



УДК 627.08.03

А. В. ФЕВРАЛЕВ, канд. техн. наук, проф. кафедры гидротехнических сооружений

ОСОБЕННОСТИ ОСВОЕНИЯ ГИДРОЭНЕРГОРЕСУРСОВ МАЛЫХ РЕК СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет».

Россия, 603952, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65.

Тел.: (831) 430-42-89; эл. почта: gs@nngasu.ru

Ключевые слова: малые реки, Северо-Восток, гидроэнергоресурсы, термический режим.

В статье названо влияние таких явлений, как фильтрационные потери, изменение объема чаши водохранилища, урвненный режим нижнего бьефа, на отдачу гидроузлов на малых реках. Приведены некоторые результаты исследований этих явлений.

Введение

Площадь территории Северо-Востока России составляет 4,3 млн км² или 25 % территории страны [1].

Природные условия Северо-Востока весьма суровы. Климат материковой зоны резко-континентальный с холодной продолжительной зимой и коротким летом. Длительность безморозного периода изменяется от 100 до нескольких суток (Крайний Север). Среднегодовая температура воздуха отрицательная, минимальная температура доходит до минус 60° С и даже ниже.

Инженерно-геологические и криологические условия Северо-Востока разнообразны. Междуречья сложены вечномерзлыми грунтами, однако в долинах рек и котловинах озер распространены талые грунты – талики.

Малые реки Северо-Востока характеризуются обычно однопиковым гидрографом годового стока, сильным половодьем, почти полным прекращением стока и перемерзанием зимой.

На долю весеннего половодья (май – июнь) может приходиться до 90 % годового стока. Вследствие отсутствия зимних расходов воды малые реки в период половодья практически не имеют ледохода. Дождевые паводки, проходящие обычно в июле – августе, характеризуются кратковременностью и незначительной долей в годовом стоке [2].

Водная энергия малых рек Северо-Востока практически не используется. Однако в различных регионах этой территории возведены неэнергетические гидроузлы, утилизирующие водные ресурсы [3, 4].

В таких гидроузлах наибольшее распространение получили плотины из грунтовых материалов. Они сооружаются двух основных типов – талые и мерзлые. Талые плотины могут возводиться из талых, особым образом подготовленных грунтовых материалов, либо из мерзлых грунтов с оттаиванием их в процессе строительства или эксплуатации [5].

Гидроузлы с тальми плотинами целесообразны тогда, когда грунты основания, переходя из мерзлого состояния в талое, сохраняют несущую способность и фильтрационную прочность, а также при талых грунтах основания (таликах). В противных случаях возводят мерзлые плотины. Их замораживание



может производиться или естественным холодом при высоте плотин до 3-4 м [6–8], или с помощью специальных замораживающих устройств [1, 2].

Наличие мерзлых грунтов в основаниях сооружений, значительные запасы тепла водохранилищ, изменение свойств грунтов при их оттаивании, отсутствие зимнего стока малых рек приводит к специфическим явлениям, проявляющимся в период строительства и эксплуатации гидроузлов.

Специфические явления

Одно из таких явлений – зависимость фильтрационных потерь от термического режима гидроузлов [9]. Изменения этого режима приводят к изменению зоны фильтрации и, как следствие, к изменению фильтрационных потерь.

Другое явление заключается в изменении объема чаши водохранилища [10]. Оно определяется, в основном, двумя причинами: оседанием ложа водохранилища при вытаивании льда из мерзлых грунтов и тепловой переработкой берегов водохранилища (термоабразия). Увеличение объема чаши водохранилища изменяет водный баланс последнего.

Еще одним специфическим процессом [11] является зимний уровеньный режим нижнего бьефа ГЭС. Уровень воды может повышаться из-за укорачивания полыньи ниже створа гидроузла, уменьшения пропускной способности русла при льдообразовании, а также в связи с перемерзанием потока. При этом расход воды, поступающей в нижний бьеф при работе ГЭС, выйдет на поверхность льда, еще повышая уровень нижнего бьефа. Текущий по поверхности льда поток также может перемерзнуть, что создает новый подъем уровня воды. В результате возможно образование мощных наледей, а также значительного подпора со стороны нижнего бьефа.

Ниже рассматриваются некоторые результаты исследований названных явлений.

Фильтрационные потери гидроузла на р. Ваче

На участке створа гидроузла коренные породы представлены глинистыми сланцами, перекрытыми гравелистыми грунтами с супесью. Мощность вечномерзлой толщи на водоразделе составляет около 40 м, под руслом и частью поймы реки существует сквозной талик.

В гидроузле применена плотина талого типа. Ее пойменные части располагаются на мерзлом основании, которое при эксплуатации будет неизбежно оттаивать.

Изменение фильтрационного расхода прослежено в течение 30 лет эксплуатации гидроузла, за которые произошло протаивание основания плотины. Результаты расчетов фильтрационного расхода даны в табл. 1.

Таблица 1

Изменение фильтрационного расхода гидроузла на р. Вача

Годы эксплуатации	1-й–5-й	6-й	10-й	18-й	20-й	30-й
Фильтрационный расход, тыс. м ³ /сут.	0	2,2	2,5	2,8	3,0	3,0

Расчеты фильтрационного расхода позволили уточнить величину полезного объема водохранилища.

Изменение размеров чаши водохранилища на р. Эбэлэх

Проведены расчеты размеров чаши с учетом тепловой осадки грунтов ложа водохранилища на р. Эбэлэх, на которой предполагается сооружение ГЭС. Относительная осадка достигает 40 %.



Результаты расчетов позволили выявить следующее:

– за 5-летний период мертвый объем водохранилища за счет тепловой осадки ложа увеличился с 10,42 до 19,17 млн м³, т. е. почти в 2 раза; объем чаши на уровне 35,1 м возрос с 25,84 до 35,76 млн м³; площадь зеркала на уровне УМО увеличилась в этот же период с 3,0 до 4,32 млн м²;

– увеличение объема чаши привело в период межени 1-го года эксплуатации к снижению потребления со 108,2 до 107,5 млн м³;

– накопление воды в половодье за счет увеличения чаши привело к возрастанию отдачи в межень со 108,2 до 110,7 млн м³;

– больший объем чаши в условиях малой водности дал снижение уровня верхнего бьефа и уменьшение отдачи водохранилища.

Отдача водохранилища гидроузла на р. Ваче

Относительная тепловая осадка грунтов ложа водохранилища с учетом повторно-жильных льдов достигает 30 %. Берега водохранилища на всем протяжении подвержены термоабразии.

В задачу расчетов входило определение водоотдачи водохранилища при тепловой осадке его ложа с учетом изменения морфометрических характеристик. Расчеты показали, что процесс формирования чаши водохранилища прогнозируется скоротечным: так, за 4 года грунты основания оттаивают на 4,5 м, объем чаши увеличивается на 48,5 %, а площадь зеркала – на 25,5 % от первоначальных на уровне НПУ.

Увеличение объема чаши приводит к возрастанию его возможной отдачи по объему воды: за 15 лет эксплуатации возможный годовой объем потребления возрос с 9,5 до 17,2 млн м³, т. е. почти в 2 раза.

Уровенный режим нижнего бьефа ГЭС на р. Эбэлэх

Водоохранилище обеспечивает зимний расход ГЭС, равный 0,61 м³/с при средней скорости течения в нижнем бьефе 0,2 м/с, ширине нижнего бьефа по урезу воды 5 м, глубине воды при открытом русле 0,8 м.

Для оценки уровенного режима выполнены расчеты температуры воды в водохранилище (табл. 2).

Таблица 2

Температура воды водохранилища ГЭС на р. Эбэлэх

Дата	Температура воздуха, °С	Уровень воды верхнего бьефа, м	Глубина определения температуры воды, м	Температура воды, °С
1.XI	-27,6	36,0	10,3 20,6 (дно)	0,07 0,4
1.XII	-32,1	35,6	10,0 20,0 (дно)	0,18 0,6
1.I	-35,5	34,5	9,4 18,8 (дно)	0,3 0,7
1.II	-33,2	33,6	9,0 18,0 (дно)	0,4 0,9
1.III	-28,8	33,0	8,5 17,0 (дно)	0,42 0,95
1.IV	-18,5	32,1	8,0 16,0 (дно)	0,44 1,0
1.V	-6,9	31,5	7,5 15,0 (дно)	0,5 1,03



Определение температуры воды водохранилища позволило оценить температуру воды, выходящей в нижний бьеф, и вычислить длину полыньи в нижнем бьефе (при начале ледостава 10.X), а также выполнить расчеты подпора уровня нижнего бьефа (табл. 3).

Таблица 3

Расчет подпора уровня нижнего бьефа ГЭС на р. Эбэлэх

Параметры реки в нижнем бьефе	Величина по датам зимнего периода, м						
	10.X	1.XI	1.XII	1.I	1.II	1.III	1.IV
Длина полыньи	959	61	113	137	216	290	551
Толщина льда текущего потока	0,1	0,27	0,66	Пр.	0,65	Пр.	0,67
Длина подпора ото льда	83	25	550	1733	1758	2425	2983
Подъем уровня на кромке льда	0,1	0,27	0,66	1,46	2,11	2,91	3,58
Естественное падение уровня воды	1,15	0,073	0,14	0,16	0,26	0,35	0,66
Подпор УНБ	-	0,2	0,52	1,3	1,85	2,56	2,92

«Пр.» в табл. 3, означает, что река перемерзла

Как следует из этой таблицы, к концу зимнего периода подпор уровня нижнего бьефа в створе ГЭС достиг 2,92 м, что составляет почти 20 % среднего напора ГЭС. Первый выход потока воды на поверхность льда пришелся на январь, в течение января и февраля этот поток также промерз, и вода вторично вышла на лед в марте. К началу апреля в нижнем бьефе образовался ледяной покров мощностью 3,58 м, что значительно превышает таковую в естественных условиях.

Выводы

Исследования специфических явлений при использовании водной энергии малых рек Северо-Востока показало:

- 1) фильтрационные потери существенно зависят от термического режима;
- 2) в результате тепловой осадки ложа водохранилища значительно изменяется водный баланс и отдача последнего;
- 3) изменения уровня режима нижнего бьефа могут привести к образованию в нижнем бьефе;
- 4) названные явления влияют на отдачу ГЭС, т. е. на изменение мощности и выработки электроэнергии, и поэтому должны учитываться при проектировании и эксплуатации ГЭС на малых реках Северо-Востока.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Куперман, В. Л. Гидроэнергетическое строительство на Севере / В. Л. Куперман, Ю. Н. Мызников, Л. Н. Торопов. – Москва : Энергоатомиздат, 1987. – 304 с.
2. Биянов, Г. Ф. Грунтовые плотины на вечной мерзлоте / Г. Ф. Биянов, О. А. Когодовский, В. И. Макаров. – Якутск : Институт мерзлотоведения, 1989. – 152 с.
3. Биянов, Г. Ф. Плотины на вечной мерзлоте / Г. Ф. Биянов. – Москва : Энергия, 1975. – 184 с.
4. Проектирование плотин для оросительных мелиораций в Центральной Якутии / АН СССР, Сиб. отд-ние, Институт мерзлотоведения ; отв. ред. Р. М. Каменский. – Якутск : Книжное издательство, 1976. – 235 с.



5. Богословский, П. А. Плотины из местных материалов и основания гидротехнических сооружений в районах распространения вечномерзлых грунтов / П. А. Богословский, Г. И. Кузнецов // Труды 6-го Совещания-семинара по обмену опытом строительства в суровых климатических условиях – Строительство на вечномерзлых грунтах : в 8 томах. – Красноярск, 1970. – Том VIII, Выпуск 1. – С. 228–236.

6. Соболев, С. В. Прогноз изменения водного баланса водохранилища при тепловой посадке его вечномерзлого ложа / С. В. Соболев, А. В. Февралев // Инженерное мерзлотоведение в гидротехнике : материалы конференции и совещания по гидротехнике. – Ленинград : Энергоатомиздат, 1989. – С. 181–187.

7. Анисимов, В. А. Опыт проектирования земляных плотин на вечной мерзлоте (на примере Магаданской обл.) / В. А. Анисимов // Проблемы инженерного мерзлотоведения в гидротехническом строительстве. – Москва : Наука, 1989. – С. 183–189.

8. Кудояров, Л. И. Грунтовые плотины и методы их возведения на Севере / Л. И. Кудояров // Инженерное мерзлотоведение в гидротехническом строительстве : материалы конференции и совещания по гидротехнике. – Ленинград : Энергоатомиздат, 1984. – С. 4–11.

9. Соболев, С. В. Температурный режим фильтрующих таликов в основании гидроузла и берегах водохранилища в условиях вечной мерзлоты / С. В. Соболев, А. В. Февралев // Известие Вузов. Строительство. – 1992. – № 5–6. – С. 106–110.

10. Оникиенко, Т. С. Особенности инженерно-геокриологических условий районов эксплуатируемых и проектируемых ГЭС на Крайнем Севере / Т. С. Оникиенко // Проблемы инженерного мерзлотоведения в энергетическом строительстве. – Москва : МИСИ, 1987. – С. 75–85.

11. Февралев, А. В. О термическом режиме нижнего бьефа малых ГЭС в условиях вечной мерзлоты / А. В. Февралев, С. Ю. Силкин // Динамика и термика рек, водохранилищ, внутренних и окраинных морей : тезисы докладов IV конференции. – Москва : ИВП РАН, 1994. – Том 11. – С. 80–81.

FEVRALEV Arkadiy Valentinovich, candidate of technical sciences, professor of the chair of hydraulic structures

SPECIFIC ASPECTS OF DEVELOPING HYDROPOWER RESOURCES OF SMALL RIVERS IN THE NORTH-EAST OF RUSSIA

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering.

65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603952, Russia.

Tel.: (831) 430-42-89; e-mail: gs@nngasu.ru

Key words: small rivers, North-East, hydroenergy resources, thermal regime.

The article discusses the impact of such phenomena as filtration losses, changes in the volume of the reservoir basin, and the level regime of the downstream section on the performance of small river hydroelectric power plants. The article also presents some research results on these phenomena.

REFERENCES

1. Kuperman V. L., Myznikov Yu. N., Toropov L. N. Hidroenergeticheskoe stroitelstvo na Severe [Hydropower construction in the North]. Moscow, Energoatomizdat, 1987, 304 p.

2. Biyanov G. F. Gruntovye plotiny na vechnoy merzlotte [Ground dams on permafrost]. Yakutsk, In-t merzlotovedeniya, 1989, 152 p.



3. Biyanov G. F. Plotiny na vechnoy merzlate [Dams on permafrost]. Moscow, Energiya, 1975, 184 p.
4. Proektirovanie plotin dlya orositelnykh melioratsii v Tsentralnoy Yakutii [Design of Dams for Irrigation Land Reclamation in Central Yakutia]. Pod red. R. M. Kamenskogo. Yakutsk, Knizhnoe izdatelstvo, 1976, 234 p.
5. Bogoslovskiy P. A., Kuznetsov G. I. Plotiny iz mestnykh materialov i osnovaniya gidrotekhnicheskikh sooruzhenii v raionakh rasprostraneniya vechnomerzlykh gruntov [Dams from local materials and foundations of hydraulic structures in areas of permafrost distribution]. Trudy VI Soveshchaniya-seminara po obmenu opytom str-va v surovyykh klimatich. Usloviyakh. Moscow, 1970. Vol. VIII, Iss.1, P. 228–236.
6. Sobol S. V., Fevralev A. V. Prognoz izmeneniya vodnogo balansa vodokhranilishcha pri teplovy osadke ego vechnomerzlogo lozha [Forecast of changes in the water balance of a reservoir during thermal precipitation of its permafrost bed]. Inzhenernoe merzlotovedenie v gidrotekhnike [Engineering permafrost science in hydraulic engineering]: materialy konf. i soveshch. po gidrotekhnike. Leningrad, Energoatomizdat, 1989, P. 181–187.
7. Anisimov V. A. Opyt proektirovaniya zemlyanykh plotin na vechnoy merzlate (na primere Magadanskoj obl.) [The experience of designing earthen dams on permafrost (on the example of the Magadan region)]. Problemy inzhener. merzlotovedeniya v gidrotekhn. str-ve [Permafrost Engineering in Hydraulic Construction]. Moscow, Nauka, 1989, P. 183–189.
8. Kudoyarov L. I. Gruntovye plotiny i metody ikh vozvedeniya na Severe [Ground dams and methods of their construction in the North]. Inzhenernoe merzlotovedenie v gidrotekhnicheskome stroitelstve [Permafrost Engineering in Hydraulic Construction]: Materialy konf. i soveshch. po gidrotekhnike. Leningrad, Energoatomizdat, 1984, P. 4–11.
9. Sobol S. V., Fevralev A. V. Temperaturny rezhim filtruyushchikh talikov v osnovanii gidrouzla i beregakh vodokhranilishcha v usloviyakh vechnoi merzloty [The temperature regime of filtering taliks at the base of the hydroelectric complex and the shores of the reservoir in permafrost conditions]. Izv. Vuzov. Str-vo. 1992, № 5–6, P. 106–110.
10. Onikienko T. S. Osobennosti inzhenerno-geokriologicheskikh usloviy rayonov ekspluatiruemykh i proektiruemykh GES na Krainem Severe [Features of engineering and geocryological conditions of areas of operated and projected hydroelectric power plants in the Far North]. Problemy inzhenernogo merzlotovedeniya v energeticheskom stroitelstve [Problems of permafrost engineering in energy construction]. Moscow, MISI, 1987, P. 75–85.
11. Fevralev A. V., Silkin S. Yu. O termicheskom rezhime nizhnego befa malykh GES v usloviyakh vechnoi merzloty [On the thermal regime of the tailwater of small hydroelectric power plants in permafrost conditions] Dinamika i termika rek, vodokhranilishch, vnutrennikh i okrainnykh morey [Dynamics and thermal regime of rivers, reservoirs, inland and marginal seas]: tezisy dokladov IV konferentsii, Moscow, IVP RAN, 1994, Vol. 11, P. 80–81.

© А. В. Февралев, 2026

Получено: 16.12.2025 г.