

УДК 504.455:556.555.8:556.557

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЪЕМОВ ДРЕВЕСНОЙ МАССЫ, ПОСТУПАЮЩЕЙ НА АКВАТОРИЮ В ПРОЦЕССЕ РАЗМЫВА БЕРЕГОВ ВОДОХРАНИЛИЩ ГЭС

Пережилин А.И., Корпачев В.П., Андрияс А.А., Попова А.А., Рахимов К.Х.

Сибирский государственный технологический университет, Красноярск, e-mail: ivr@sibgtu.ru

В Сибири находится около половины потенциала экономически эффективных гидроэнергетических ресурсов России, и в основном он сосредоточен (72%) в бассейне рек Енисей и Ангара. В перспективе планируется строительство ряда ГЭС и создание для их работы водохранилищ. С момента наполнения водохранилища начинается становление нового водного объекта и процесс формирования его берегов. Размыв берегов водохранилищ лесопокрываемых регионов Сибири служит причиной поступления на акваторию значительных объемов древесной массы, создающей трудности для водопользования. Это обуславливает необходимость проведения работ по прогнозированию засорения проектируемых водохранилищ древесной массой в процессе наполнения и эксплуатации. В статье излагается методика определения объемов поступления древесины от размыва берегов, которая применена на водохранилище Богучанской ГЭС. Предлагаемый метод может быть использован для прогнозирования поступления древесной массы на акваторию существующих и проектируемых водохранилищ ГЭС в лесных регионах.

Ключевые слова: лесопокрываемые территории, водохранилище, размыв берегов, древесная масса, методика прогнозирования, Богучанская ГЭС

METHOD FOR DETERMINING THE VOLUME OF WOOD PULP ON THE WATER AREA DURING EROSION OF SHORES OF THE RESERVOIRS HPS

Perezhilin A.I., Korpachev V.P., Andriyas A.A., Popova A.A., Rakhimov K.K.

Siberian state technological university, Krasnoyarsk, e-mail: ivr@sibgtu.ru

In Siberia is about half of the potential cost-effective hydropower resources in Russia and is mainly concentrated (72%) in the basin of the Enisey and Angara. It is planned to build a number of HPS and the creation of reservoirs for their work. Since the filling of the reservoir begins the formation of a new water object and the formation of its shores. Scour the shores of reservoirs in forest regions of Siberia is the cause of entering on the water area of significant amounts of wood pulp, which creates difficulties for water consumption. This causing the need to work forecasting clogging reservoirs projected wood pulp in the process of filling and operation. In this article describes the method of determining volumes of admission of wood from coastal erosion, which is applied on the reservoir of the Boguchanskaya HPS. The proposed method can be used to forecasting of entering of wood pulp in the water area of existing and planned reservoirs HPS in forest regions.

Keywords: wooded area, reservoir, coastal erosion, wood pulp, forecasting technique, Boguchanskaya HPS

В структуре энергетического обеспечения России на долю ГЭС приходится 22%. В Сибири созданы каскады ГЭС: Иркутская, Братская, Усть-Илимская, Богучанская на Ангаре и Саяно-Шушенская, Майнская, Красноярская – на Енисее. При этом уровень освоения экономически эффективных гидроэнергоресурсов составляет всего 26%. Планируется использовать гидроэнергетический потенциал республики Тыва: Тувинская, Шивелигская, Шуйская, Буренская ГЭС на реках Большой и Малый Енисей [5].

Водоохранилища для работы ГЭС в Сибири создавались в пределах водосборов рек, расположенных на покрытых лесом территориях. Поэтому, несмотря на разнообразие природно-климатических и морфологических условий формирования лож водохранилищ, их объединяет одна проблема – затопление лесных массивов и процесс образования запасов плавающей древесины на акваториях водохранилищ, которая не только влияет на качество воды и экосисте-

му, но и представляет опасность для судоходства и ГЭС [3].

Цель исследования – определение объемов древесной массы, поступающей при размыве берегов водохранилищ ГЭС в процессе их заполнения и эксплуатации, для разработки научно обоснованных управленческих решений по исключению негативного воздействия.

Материалы и методы исследования

Аналитический обзор ранее выполненных исследований, проведенных сотрудниками кафедры использования водных ресурсов СибГТУ.

Результаты исследования и их обсуждение

При создании водохранилища на выполнение работ по подготовке ложа под затопление (влияющих в дальнейшем на качество воды и водопользование), а также компенсационные и природоохранные мероприятия требуются значительные

финансовые затраты. Поскольку главным объектом является строительство ГЭС, то лесочистке лож водохранилищ не уделяется должного внимания. Поэтому в разные годы затоплялось без лесочистки от 35 до 67% покрытых лесом площадей [3]. К настоящему времени только водохранилищами ГЭС Сибири затоплено более 695 тыс. га лесных земель (табл. 1).

Протяженность абразионных берегов на некоторых водохранилищах достигает 50–70% от общей длины (на Иркутском водохранилище составляет 38%, Братском – 41%, Усть-Илимском – 25%, Красноярском – 71%), а скорость отступления бровки берега составляет десятки и сотни метров в год [3].

Водоохранилище Богучанской ГЭС располагается в бассейне нижнего течения

Таблица 1

Характеристика водохранилищ ГЭС Ангаро-Енисейского бассейна

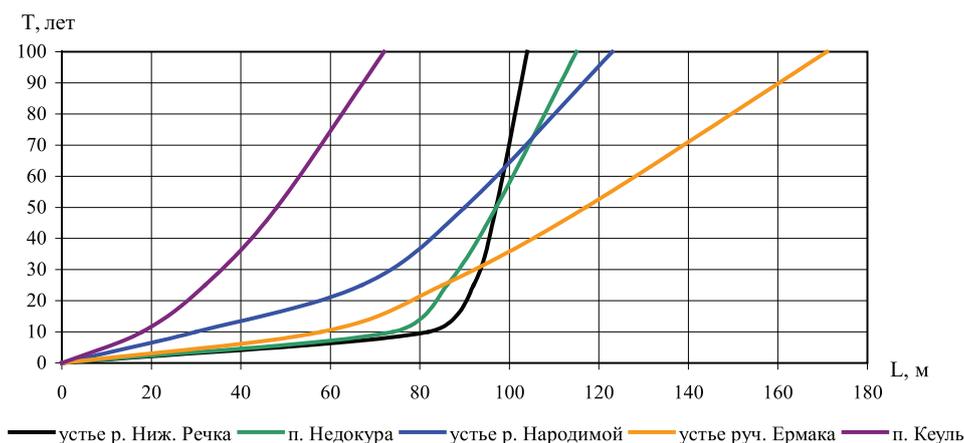
Показатель	Водоохранилище							Всего
	Иркутское	Братское	Красноярское	Усть-Илимское	Саяно-Шушенское	Майнское	Богучанское	
Год заполнения водохранилища	1959	1967	1970	1977	1990	1984	2015	–
Полный объем водохранилища, км ³	48,6	169,3	73,3	59,4	31,3	0,1	58,2	440,2
Величина колебания уровней, м	1	10	20	2	40	5	1	–
Площадь зеркала, км ²	32965	5470	2100	1833	621	11	2326	45326
Площадь затопления, тыс. га в том числе покрытая лесом	138,6 45,3	510,5 326,9	175,0 38,0	154,0 127,8	54,6 48,9	0,5 0,2	153,1 108,4	1186,3 695,5
Длина береговой линии, км	2200	6036	1560	2500	1364	47	2430	16137

Берега водохранилищ находятся под воздействием ветровых волн, вдольбереговых течений, колебания уровня воды, воздействия ледового поля.

Разрушение берегов ведет к отступлению береговой линии и формированию нового берегового профиля с плоским откосом. Особенно сильно деформируются участки там, где берега сложены лессовыми грунтами. Переработка берегов наиболее интенсивно происходит в первые годы эксплуатации, а затем постепенно затухает. Период активной переработки берега занимает обычно от 5 до 10 лет, а для стабилизации берега требуется до 20–30 лет [7]. Так, на водохранилищах Ангары, строительство которых было в основном завершено в 1959–1977 годах, продолжает активно формироваться береговая линия, интенсивно развиваются абразивные процессы, эрозионные и другие негативные геологические явления. Эти процессы не только не затухают, а, наоборот, увеличиваются как по размерам, так и по темпам развития [2]. Интенсивность развития абразионных процессов на водохранилищах и в настоящее время также продолжает оставаться достаточно высокой.

Ангары, в основном на территории Кежемского района Красноярского края и частично, около 16% по площади зеркала, на территории Усть-Илимского района Иркутской области. Берега водохранилища на большом протяжении сложены скальными и полускальными породами, поэтому переработка берегов будет незначительной. Максимальная ширина зоны переработки может иметь место в основном на участках, сложенных рыхлыми породами, и достигать в конечную стадию этого процесса около 300 м. Абразионные берега по протяженности распространяются на 766 км, что составляет 31,5% от периметра береговой линии [1]. На рисунке представлены некоторые результаты обработки материалов [1] по прогнозу размыва берегов в пяти створах Богучанского водохранилища.

Интенсивность переформирования берегов водохранилищ зависит от многих факторов: уровневого режима водохранилища, ветро-волновых условий, геологического строения береговых склонов и ложа водохранилища, морфологических особенностей, гидрологических процессов, степени залесенности береговой полосы водохранилищ.



Прогноз размыва берегов водохранилища Богучанской ГЭС

В литературе, рассматривающей проблему размыва берегов водохранилищ, основное внимание уделено процессу размыва берегов, сложенных из определенных типов грунта, т.е. только лишь с геологической точки зрения; не связывается размыв берегов с характером лесонасаждений на этих участках, препятствующих размыву. Но при этом, в результате размыва берегов, вместе с обвалами грунтов и выпадением их в ложе водохранилища, происходит отпад древесины с берегов водохранилищ. Поэтому, рассматривая динамические процессы на водохранилищах, необходимо связывать между собой размыв берегов с объемами древесной массы, поступающей на акваторию водохранилищ.

Исходными данными для определения объемов поступления древесной массы на акваторию водохранилища в результате размыва берегов являются:

- карты инженерно-геологического районирования берегов водохранилища, прогнозирующие (или позволяющие спрогнозировать) ширину размыва на 10-, 25-летнюю и т.д. стадию и построенные с учетом энергии ветрового волнения для каждого расчетного участка, уровня режима водохранилища, геолого-морфологического строения береговых склонов и физико-механических свойств отложений, слагающих берега, их размываемости;
- карты-схемы размещения лесных кварталов, примыкающих к береговой линии водохранилища;
- таксационные описания лесных кварталов, примыкающих к береговой линии.

Совмещая эти карты, определяют границы размыва лесных кварталов.

Метод определения объемов поступления древесной массы на акваторию водохранилища в результате размыва его берегов, примененный для Богучанского водохранилища в работе [6], заключается в следующем. В начале определяются границы участков однотипного грунта и их протяженности по береговой линии, используя карту берегов водохранилища, каждому участку присваивается порядковый номер. Полученные данные заносят в графы 1 и 2 расчетной таблицы.

В графу 3 вносятся значения среднегодового отступления береговой кромки на данном участке, взятые по материалам многолетних наблюдений гидрометеорологических постов на действующих водохранилищах, а при их отсутствии – используют данные по водохранилищу-аналогу или прогнозные.

В графу 4 записывается площадь размыва – результат перемножения длины береговой полосы участка (графа 2) на величину отступления береговой кромки (графа 3).

В графе 5 проставляется номер лесных кварталов, расположенных в границах расчетного участка, выделенного на геологической карте. Номера кварталов выписываются с карты-схемы размещения лесных кварталов вдоль побережья водохранилища, при совмещении ее с геологической картой.

В графы 6–9 выписываются таксационные показатели этих кварталов, по которым определяют средние запасы древесины на гектар общей площади (путем деления соответствующих запасов на общую площадь), и данные вносятся в графы 10–12.

Перемножением средних запасов на гектаре различных видов древесины

Таблица 2

Прогноз объемов древесины, поступающей на акваторию водохранилища
Богучанской ГЭС от размыва его берегов

№ п/п	Геометрия размыва берегов водохранилища			Таксационная характеристика кварталов, примыкающих к береговой линии водохранилища				Средний запас на 1 га общей площади, м ³ /га				Расчетные объемы древесины, поступающей на акваторию водохранилища, м ³			
	длина, м	ширина, м	площадь, га	номер квартала	запас, м ³			общая площадь, га	растущего леса	сухостоя	валежника	растущего леса	сухостоя	валежника	суммарный
6	7	8	растущего леса		сухостоя	валежника									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Красноярский край, Козинский лесхоз, Козинское лесничество (правый берег р. Ангара)															
1.	1300	берег отсыпан камнем		232	177840	5810	2450	976	182,2	6,0	2,5	–	–	–	0,0
2.	2100			233	154280	570	4310	842	183,2	0,7	5,1	–	–	–	0,0
3.	2100	1,7	0,357	234	203950	3210	940	914	223,1	3,5	1,0	79,6	1,2	0,4	81,2
4.	7700	6,0	4,620	263	145330	5310	3880	583	249,3	9,1	6,7	1151,8	42,0	31,0	1224,8
...
15.	6000	8,7	5,220	353	195570	–	–	650	300,9	–	–	1570,7	–	–	1570,7
16.	7600	6,2	4,712	363	298950	–	–	1114	268,4	–	–	1264,7	–	–	1264,7
17.	8000	6,2	4,960	365	427950	–	–	1328	322,3	–	–	1598,6	–	–	1598,6
Σ	100600		36,269									9760,3	163,0	256,6	10179,9
Козинский лесхоз, Проспихинское лесничество (левый берег р. Ангара)															
1.	12500	1,7	2,125	3	64890	880	8940	299	217,0	2,9	29,9	461,1	6,2	63,5	530,8
2.	400	1,7	0,068	7	153530	6180	30380	807	190,2	7,7	37,6	12,9	0,5	2,6	16,0
3.	2500	2,5	0,625	266	118910	5670	15180	462	257,4	12,3	32,9	160,9	7,7	20,6	189,2
...
Итого	1243440		744,742									148195,7	2360,1	4663,6	155219,4
Иркутская область, Кеульское лесничество, бассейн р. Едарма (левый берег р. Ангара)															
1.	1600	2,3	0,368	1	141660	3520	2010	857	165,3	4,1	2,3	60,8	1,5	0,8	63,1
2.	3600	2,3	0,828	6	241110	3750	3660	1288	187,2	2,9	2,8	155,0	2,4	2,3	159,7
Σ	5200		1,196									215,8	3,9	3,1	222,8
Катинский КЛПХ, Катинское и Зелединское (Сосновская дача) лесничества (правый берег р. Ангара)															
1.	2200	3,7	0,814	254	152290	–	–	825	184,6	–	–	150,3	–	–	150,3
2.	4550	3,7	1,684	257	323130	–	–	1640	197,0	–	–	331,7	–	–	331,7
3.	4400	3,7	1,628	98	155300	11090	11240	733	211,9	15,1	15,3	345,0	24,6	24,9	394,5
...
Итого	330410		86,747									18202,6	626,7	704,9	19534,2
Всего	1573850		831,489									166398,3	2986,8	5368,5	174753,6

(графы 10–12) на площадь размыва (графа 4) получаем объем поступления древесной массы в водохранилище с расчетного участка и записываем в графы 13–15, а их сумму – в графу 16. Повторяя расчеты для всех участков, в итоге получим объем древесной массы, поступающей в водохранилище от размыва берегов.

В качестве примера в табл. 2 представлен фрагмент расчета прогнозных объемов поступления древесины с размываемых берегов водохранилища Богучанской ГЭС при отметке нормального подпорного уровня 208,0 м БС по материалам отчета [6].

Аналогичным образом, зная величину размыва, можно определить количество поступающих в водохранилище других загрязняющих веществ с размываемых берегов: гумус, лесная подстилка и т.п.

Выводы

1. Интенсивность переформирования берегов водохранилищ и поступление древесной массы на акваторию зависит от многих факторов (геологическое строение, морфология, энергия волнового воздействия и т.д.). Среднегодовое поступление древесной массы с размываемых берегов Богучанского водохранилища составит около 175 тыс. м³ в год.

2. Предлагаемый метод определения объемов поступления древесной массы с размываемых берегов водохранилищ может быть использован для водохранилищ, построенных на лесопокрытых территориях.

3. Для защиты интенсивно размываемых берегов водохранилищ

необходимо использовать плавучие волногасители простых конструкций из древесины, собранной с акватории водохранилища [4].

Исследование выполнено при финансовой поддержке КГАУ «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности» в рамках научного проекта № 05/15.

Список литературы

1. Богучанское водохранилище. Подземные воды и инженерная геология / под ред. чл.-кор. АН СССР М.М. Одинова. – Новосибирск: «Наука», 1979. – 158 с.
2. Воздействие каскада Ангарских водохранилищ // Государственный доклад о состоянии окружающей природной среды Иркутской области в 1995 году. – Иркутск, 1996. – С. 83–85.
3. Корпачев В.П., Пережилин А.И., Андрияс А.А. Водохранилища ГЭС Сибири. Проблемы проектирования, создания и эксплуатации: монография. – Красноярск: СибГТУ, 2015. – 209 с.
4. Корпачев В.П., Пережилин А.И., Андрияс А.А., Гайдуков Г.А. Динамическое воздействие ветровых волн на плавучие волногасители из некондиционной древесины // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 6–4. – С. 840–844.
5. Лапин Г.Г., Смирнов В.В., Ваксова Е.И. О состоянии и перспективах развития гидроэнергетики России // Гидротехническое строительство. – 2007. – № 6. – С. 9–15.
6. Разработка прогноза засорения и загрязнения водохранилища Богучанской ГЭС древесной массой и органическими веществами, комплекса предложений по очистке водохранилища от древесной массы: отчет о НИР / ГОУ ВПО «Сибирский государственный технологический университет»; рук. В.П. Корпачев. – Красноярск, 2006. – 85 с.
7. Рекомендации по оценке и прогнозу размыва берегов равнинных рек и водохранилищ для строительства / ПНИИ-ИС. – М.: Стройиздат, 1987. – 72 с.

References

1. *Boguchanskoe vodohranilishhe. Podzemnye vody i inzhenernaya geologiya* [Boguchanskoye reservoir. Groundwater and geological engineering]. Novosibirsk, 1979. 158 p.
2. *Gosudarstvennyy doklad o sostoyanii okruzhayushey prirodnoy sredy Irkutskoy oblasti v 1995 godu* [State report on the condition of environment of the Irkutsk region in 1995]. Irkutsk, 1996, pp. 83–85.
3. Korpachev V.P., Perezhilin A.I., Andriyas A.A. *Vodohranilishha GES Sibiri. Problemy proektirovaniya, sozdaniya i ekspluatacii* [Reservoirs of HPS in Siberia. Problems of design, build and operate]. Krasnoyarsk, SibGTU, 2015. 209 p.
4. Korpachev V.P., Perezhilin A.I., Andriyas A.A., Gajdukov G.A. *Fundamental'nye issledovaniya – Fundamental research*, 2013, no. 6–4, pp. 840–844.
5. Lapin G.G., Smirnov V.V., Vaksova E.I. *Gidrotehnicheskoe stroitel'stvo – Hydraulic engineering*, 2007, no. 6, pp. 9–15.
6. *Razrabotka prognoza zasoreniya i zagryazneniya vodohranilishha Boguchanskoy GES drevesnoy massoy i organicheskimi veshhestvami, kompleksa predlozheniy po oчитке vodohranilishha ot drevesnoy massy: otchet o NIR* [Development of forecast contamination and pollution of the reservoir of the Boguchanskaya HPS wood pulp and organic substances, a set of proposals for the clearing of the reservoir from the wood pulp: research report]. Krasnoyarsk, 2004. 85 p.
7. *Rekomendacii po oцenke i prognozu razmyva beregov ravninnyh rek i vodohranilishch dlya stroitel'stva* [Recommendations for evaluation and forecast of the erosion coast of lowland rivers and reservoirs for construction] / PNIIS. Moscow, 1987. 72 p.

Рецензенты:

- Рогов В.А., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой безопасности жизнедеятельности, ФГБОУ ВО СибГТУ, г. Красноярск;
- Шевелев С.Л., д.с.-х.н., профессор, заведующий кафедрой лесной таксации, лесоустройства и геодезии, ФГБОУ ВО СибГТУ, г. Красноярск.