовский О. А., Фриштер Ю.И. М., Энергоатомиздат, 1996. 304 с.)**

Несмотря на то что значительная часть экрана плотины Вилюйской ГЭС, уложенной зимой 1964/65 г., была заморожена в период строительства при наполнении водохранилища, в течение 3—4 лет произошло оттаивание нижней части экрана и только верхняя зона экрана оттаивала к 1973 г. Сильное охлаждение нижней призмы в зимнее время привело к образованию в ее нижней части уже в первый год отсыпки зоны круглогодичной отрицательной температуры. С начала наполнения водохранилища в первые восемь лет нулевая изотерма перемещалась в сторону нижнего бьефа со средней скоростью 2-4 м в год.

До строительства плотины в основании упорной призмы был подрусловый талик шириной до 40 м. В 1971 г. в основании низовой призмы на глубине 15 м температура пород составляла  $-4 \sim -6$  °С. К 1979 г. подрусловый талик промерз на 25-40 м.

Русловая плотина Усть-Хантайского гидроузла до отметки 35 м оказалась промороженной. После пяти лет с начала подъема воды в водохранилище переходная зона плотины (2-й и 3-й слои фильтра) оказалась талой, при мерзлом низовом клине и частично мерзлом ядре. Характер проникновения нулевой изотермы в переходной зоне показывает, что протаивание шло сверху вниз, под действием возникшего по талой зоне ядра неустановившегося фильтрационного потока, отжатая поровой воды и свободной инфильтрации. Оттаивание зоны ядра с отметки 6 до 35 м закончилось лишь через 10-12 лет после принятия плотиной напора.

В низовой упорной призме плотины Колымской ГЭС на апрель и сентябрь 1988 г. ядро и переходные зоны находились в талом состоянии, а в низовой упорной призме сформировалась достаточно стабильная область круглогодично отрицательных температур от отметок 345 до 410 м. В низовой упорной призме имеется зона постоянных отрицательных температур со значительным заполнением пор в наброске льдом конденсационного и инфильтрационного происхождения. Первый образуется преимущественно в примыкании ко второму слою фильтра, а инфильтрационный лед, возникающий при попадании атмосферных осадков в каменную наброску с отрицательной температурой, образуется ближе к наружной поверхности низового откоса.

#### **Обзор 4. Особенности функционирования водохранилищ в зоне вечной мерзлоты изложены также в Отчете «Проблемы гидротехнического строительства в криолитозоне: особенности, криогенные процессы, мониторинг, прогнозирование», 2009 (Ответственный исполнитель, ведущий научн. сотр., д.г.н. С.О. Разумов — по заказу Всемирного фонда дикой природы).**

Гидротехническое строительство ГЭС в криолитозоне всегда выполняется в уникально сложных инженерно-геокриологических условиях. Определяющим фактором инженерно-геокриологических условий являются наличие в основаниях сооружений гидроузла и боковых примыканиях плотины слабопрочных пород, нарушенных оползневыми процессами, мерзлых в бортах долины и талых под руслом. Эти породы в различной степени засолены и подстилаются мощной толщей образований, насыщенных минерализованными водами, криопэгами, гидравлически связанными с уровнем перекрываемой плотиной реки. Достижение границы оттаивания пород оползневых зон скольжения может приводить к обрушению от нескольких до десятков тысяч кубометров неустойчивых масс.

Оползневые структуры могут проследиваться на десятки километров от створа плотины и до 1-3 км вглубь склонов. В оползневых телах обычно отмечаются многочисленные трещины, среди которых особую группу представляют гравитационные трещины отрыва, трещины отседания, которые формируются в мерзлом массиве предположительно и в наше время. Трещины могут сообщаться между собой. При этом поднятие уровня водохранилища сопровождается оттаиванием и выносом заполнителя из крупных трещин с возможной сосредоточенной фильтрацией вод в обход сооружений.

Повышение напора при создании водохранилища в некоторых случаях может привести к внедрению рассолов в вышележащие массивы по ослабленным участкам, растворению природного льда и, соответственно, деградации мерзлых толщ, активизации оползневых процессов, водообмена между подземными водами и водохранилищем. Эти процессы могут носить катастрофический характер. Достаточно сказать, что коэффициенты фильтрации оползневых блоков при их оттаивании оцениваются Ленгидропроектом в 50-100 м/сутки, а коэффициент фильтрации пород с зияющими трещинами в тысячи метров. В других случаях напор водной массы водохранилища может полностью или в большей части подавить разгрузку в акваторию минерализованных подземных вод, изменяя, таким образом, гидрохимическую составляющую экологических условий в позитивную сторону.

При наполнении водохранилищ криолитозоны к развивающимся в естественных условиях экзогенным (в том числе криогенным) процессам добавляется такой мощный фактор переработки берегов, как термоабразия, которая, в свою очередь, вызывает усиление активности развития комплекса склоновых процессов (оползней, отседаний склонов, солифлюкция) и термокарста. В пределах распространения льдистых рыхлых отложений, кроме тепловых деструктивных процессов, будут активно развиваться такие процессы как криосолифлюкция, протаивание и осадка затапливаемых рыхлых мерзлых отложений, оттаивание многолетнемерзлых пород в бортах водохранилища и соответствующее распространение



талика за пределы его акватории, что инициирует целый комплекс процессов, среди которых, по-видимому, наиболее активно будут развиваться крупные оползни.

Предполагается, что в течение 20 лет эксплуатации водохранилища в области распространения ледового комплекса скорость разрушения берегов со временем не только не затухает, но увеличивается от 4-5 до 10-12 м/год. Это вызвано, в основном, усилением тепловой просадки подводного склона с течением времени и, как следствие, постепенным возрастанием энергии воздействующего на берега волнения.

В случае сопряженной активизации техногенных и естественных факторов в условиях потепления климата (средние летние температуры воздуха могут превысить "норму" на 2-3 °С) деструктивные криогенные процессы в районе инженерно-технических сооружений будут развиваться катастрофически, особенно при механическом поражении изолирующего слоя на 50% и более [Разумов, 2006]. Скорость криогенных деформаций может в этом случае достигать 10-20 м/год и более в зависимости от макрольдистости отложений.

Изменения термического режима (порядка нескольких градусов) ввиду зарегулирования рек в наибольшей степени проявляется в летние и зимние месяцы, и могут привести к сокращению сроков ледостава в бассейне от нескольких дней до нескольких месяцев.

Аномальные развития русловых деформаций на участке нижнего бьефа при зарегулировании стока будут связаны в основном с изменениями в гидродинамическом режиме реки и, как уже говорилось, эрозия составляющая процессов переформирования русла и берегов уменьшится. Возможны возрастания интенсивности аккумулятивных процессов вдоль берегов с формированием современных многолетнемерзлых пород, а также развития русловой аккумуляции наносов и связанные с этим изменения судходных фарватеров.

## **Обзор 5. В обзоре, подготовленном для тематического сообщества Н.А.Шполянской, на примере Западной Сибири дана характеристика особенностей реакции мерзлоты у южных границ её распространения при изменениях речного стока. (Анализ природных условий севера Западной Сибири в целях прогнозной оценки их реакции на перераспределение водных ресурсов в связи с освоением региона. М, 2009).**

Температурное поле грунтов определяет характер мерзлоты, и именно его изменение приводит к изменению многих ее свойств — льдистости, мощности деятельного слоя, интенсивности криогенных физико-геологических процессов и др. Наибольшая доля в теплообмене приходится на затраты тепла на испарение. Так, в зоне лесотундры на широте Полярного круга (66,5° с.ш.) из 26,0 ккал/см<sup>2</sup>год, поступающих с радиационным балансом 18 ккал/см<sup>2</sup>год расходуется на испарение. В лесной зоне, на широте 64° с. ш. расход на испарение 22,2 ккал/см<sup>2</sup>год почти равен радиационному балансу (26,7 ккал/см<sup>2</sup>год). При этом затраты тепла на испарение существенно зависят от увлажнения поверхности и существенно меняются при сокращении стока. При этом заметно изменяется и температура грунтов.

В пределах болотных массивов водообмен между инертной толщей торфяника, влагосодержание которой — величина постоянная, и подстилающим минеральным грунтом можно считать, в общем случае, отсутствующим. Это говорит о нулевом подземном питании в пределах распространения олиготрофных болот. В итоге, можно предположить, что водообменный режим болот Западной Сибири не изменится при изменении стока Оби. Это относится и к болотам, сложенным мерзлыми торфяниками, и к немерзлым южным болотам. Структура теплового баланса может измениться только в узкой придолинной полосе и в поймах Оби и ее притоков, а также в приобской части Обской губы, где сокращение периода затопления должно привести к более непосредственному и активному теплообмену грунтов пойм с атмосферой.

На этих же участках может начаться интенсивная эрозия. Некоторое обмеление русел и меньшая продолжительность паводкового затопления пойм, должны привести к активизации теплообмена между атмосферой и грунтами пойм, обнажившихся кос и баров, а это, в свою очередь, к дополнительному охлаждению грунтов. **Фактически отъем части стока и/или его перераспределение при гидростроительстве у южных границ мерзлоты способно активизировать ее новообразование.** В пределах ныне талых пойм здесь можно ожидать возникновения вечной мерзлоты. Современные пойменные луга (ныне устойчивая кормовая база для скотоводства) будут превращаться в пойменные болота. Возникновение вечной мерзлоты на широких пространствах пойм, а также увеличения глубины сезонного промерзания грунтов, что в свою очередь активизирует процессы пучения и наледеобразования.

## Обзор 6. Взаимодействие водохранилищ с природной средой в области вечной мерзлоты

**Коцюк Денис Владимирович** (н.с. лаб. биоресурсов р. Амур, Хабаровского филиала ТИНРО), отвечая на вопрос модератора сообщества «Есть ли какие-то особенности влияния на рыбные ресурсы и состав ихтиофауны создания водохранилищ на мерзлых грунтах. Зейская ГЭС лежит в зоне островной мерзлоты с льдистостью пород до 40%. Были ли проседания дна? как менялась приглубость берегов? может какие-то неописанные пока особенности влияния рыбу или её кормовую базу проявились?», констатировал: — «Видимо под ложем водохранилища постепенно происходит оттаивание многолетнемерзлотных пород. Но я полагаю, что исследований в этой области в современное время нет. И конечно у нас нет данных, каким образом эти процессы могут повлиять на состояние ихтиофауны или кормовой базы. И мало вероятно, что они как-то будут влиять. Скорее даже никак не будут влиять. Даже в заграничной литературе я нечего подобно не встречал. Гораздо сильнее влияние на состояние кормовой базы и ихтиофауны зимней сработки водохранилищ и абразии берегов, но это совершенно другой вопрос».

**Владимир Михайлович Дубинский** (директор [музея истории ОАО «Колымаэнерго»](#) участник строительства Вилюйской ГЭС, Колымской и Усть-Среднеканской ГЭС (41343) 469-18). В качестве экспоната в музее имеется «Технический отчет с гидрологической характеристикой по бассейну реки Колымы Выпуск № 18. Экспедиция А.Н. Морозова - 1937 год». [ENERGO@KOLYMAMSK.RU](mailto:ENERGO@KOLYMAMSK.RU)

### Литература

#### ОСНОВНАЯ:

**Соболь С.В. Водохранилища в области вечной мерзлоты. Нижегород. гос. архит.-строит. университет. Н-Новгород: ННГАСУ, 2007. 432 с., илл.** — Описаны водохранилища энергетического и водохозяйственного назначения на северо-востоке России. Рассмотрено взаимодействие водохранилищ с природной средой в области вечной мерзлоты. Основное внимание уделено исследованию и прогнозированию тепловых и механических процессов в основании и берегах водохранилищ: температурного режима, фильтрации, переформирования берегов и ложа. Изложены предложения по предотвращению нежелательных последствий создания водохранилищ.

#### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ:

1. Авакян, Шарапов. «Водохранилища гидроэлектростанций СССР», 1977.
2. Арэ Ф.Э. Прогноз переработки берегов небольших водохранилищ на льдистых многолетнемерзлых грунтах. Проблемы строительства в Якутской АССР. Якутск: Якутское кн. изд-во. 1974. С. 190-197.
3. Арэ Ф.Э. Водохранилища в условиях вечной мерзлоты. Тезисы докладов Всесоюзного научно-технического совещания по динамике берегов водохранилищ, их охране и рациональному использованию. Черкассы, Украинский филиал ЦНИИКИВР. 1979. Т. 6. С. 69-82.
4. Арэ Ф.Э. Основы прогноза термоабразии берегов. Новосибирск: Наука, 1985. 171 с.
5. Биянов Г.Ф. Опыт строительства плотин на вечномерзлых грунтах в Якутии. II Международная конференция по мерзлотоведению: Принципы управления криогенными процессами при освоении территории с многолетнемерзлыми породами. Якутск. 1973. Вып. 7. С. 125-132.
6. Биянов Г.Ф., Когодовский О.А., Макаров В.И. Грунтовые плотины на вечной мерзлоте. Якутск, 1989. 152 с.
7. Влияние ГЭС на окружающую среду в условиях Крайнего Севера / Под. ред. В.Ф. Возина. Якутск, 1987. 88 с
8. Гоголев Е.С. К методике прогнозирования тепловой переработки обрывистых берегов водохранилищ, сложенных сильнольдистыми грунтами. Тезисы докладов Четвертого Всесоюзного совещания по изучению берегов сибирских водохранилищ. Якутск: Институт мерзлотоведения СО АН СССР, 1975. С. 73-74.

9. Гоголев Е.С. Прогноз переработки берегов водохранилищ в суровых климатических условиях при колебаниях уровня воды. Тезисы докладов Всесоюзного научно-технического совещания по динамике берегов водохранилищ, их охране и рациональному использованию. Черкассы, Украинский филиал ЦНИИКИВР, 1979. Т. 3. С. 35-38.
10. Гуревич В.М. Применение метода натуральных моделей для прогнозирования переработки термоабразионных берегов водохранилищ. Береговые процессы в криолитозоне. Новосибирск: Наука, 1984. С. 105-110.
11. Демидов А.Н., Смирнов Е.А. Состояние плотины Вилюйской ГЭС (по данным натуральных исследований). Сб. науч. трудов ГИДРОПРОЕКТа. Л. 1982. № 84. С. 146-157.
12. Душкина Т.М., заведующая архивом Исполнительной дирекции ОАО «Иркутскэнерго», статья [«Первая в районе вечной мерзлоты»](#), посвященная истории создания и работы Мамаканской ГЭС, газета ОАО Иркутскэнерго «Сибирский энергетик», выпуск 6 (30), 2004 г.,
13. Ермолаев А.И. Основные особенности процесса термоабразионного переформирования берегов по сравнению с нормальным абразионным процессом. Берега водохранилищ. Тезисы докладов "Пятого совещания по изучению берегов сибирских водохранилищ". Иркутск, 1980. С. 15-17.
14. [Жизнь идет по проводам: «Хантайка» — 30 лет спустя](#), газета «Заполярная правда» №139 от 14 сентября 2000 г.
15. Каган А.А. Модель защиты геологической среды в области распространения многолетнемерзлых грунтов. Гидротех. стр-во. 1995. № 1. с. 5-11.
16. Каменский Р.М. Термический режим основания и экрана плотины Вилюйской ГЭС. II Международная конференция по мерзлотоведению: Принципы управления криогенными процессами при освоении территории с многолетнемерзлыми породами. Якутск, 1973. Вып. 7. С. 228-235.
17. Каменский Р.М., Константинов И.П. Термический режим водохранилища Вилюйской ГЭС и вечномерзлых грунтов его ложа. Колыма. 1972. № 8. С. 30-34.
18. Каменский Р.М. Термический режим плотины и водохранилища Вилюйской ГЭС. Якутск: Институт мерзлотоведения СО АН СССР, 1977. 92 с.
19. Каменский Р.М., Григорьев Н.Ф., Казанский О.А. Закономерности формирования и развития многолетнемерзлых горных пород в районе строительства Курейского гидроузла (обобщающий отчет). Игарка, 1981. 154 с.
20. Климовский И.В., Готовцев С.П. Прогноз морфодинамики береговой зоны Вилюйской ГЭС-Ш. Природные условия осваиваемых регионов Сибири. Якутск, 1987. С. 38-48.
21. Константинов И.П. Температурный режим воды в прибрежной зоне водохранилища Вилюйской ГЭС. Колыма. 1976. № 2. С. 32-34.
22. Константинов И.П. Динамика берегов водохранилища Вилюйской ГЭС в период накопления и начальной эксплуатации. Береговые процессы в криолитозоне. — Новосибирск: Наука, 1984. С. 38-50.
23. Константинов И. П., Спесивцев В.И. Роль криогенных факторов в формировании берегов Вилюйского водохранилища. Пос. Чернышевский: Фонды ИМЗ СО РАН, 1974. 360 с.
24. Константинов И.П., Суходровский В.Л. Особенности формирования берегов Вилюйского водохранилища. Четвертое Всесоюзное совещание по изучению берегов сибирских водохранилищ. Тез. докл. и сообщ. Якутск, 1975. С. 11-16.
25. Константинов И.П., Суходровский В.Л. О формировании берегов в области вечной мерзлоты (на примере Вилюйского водохранилища). Изучение берегов водохранилищ Сибири. Новосибирск: Наука, 1977. С. 62-72.



26. Куницкий В.В., Разумов С.О., Васильев И.С. и др. Геокриологические условия территории Эвенкийского гидроузла в бассейне реки Нижняя Тунгуска (промежуточный отчет о результатах научных исследований по Договору №11/2008). Якутск, 2008. 117 с.
27. Макаров В.И., Казанский О.А. Отчет о научно-исследовательской работе «Инженерно-геокриологические исследования по трассе автодороги Курейская ГЭС» — п. Туруханск (на участке от 1 до 42 км). Игарка, 1988. 49 с.
28. Малик Л.К., Факторы риска повреждения гидротехнических сооружений. Проблемы безопасности (отв. ред. Н.И. Коронкевич). М.: Наука, 2005. — 354 с.
29. Малышев Л.И., Шишов И.Н., Кудрин К.П., Бардюков В.Г. Технические решения и результаты первоочередных работ по сооружению противофильтрационной стены в грунте в ядре основания плотины Курейской ГЭС. Гидротех. стр-во. 2001. № 3. с. 31-36.
30. Мандаров А.А., Казанский О.А. Формирование термического режима сооружений и водохранилищ крупных гидроузлов в области распространения многолетнемерзлых грунтов. Геокриологические исследования в районе строительства Курейской ГЭС (научно-технический отчет). Игарка, 1977. 130 с.
31. Медведев Б.А., Муркин Л.В., Оловин Б.А. Динамика температурного режима плотины Вилюйской ГЭС в период эксплуатации. Строительство и эксплуатация гидротехнических сооружений в Западной Якутии. Новосибирск: Наука, 1979. С. 20-26.
32. Молкин Г.С. О прогнозировании переформирования берегов водохранилищ в районах многолетней мерзлоты. Исследования берегов водохранилищ. Иркутск, 1972. С. 83-85.
33. Оловин Б.А. Особенности энергообмена промораживаемой плотины с атмосферой. Строительство и эксплуатация гидротехнических сооружений в Западной Якутии. Новосибирск: Наука, 1979. С. 51-61.
34. Оникиенко Т.С. Уточнение связи объемов и уровней водохранилища Усть-Хантайской ГЭС. Гидротех. стр-во. 1995. № 3. с. 19-23.
35. Пехтин В.А. Об устройстве обогреваемых дренажей в плотинах из местных материалов в Северной строительско-климатической зоне. Гидротех. стр-во. 1997. № 3. с. 43-46.
36. Разумов С.О. Реакция криогенных комплексов арктического побережья на техногенные воздействия в нестационарных климатических условиях. Материалы международной конференции «Теория и практика оценки состояния криосферы земли и прогноз ее изменений», Тюмень: ТюмГНГУ, 2006. Т. I. С. 275-277.
37. Распопин Г.А., Морозов А.А. Развитие прорана в мерзлой плотине и формирование волны прорыва. Гидротехн. ст-во. 1995. № 5. с. 39-42
38. Рекомендации по термическому расчету водохранилищ. П 78-79. — Л.: ВНИИИГ им. Б.Е. Веденеева, 1979. 74 с.
39. Россинский К. И. Термический режим водохранилищ. М.: Наука, 1975. 167 с.
40. Сизов А.И., Овдиенко Н.А., Платонов А.Ф. Туруханская ГЭС на р. Нижней Тунгуске. ТЭО. Ч. 2. Природные условия. Раздел 2.3. Инженерно-геологические условия. Л.: ГИДРОПРОЕКТ, Ленинградское отделение, 1988. 109 л.
41. Томирдиаро С.В., Рябчун В.К., Голодовкина А.Д. Переработка льдонасыщенных берегов водоемов и водохранилищ на арктических и субарктических равнинах Северо-Востока СССР. Труды совещания по изучению берегов водохранилищ и вопросов дренажа в условиях Сибири. Новосибирск, изд. ИГ СО АН СССР, 1969. № 1. С. 244-260.
42. Томирдиаро С.В., Рябчун В.К. Термоабразия и общая динамика берегов озер и водохранилищ на равнинах Крайнего Севера. Тезисы докладов Всесоюзного совещания по мерзлотоведению. М.: Изд-во МГУ, 1970. С. 107-109.

43. Томирдиаро С.В., Рябчун В.К. Льдонасыщенные берега озер и водохранилищ Анадырской тундры и прогноз их переработки. Озера криолитозоны Сибири. Новосибирск: Наука, 1974. С. 53-60.
44. Тржцинский Ю.Б., Будз М.Д., Зарубин Н.Е. Оползни, сели, термокарст в Восточной Сибири и их инженерно-геологическое значение. М. 1969. 134 с.
45. Ухов С.Б., Кроник Я.Б. Базы данных по деформации и авариям гидротехнических сооружений в криолитозоне. Междунар. Конф. «Мониторинг криосферы», 20-23 апр. 1999 г.: Тез. Докл. Пушино, 1999. с. 212-213.
46. Федосеев В.И., Шишов И.Н. Цементизационная завеса напорных сооружений Вилюйской ГЭС-III. // Гидротех. стр-во. 1999. № 6. с. 32-36.
47. Фриштер Ю.И., Когодовский О.А. Аварии на сооружениях Колымской ГЭС в период строительства и эксплуатации. Гидротех. стр-во. 1995. № 10. с. 27-34.
48. Шадрина Е., профессор биолого-географического факультета Якутского государственного университета. [Обзор по Вилюйской ГЭС](#)
49. Шендер Н.И., Тетельбаум А. С., Каменский Р.М., Оловин Б.А., Константинов И.П. Долгосрочный прогноз теплового режима ложа и бортов Вилюйского водохранилища. Инженерно-геологическое изучение термокарстовых процессов и методы управления ими при строительстве и эксплуатации сооружений (ИГК-98). Материалы IV научно-методического семинара. С.-Петербург: ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, 1998. С.95-100.
50. Шполянская Н.А. Вечная мерзлота Забайкалья. — М., Наука, 1978.
51. Шполянская Н.А. Мерзлая зона литосферы Западной Сибири и тенденции ее развития. — М., Изд-во Моск. университета, 1981. с 163.
52. Шполянская Н.А. Глобальные изменения климата и эволюция криолитозоны. Учебное пособие. М.: МГУ, географический факультет, 2008. 130 с.
53. Шульгин М.В., Лещенков Ф.Н. Крионенные явления на берегах ангарских водохранилищ. География и природ. Ресурсы. 1990. № 2. с. 94-102.
54. Яковлев Н.Н., Овдиенко Н.А., Добряков Ю.М. Туруханская ГЭС на р. Нижней Тунгуске. ТЭО. Ч. 3. Водное хозяйство. Обоснование параметров и экономическая эффективность ГЭС. Раздел 3.1. Водное хозяйство. Л.: ГИДРОПРОЕКТ. Ленинградское отделение, 1988. 162 с.
55. Newbury R.W., Beaty K.G., McCullough G.K. Initial shoreline erosion in a permafrost affected reservoir Southern Indian Lake, Canada. Proceeding of Third Intern. Conf. on Permafrost. Ottawa, 1978. V. 1. P. 834-839.