

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Институт экологии и географии
Кафедра географии

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ Г. Ю. Ямских
подпись инициалы, фамилия
« ____ » _____ 2020 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

05.03.02 География

05.03.02.02 «Физическая география и ландшафтоведение»

Процессы берегопереработки Красноярского водохранилища

Научный руководитель	_____	<u>проф., д-р геогр. наук</u>	<u>Г. Ю. Ямских</u>
	подпись, дата	должность, учёная степень	инициалы, фамилия
Выпускник	_____		<u>Н. С. Диль</u>
	подпись, дата		инициалы, фамилия
Нормоконтролер	_____		<u>В. О. Брунгардт</u>
	подпись, дата		инициалы, фамилия

Красноярск 2020

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1 Характеристика Красноярского водохранилища.....	6
1.1 История Красноярского водохранилища	6
1.2 Территориальное положение и характеристика Красноярского водохранилища.....	7
2 Процессы переработки берегов водохранилищ и методы их прогнозирования	13
2.1 Переработка берегов водохранилищ: сущность, масштабы, последствия.....	13
2.2 Обзор методов прогнозирования переработки берегов	16
2.2.1 Метод прогнозирования переработки берегов Г.С. Золотарева	20
2.2.2 Метод прогнозирования переработки берегов Е. Г. Качугина	23
3 Переработка берегов Красноярского водохранилища	38
3.1 Экзогенные геологические процессы в береговой зоне Красноярского водохранилища.....	Ошибка! Закладка не определена.
3.2 Этапы исследования береговой зоны Красноярского водохранилища	Ошибка! Закладка не определена.
3.3 Оценка состояния береговой зоны Красноярского водохранилища	Ошибка! Закладка не определена.
4 Прогноз переработки берегов Красноярского водохранилища на 10, 20 и 30 лет	Ошибка! Закладка не определена.
Список использованных источников	41
Приложение А Карта – схема состояния берегов Красноярского водохранилища на 1981 – 1982 гг.....	45
Приложение Б Карта – схема состояния берегов Красноярского водохранилища на 2013 гг.....	46

ВВЕДЕНИЕ

Существует огромное многообразие разномасштабных влияний человеческой деятельности на природную среду. Одним из масштабных действий является строительство гидротехнических сооружений - водохранилищ и их последующая эксплуатация.

В обществе редко какая-либо экономическая деятельность вызывала такое большое количество споров, как создание искусственных водоёмов. Но, при этом, их создание во многих регионах позволило решить насущные проблемы: по водоснабжению населения и промышленных объектов, получению дешевой электроэнергии, ирригации, развитию водного транспорта, защиты урбанизированных территорий от наводнений.

Стоит обратить особое внимание на рост недовольства населения водохранилищами и желания по их устранению. Это объясняется как объективными, так и субъективными причинами. Часто это связано с волевыми решениям из-за отсутствия глубоких исследований и проработок в период проектирования и подготовки водохранилищ; гигантомании, приведшей к созданию водохранилищ-монстров; игнорированию психологических и социальных, экологических, медико-биологических и экономических проблем, связанных с переселением людей из зон воздействия водохранилищ. В последние годы выявились и некоторые грубые нарушения проектных режимов эксплуатации, осуществляемые для выполнения несвойственных водохранилищам функций в целях покрытия просчетов и недостатков в работе ряда отраслей.

В настоящее время в России создано около 2260 водохранилищ с объемом от 0,1 до 1 км и выше, а также несколько тысяч более мелких искусственных водоемов [1–4]. Это повлекло за собой преобразование ландшафтов бассейнов рек и естественных озер на площади свыше 700 тыс. кв. км и затронуло социально-экономическую инфраструктуру территорий общей площадью до 1,5 млн кв. км [5–6].

Вопрос заключается в том, как предотвратить или уменьшить потерю ценных прибрежных земель и восстановить пригодность побережья для рекреационных целей. Общепринято, что берегопереработка в прибрежных зонах происходит из-за негативного воздействия воды. Практически не учитывается возможность возникновения опасных экзогенных процессов (ЭГП) в береговой зоне. При этом они возникают и усиливаются волновой деятельностью и колебанием уровня воды в водохранилищах. К опасным экзогенным геологическим процессам в береговой зоне относятся - оползни, осыпи, береговая абразия и эрозия, возникновение крупных оврагов и т.п. Механизмы возникновения и развития этих процессов непосредственно в прибрежных зонах водохранилищ изучены до сих пор слабо, отсутствуют универсальные методы мониторинга, прогнозирования и предотвращения опасных экзогенных процессов в прибрежных зонах водохранилищ.

Разработка планов социально-экономического развития прибрежных регионов, рационального использования природных ресурсов при сохранении экологической безопасности невозможны без понимания динамических процессов, происходящих в береговой зоне. С этой точки зрения научно обоснованные прогнозы воздействия природных и антропогенных факторов на окружающую среду, разработка критериев уязвимости побережья на основе современных знаний о физических и динамических процессах чрезвычайно важны для решения не только теоретических, но и практических задач в прибрежных зонах побережий водохранилищ России..

Актуальность исследований береговых зон водохранилищ обусловлена отсутствием разработанной методологии для комплексного изучения прибрежной зоны в целом, включая оценку значимости всех природных и антропогенных процессов, определяющих современную трансформацию конкретных прибрежных геоморфологических образований.

Основная задача при исследовании водохранилищ сводится к сбору объективной информации о состоянии водных объектов, направленной на разработку мероприятий по улучшению геоэкологической обстановки в

различных ландшафтных зонах. На основании вышесказанного можно сделать вывод, что изучение процессов переработки берегов и разработка методов прогнозирования этого явления имеет огромное практическое значение.

Цель работы: оценить процессы берегопереработки Красноярского водохранилища.

Задачи:

1. На основании анализа литературных источников дать характеристику Красноярскому водохранилищу.

2. Изучить теоретические основы процессов берегопереработки на водохранилищах разного типа и факторов их определяющих, методах прогнозирования берегопереработки в береговой зон водохранилищ.

3. Выявить этапы исследований береговой зоны Красноярского водохранилища, произвести анализ экзогенно- геологических процессов в береговой зоне с учетом прогнозных изменений.

Предметом изучения являются процессы переработки берегов водохранилищ и методы их прогнозирования.

Объектом исследования выступает Красноярское водохранилище.

Для решения поставленных задач использовались традиционные геоморфологические (метод опорных участков), топографические методы, а также современные методы геоинформатики и программного обеспечения ГИС.

1 Характеристика Красноярского водохранилища

1.1 История Красноярского водохранилища

В конце девятнадцатого века, когда на реке Березовка Алтайского края было создано водохранилище Зырянской ГЭС с использованием гидроэнергетического потенциала, началось создание водохранилищ Сибири [7]. Значительный размах строительства водохранилищ в Сибири получило во второй половине двадцатого века, связано это со строительством Красноярского водохранилища на одной из крупнейших рек земного шара Енисее.

Красноярское водохранилище создано путем сооружения плотины в среднем течении р. Енисей и расположено на территории Красноярского края и Республики Хакасия. Наполнение водохранилища происходило с февраля 1967 года по август 1970 года, образование первых подвижек определялось сочетанием подъема уровня, воздействия ветровых волн, ослабленностью пород и их литологическими особенностями. В течение каждого последующего года заполнения уровень водоема оказывался на более высоких отметках, а абразионные формы, выработанные в предыдущий безледоставный период, затоплялись на большую глубину. В связи с этим, формирование берегов на преобладающей части водохранилища каждый год возвращалось вновь к начальной стадии, но на более высоких отметках склона.

При создании Красноярского водохранилища были затоплены земли Емельяновского, Балахтинского, Даурского, Новосёловского, Краснотуранского и Минусинского районов Красноярского края, Богградского и Усть Абаканского районов Республики Хакасия. В зону затопления попало сто тридцать два населенных пункта. Всего было переселено шестьдесят тысяч человек, перебазировано несколько десятков предприятий, перенесено почти четырнадцать тысяч строений.

Главной проблемой создания водохранилища на р. Енисей являлась

недостаточная подготовка ложа водного объекта к затоплению, отсутствие лесосводки, лесочистки. Около 80% всей площади водохранилища пришлось на затопленную сушу, из которой 21% был занят лесами. В процессе наполнения водохранилища было затоплено 38 тыс. га леса и кустарников, 120 тыс. га сельскохозяйственных земель [8].

С момента заполнения водохранилища по настоящее время происходят масштабные трансформации геологической среды, это связано со строительством крупного водоёма на территории Сибири в сложных инженерно-геологических условиях. Стремительное преобразование естественного геолого-геоморфологического пространства повлекло за собой возникновение и активизацию экзогенных геологических процессов (ЭГП). В зависимости от сочетания природных условий и техногенных факторов ЭГП приобретают различную динамику, масштабы, механизмы и формы проявления. Особенно активно они развиваются в береговой зоне эксплуатируемого искусственного водоема [9].

С первых лет создания водохранилища рядом научно-исследовательских институтов и организаций было начато изучение гидрологического и гидрохимического режимов, процессов формирования флоры и фауны водоема. В системе Росводресурсов под руководством Енисейского БВУ мониторинг Красноярского водохранилища осуществляют Федеральное государственное учреждение «Управление эксплуатации Красноярского водохранилища» и Федеральное государственное учреждение «Енисейрегионводхоз», выполняющие большой объем организационно-контрольных работ за состоянием данного водного объекта, благоустройством его акватории и берегов.

1.2 Территориальное положение и характеристика Красноярского водохранилища

На территории Красноярского края находятся шесть водохранилищ

гидроэнергетики. Водные ресурсы р. Енисей зарегулированы Енисейским каскадом гидроузлов, включающим Саяно-Шушенскую, Майнскую и Красноярскую ГЭС. Общий объем зарегулированных ресурсов в водохранилищах каскада ГЭС составляет $104,7 \text{ км}^3$, полезный объем – $38,3 \text{ км}^3$, общая площадь водохранилищ каскада ГЭС – $2632,5 \text{ км}^2$. Водные объекты размещены на территории нескольких субъектов Российской Федерации в бассейне реки Енисей и имеют комплексное назначение (водные ресурсы водоемов используются для нужд энергетики, водного транспорта, коммунального хозяйства, ирригации, а также в рекреационных целях).

На рисунке 1 изображена схема Красноярского водохранилища.



1 - водомерный пост, 2 - метеостанция, 3 - волнограф, 4 - плавающие метеостанции

Рисунок 1 – Схема Красноярского водохранилища: [10]

Красноярское водохранилище, расположено (рисунок 2) в верхней части среднего течения реки Енисей ($55^{\circ}06'35''$ с. ш. $91^{\circ}34'38''$ в. д.), растянуто в меридиональном направлении с севера на юг вдоль русла Енисея почти на 396 километров от места впадения в Енисей реки Абакан в районе г. Абакан до плотины Красноярской ГЭС вблизи г. Дивногорска. Начиная от плотины, участок водохранилища на протяжении 68 км, расположен в узком каньоне - месте, где Енисей пересекает Красноярский кряж Восточного Саяна, по левобережью которого расположено Курбатово-Сырское белогорье, а по правобережью - Манское белогорье [10].



Рисунок 2 – Схема административно-территориального устройства в районе Красноярского водохранилища (выполнено автором)

Красноярское водохранилище – глубоководный водоем комплексного использования, площадь которого при НПУ 2000 км², объем 73,3 км³, протяженность около 390 км, средняя ширина 5 км (максимальная – 15 км), средняя глубина 37 м (наибольшая – 105 м). Проектная амплитуда уровня воды 18 м. Основные параметры Красноярского водохранилища приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные параметры Красноярского водохранилища [11]

Наименование параметров	Единицы измерения	Значение
Нормальный подпорный уровень, НПУ	м	243,0
Максимальный допустимый уровень (форсированный подпорный), ФПУ	м	243,5
Уровень принудительной предполоводной сработки по состоянию на 1 мая, УПС	м	233,0
Минимальный навигационный уровень (по условию подхода к судоподъемнику), УМО рекомендованный	м	230,0
Минимальный допустимый уровень (мертвого объема), УМО проектный	м	225,0
Объем при НПУ	км ³	73,3
Объем при УМО 225 м	км ³	42,9
Объем при УМО 230 м	км ³	50,4
Полезный объем при УМО 225 м	км ³	30,4
Полезный объем при УМО 230 м	км ³	22,9
Площадь зеркала при НПУ	км ²	2000,0
Площадь зеркала при УМО 225 м	км ²	1382,0
Площадь зеркала при УМО 230 м	км ²	1555,0
Длина водохранилища при НПУ	км	396,0
Длина водохранилища при УМО 230 м	км	302,0
Ширина средняя при НПУ	км	5,3
Ширина максимальная при НПУ	км	15,0
Глубина средняя при НПУ	м	36,0
Глубина максимальная при НПУ	м	110,0
Протяженность береговой линии при НПУ	км	2560,0

Цель создания Красноярского гидроузла-развитие энергетики. Так, средняя годовая выработка электроэнергии Красноярской ГЭС, за период с 1985 г., составила 18,3 млрд. кВтч. Кроме того, водные ресурсы водохранилищ

используются для водоснабжения, ирригации, рыбного хозяйства, безопасного пропуска половодий и паводков, водного транспорта, а также в рекреационных целях.

На сегодняшний момент Красноярский гидроузел выполняет свои функции в составе Енисейской ветви Ангаро-Енисейского каскада ГЭС, куда также входят, последовательно вверх по течению р. Енисей, Майнская и Саяно-Шушенская ГЭС (рисунок 3). Майнская ГЭС является контррегулятором Саяно-Шушенской ГЭС. Водохранилища Саяно-Шушенской и Красноярской ГЭС осуществляют годичное регулирование стока, Майнское водохранилище – суточное регулирование.

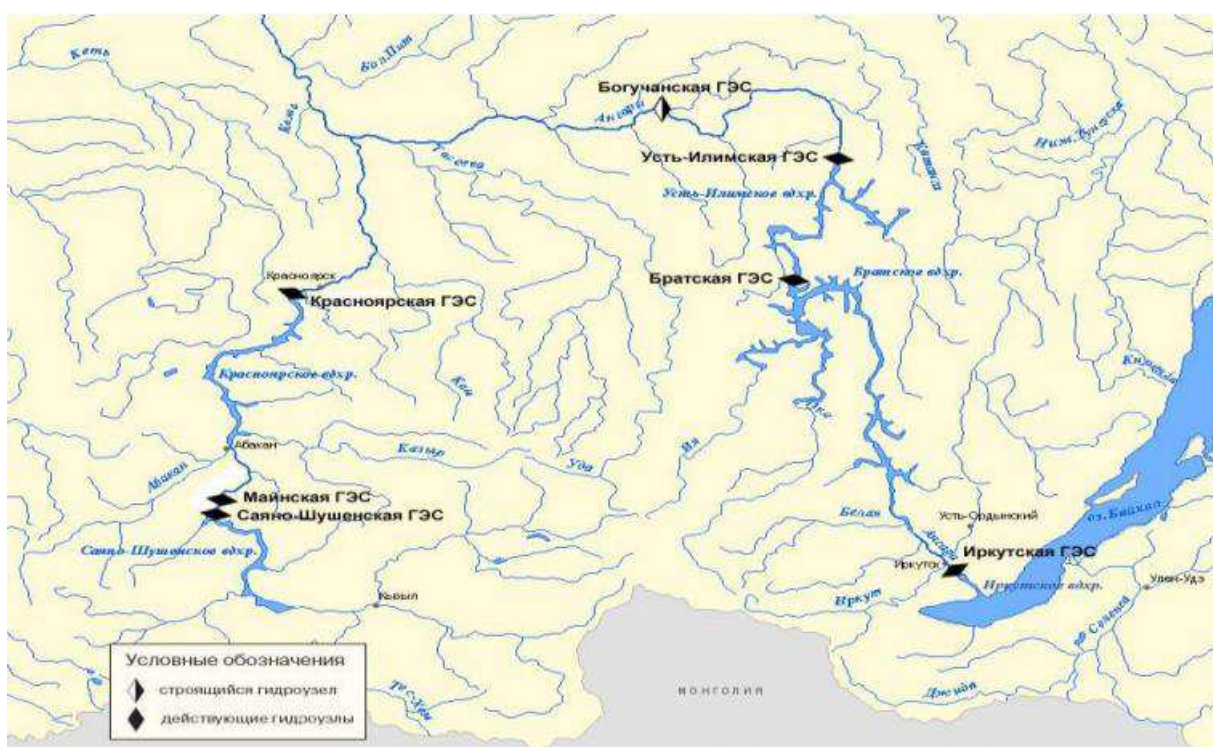


Рисунок 3 – Схема гидроузлов и водохранилищ Ангаро-Енисейского каскада гидроэлектростанций [11]

Наибольшая изрезанность берегов характерна для правобережья [12, 13]. Водохранилище относится к категории предгорных водоемов долинного типа, расположено в двух ландшафтных зонах: южной - лесостепной и северной - горно-таежной. Его форма определяется сложностью рельефа затопленной суши.

Учитывая сложности рельефа ложа, а также наличие стоковых течений и других гидрологических характеристик на Красноярском водохранилище условно выделены верхняя, средняя и нижняя его части. Верхняя часть водохранилища – от г. Абакана до п. Батени. Левый берег в этой части преимущественно пологий, для правого характерны выходы коренных пород. Крупные заливы этой части - заливы рек Туба и Сыда. Средняя часть (от пос. Батени до залива Огур) находится в пределах Енисейско-Чулымской котловины, отрогов Минусинской впадины и Восточных Саян. В этой части наблюдается наибольшее разрушение берегов, сложенных легко разрушаемыми породами. Нижняя часть водохранилища – в пределах Восточных Саян и имеет фьордообразные заливы (Огур, Дербинский, Бирюсинский.).

2 Процессы переработки берегов водохранилищ и методы их прогнозирования

2.1 Переработка берегов водохранилищ: сущность, масштабы, последствия

Под переработкой принято понимать формирование берегов водохранилищ после их наполнения, т. к. до их создания берега формировались под воздействием природных процессов в иных, естественных, условиях. После того, как произошло наполнение водохранилищ, эти условия резко изменяются. Речные берега превращаются в берега искусственного моря. Формируется вновь созданная береговая линия, под влиянием, главным образом, подмыва и разрушения, в пределах которой с большой скоростью идет размыв берегов, нарушается устойчивость склонов, активизируются экзогенные геологические процессы (оползни, обвалы, карст), продукты разрушения пород аккумулируются в ложе водохранилищ, изменяются гидрогеологические условия.

Конечная цель переработки берегов - построение такого рельефа в надводной и подводной части береговой зоны, который обеспечивает полное рассеивание энергии гидродинамических воздействий, прежде всего, ветровых волн. Морфологически это выражается в постепенном выполаживании естественных надводных и подводных склонов, образовании новой формы рельефа - подводной отмели, при одновременном отступании бровки коренного берега вглубь суши. Типичная схема процесса переработки приведена на рисунке 4.

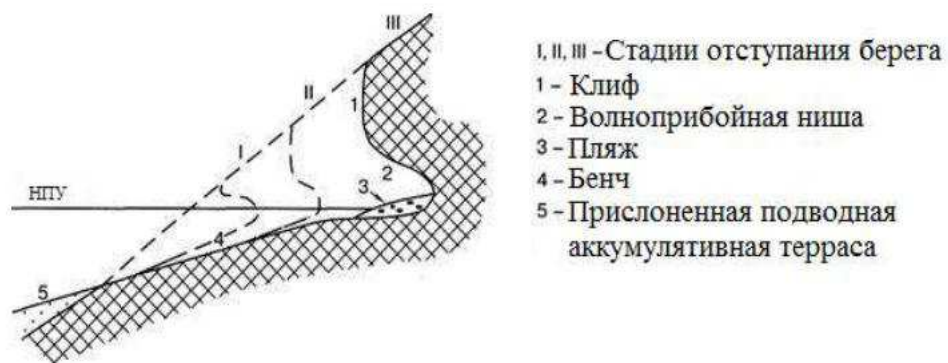


Рисунок 4 – Типичная схема переработки берега водохранилища [14]

Характер интенсивности и другие специфические особенности переработки берегов водохранилищ определяются совокупностью трех групп факторов - регионально-геологическими, зонально-климатическими, и биогенными [15].

К основным регионально-геологическим факторам - условиям развития рассматриваемого процесса в пределах отдельных участков побережий водохранилищ относятся, прежде всего, геолого-геоморфологическое строение перерабатываемых берегов, а также морфологические особенности исходного рельефа котловины.

Среди зонально-климатических факторов ведущая роль принадлежит ветро-волноэнергетическому воздействию на наводненные и подводные части береговых склонов. Кроме того, весьма существенное значение имеют колебания уровня воды разной породы, а также ледовый режим, который определяет не только продолжительность переработки берегов в течение года, но и является дополнительным и часто весьма мощным механическим источником разрушения берегов.

Роль биогенных факторов в развитии переработки берегов обычно заключается в повышении сопротивляемости приповерхностных толщ пород размыву за счет их армирования древесной и травяной растительностью. Но, в целом, значение биогенных факторов в переформировании берегов водохранилищ относительно мала, по сравнению с другими группами

факторов.

Процесс переработки берегов, как правило, инициирует и далее сопровождается другими геодинамическими процессами, прямо не связанными с гидродинамическим воздействием водоема (оползни, обвалы, просадки, оврагообразование, выветривание).

Весь комплекс экзогенных геологических процессов (переработка берегов, оползни, осыпи, обвалы, оврагообразование и т.п.), обусловленных созданием и эксплуатацией водохранилищ принято называть термином - «перестроение берегов» [16].

Как видно из таблицы 2 процессы переработки берегов, и в более широком смысле, их перестроения, характерны для всех крупных водохранилищ России.

Таблица 2 – Масштабы и среднемноголетняя интенсивность переработки берегов водохранилищ России [14]

Водохранилище	Протяженно сть береговой линии, км	Протяженнос ть разрушаемых берегов, км	Протяжён ность переработ ки, км	Интенсив ность, м/год	Интенсив ность, га/год
Всего по хранилищам России	64 100	23 290	36	5	3493,0
В том числе:					
Рыбинское	2460	871	35	09	83,6
Горьковское	2170	1403	65	1,3	183,8
Камское	1166	591	51	1,2	70,9
Боткинское	972	378	38	1,1	42,3
Куйбышевское	2030	1530	75	2,4	379,4
Саратовское	962	676	70	2,2	151,4

Окончание таблицы 2

Водохранилище	Протяженно сть береговой линии, км	Протяженнос ть разрушаемых берегов, км	Протяжён ность переработ ки, км	Интенсив ность, м/год	Интенсивн ость, га/год
Волгоградское	1416	1014	72	1,8	179,4
Цимлянское	912	165	18	1,6	27,0
Новосибирское	5201	2751	52	0,9	24,7
Братское	6013	2056	34	0,8	164,4

Берега водохранилищ являются, как правило, местами наиболее интенсивного хозяйственного освоения. Поэтому их переработка несет ряд негативных последствий прямого и опосредованного характера. Среди них наибольшую опасность для жизнедеятельности человека в береговой зоне представляют [15]:

1) разрушение уже возведенных на берегу сооружений гражданского, промышленного и рекреационного назначения;

2) безвозвратные потери эксплуатируемых и перспективных для освоения земляных угодий (пашни, пастбища, урбанизированные территории, зоны отдыха и т. п.);

3) вторичное загрязнение водоемов (особенно их прибрежных полос) за счет размыва участков, обогащенных сельскохозяйственными удобрениями или содержащих промышленные отходы.

2.2 Обзор методов прогнозирования переработки берегов

В настоящее время существует более 20 методов прогноза переработки берегов. Большинство из них появились на свет в 40 – 50-е годы XX века, в период бурного гидроэнергетического строительства в СССР [16]. Их можно классифицировать по следующим критериям: условия применения, принципы

прогнозирования, сроки прогнозирования.

По условиям применения методы делятся на две группы: универсальные и специальные.

Универсальные методы предполагают применимость для «любого», или, точнее, достаточно широкого круга природных (инженерно-геологических и гидрологических) обстановок, реализующихся на водохранилищах.

Специальные методы разрабатываются для конкретного водохранилища, каскада водохранилищ или специфических условий природной среды. В качестве примера таких методов можно привести метод Н. Г. Варазшвили [17] для водохранилищ, расположенных в горно-складчатых областях Грузии; методы И. А. Печёркина [18] для водохранилищ Камского каскада; метод С. В. Томирдиаро и В. К. Рябчун [19] для водохранилищ, расположенных в зоне распространения многолетнемёрзлых пород.

По принципам прогнозирования выделяются энергетические методы и методы инженерно-геологических (геоморфологических) аналогий.

В энергетических методах величина переработки, выражаемая, как правило, в объемах размывтого грунта берегового откоса, связана определенным расчетным соотношением с энергией ветрового волнения, действующего на рассматриваемый участок побережья [16].

Методы аналогий базируются на зависимостях параметров основных элементов рельефа береговой зоны (угла наклона подводного откоса, глубины залегания внешней границы отмели, ширины зоны наката волн и т.д.) от состава и свойств грунта, слагающего берег, и параметров действующего ветрового волнения (как правило, экстремальных высот волн).

По срокам прогнозирования методы могут обеспечивать прогноз переработки берега на любой желаемый срок, только на определенный срок (например, 10 лет), на конечную стадию.

Под конечной стадией подразумевается такое состояние берега, когда процесс выработки нового склона в основном будет закончен. Естественно, что и после этого процессы его деформации будут иметь место, но количественно

они будут незначительными, а практически неопасными.

Перечень универсальных методов прогнозирования переработки берегов водохранилищ, в систематизации по принципам и срокам прогнозирования, представлен в таблице 3.

Таблица 3 – Универсальные методы прогноза переработки берегов водохранилищ [16]

Принцип прогнозирования	Срок прогноза	Автор	Код создания
Энергетические методы	на любой срок	Н.Е. Кондратьев	1956
		Е.Г. Качугин	1959
		Е.К. Еречищев	1961
		В.К. Рудаков	1961
		Е.К. Пуляевский	1979
		А.Л. Рогозин	1987
Методы инженерногеологических (геоморфологических) аналогий	на любой срок	Б.А. Пышкин	1954
	на определенный срок и на конечную стадию	Ф.С. Золотарев	1955
		Д.Н. Раша	1958
		Л.Б. Розовский	1962
	Только на конечную стадию	Ф.П. Саваренский	1935
		В.А. Ширямов	1940
		Б.В. Поляков	1946

Из перечисленных в таблице 3 универсальных методов прогнозирования наиболее широкое практическое применение нашли методы Золотарева, Качугина, Кондратьева и Пышкина. С их помощью были осуществлены массовые прогнозы переработки берегов водохранилищ Волжского и

Днепровского каскадов [15, 16]. В 1955-1964 гг. при проектировании Красноярского водохранилища были выполнены прогнозы переработки его берегов по методам Золотарева, Качугина и Кондратьева [10, 20].

Созданные относительно недавно методы Пуляевского и Рогозина столь же масштабной апробации пока не получили.

В 1975 г. группой специалистов из различных организаций и регионов страны под эгидой Всесоюзного Научно-Исследовательского Института Гидротехники им. Веденеева был проведен анализ существовавших на тот момент методов прогноза и сопоставление их результатов с данными натуральных наблюдений.

Итогом этой работы стало издание ведомственных «Методических рекомендаций по прогнозированию перестроения берегов водохранилищ» [21]. До настоящего времени эти Рекомендации являются единственным руководящим документом по данному вопросу.

В вышеуказанных Рекомендациях в качестве основных методов прогноза предусмотрено использование методов Золотарева и Качугина. Эти методы, в сравнении с остальными универсальными методами прогнозирования переработки берегов, достаточно просты в использовании, базируются на большом экспериментальном материале и признаны наиболее достоверными [15, 16, 20].

Основные положения методов Золотарева и Качугина, которые будут использованы в настоящей работе, излагаются ниже.

В заключение данного обзора следует отметить важные черты, свойственные всем упомянутым выше методам прогнозирования переработки берегов:

Эти методы по своей сути являются полуэмпирическими. То есть в основе каждого метода лежат обоснованные, иногда даже очевидные, общие физические и геоморфологические закономерности. Конкретная форма этих закономерностей, дающая численный результат, определяется набором эмпирических коэффициентов (параметров), значения которых

устанавливаются по данным натурных наблюдений. Отсюда следует, что прямой путь к повышению точности прогноза по таким методам состоит в уточнении значений эмпирических коэффициентов на основе накопления, обработки и анализа данных о переработке берегов на реальных объектах.

Все методы весьма чувствительны к исходным данным. Чем точнее и полнее будут исходные геологические, топографические и гидрометеорологические данные - тем точнее полученный на их основе прогноз.

Эти методы не применимы для краткосрочных прогнозов - на срок менее нескольких лет. Их назначение - прогнозирование на среднесрочную (10-15 лет) и долгосрочную перспективу. Эта особенность вытекает из полуэмпирического характера методов, поскольку на длительном периоде времени разнообразные сезонные вариации гидрометеорологических условий усредняются.

2.2.1 Метод прогнозирования переработки берегов Г.С. Золотарева

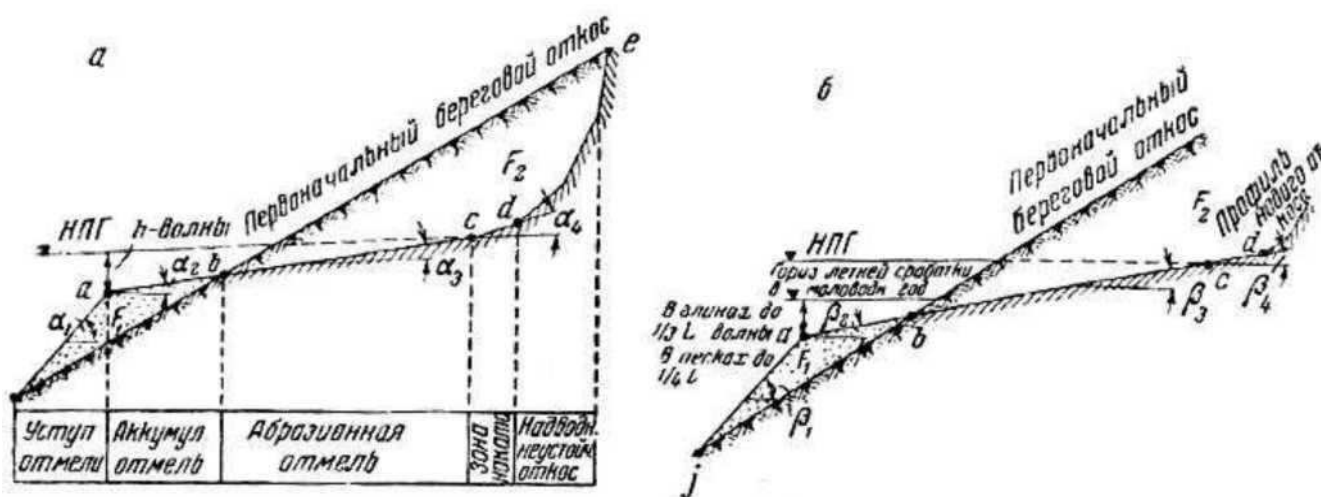
Метод Г.С. Золотарева дает возможность рассчитать ширину зоны переработки берега и построить его новый профиль для конечной стадии и десятилетнего периода эксплуатации водохранилища [22].

Термин «конечная стадия переработки» предполагает такую ширину зоны разрушения, образование которой, с одной стороны обуславливается геологическими и гидрологическими условиями и, с другой - по времени соразмерно со сроком амортизации сооружений и подразумевает, что процесс выработки нового склона, в основном будет закончен. Естественно, что и после данного срока процессы подмыва и деформации склона будут иметь место, но количественно они будут незначительными, а практически неопасными [23].

Рассматриваемый графико-аналитический метод базируется на построении профилей прогноза с использованием величин углов наклона

отмели, пляжа и устойчивого подводного откоса, изменяющихся в зависимости от состава, состояния и свойств пород, слагающих берега водохранилища.

В методе Золотарева профиль берега разбивается на следующие основные части: аккумулятивная отмель, уступ аккумулятивной отмели, абразионная отмель, зона наката, надводный откос (рисунок 5, а).



а – для 10-летней стадии; б – для «конечной» стадии

Рисунок 5 – Схема построения профиля берега при прогнозировании его переработки по методу Золотарева Г.С. [22]

Каждая часть прогнозируемого берега проводится под определенным углом, в зависимости от типа прибрежной отмели и характеристики пород, слагающих подводный береговой склон,

Для выполнения прогноза необходимы следующие данные:

а) уровни: НПУ, горизонт сработки в период открытого русла в маловодный год (обеспеченность 95%), максимальные уровни половодья 5% и 50% обеспеченности;

б) величина углов наклона абразионной и аккумулятивной части отмели, зона наката для разных пород по двум стадиям расчета;

в) данные о крутизне устойчивых и неустойчивых откосов и склонов, выработанных в разных породах;

г) коэффициент аккумуляции с поправкой на продольное перемещение наносов.

Как уже упоминалось выше, прогноз может быть проведен для конечной стадии и для десятилетнего периода эксплуатации водохранилища.

Прогноз переработки берега на 10-летнюю стадию (рисунок 5, а).

При построении расчетного профиля определяется характер отмели (абразионная, абразионно-аккумулятивная, абразионно-эрозионная) и ее уклон.

От уровня НПУ вниз откладывается глубина волнового воздействия, отражающая положение бровки уступа отмели для 10-летней стадии, равная 1,5 высоты волн 10% обеспеченности в песчано-суглинистых породах и 2 высоты волн в лессовых породах - точка а.

Линия уступа аккумулятивной отмели проводится под углами $\alpha_1 = 10 - 20^\circ$ (в зависимости от состава наносов). Под углом α_2 наносится линия поверхности аккумулятивной части отмели до пересечения с первоначальным рельефом в точке b. Из точки b под углом α_3 до пересечения с НПУ в точке с проводится линия поверхности абразионной части отмели.

При формировании отмели по абразионному типу, точка (а) откладывается непосредственно на первоначальном откосе.

Между точками с и d располагается зона наката волн. Положение верхней границы этой зоны (точки d) определяется высотой наката волн над уровнем воды (h_H), которая вычисляется по формуле Джунковского:

$$h_H = 3,2 \cdot K \cdot h_B \cdot tg\alpha_4, \quad (1)$$

где K – коэффициент, зависящий от шероховатости откоса;

h_B – высота расчетной волны;

α_4 – угол наклона ската (отмели).

Для 10-летней стадии рекомендуется брать ширину зоны наката в 2 раза меньше, чем для конечной стадии. Выше зоны наката из точки d строится надводный откос, принимаемый для 10-летней стадии неустойчивым с

предельной крутизной.

После построения профиля производится проверка соотношения площади аккумуляции и размыва что должно соответствовать принятому проценту аккумуляции. Передвижением точки *a* вправо или влево добиваются нужного соотношения площадей аккумуляции и размыва.

Прогноз переработки берега на «конечную» стадию (рисунок 5, б).

Все операции расчета производятся в том же порядке, что и для определения прогноза переработки берега на 10-летнюю стадию.

Различие заключается в том, что точка *a* откладывается не от НПУ а от горизонта сработки безледоставного периода вниз на величину равную 2,5 – 3 высотам волн 5% обеспеченности для песчаных пород и 3,5 – 4 высотам волн для легко размываемых лёссовых пород.

Уклоны аккумулятивной β_2 и абразионной β_3 частей отмели, зоны наката β_4 берутся более пологими. Надводный откос определяется по аналогии с природными устойчивыми откосами.

Значения углов $\alpha_1 - \alpha_4$ и $\beta_1 - \beta_4$ являются эмпирическими величинами, установленными по результатам натурных наблюдений. В своей работе [22] Г.С. Золотарев дает специальную таблицу для выбора значений этих углов в зависимости от состава грунта, слагающего берег на рассматриваемом участке. Эта таблица здесь не приводится ввиду ее больших размеров.

2.2.2 Метод прогнозирования переработки берегов Е. Г. Качугина

Метод Е. Г. Качугина основан на следующих положениях [24]:

- в переработке берега участвуют волны всех высот и общий объем размывных пород пропорционален суммарной энергии волн в данном месте;
- интенсивность процесса переработки зависит от сопротивления пород размыву и высоты берега;
- процесс переработки затухает во времени по мере выработки профиля

прибрежной отмели, и, это затухание характеризуется кривой параболического вида.

Исходя из приведенных положений, общий объем размытых пород может быть определен по формуле:

$$Q = E \cdot K_p \cdot K_6 \cdot t^b, \quad (2)$$

где Q – объем размытых пород на 1 м погонный метр берега, m^3 ;

E – средняя суммарная энергия волн за сезон открытой воды, тонн-метры (тм);

t – время размыва (число сезонов);

b – показатель степени (меньше 1), зависящий от скорости затухания процесса;

K_6 – коэффициент, учитывающий высоту берега;

K_p – коэффициент размываемости пород, зависящий от их литологического состава (таблица 4), м /тм.

Таблица 4 – Коэффициенты размываемости горных пород берегов водохранилищ K_p [24]

Водохранилище	Геологический индекс	Литологический состав пород	K_p , м /тм
Цимлянское	Pg_2t_1	Глина с прослоями опок	0,00043
Иваньковское	$fglQ_2$	Галечник с песком и валунами	0,00046
Рыбинское	glQ_2	Суглинок плотный с валунами	0,00072
Угличское	glQ_3	Суглинок плотный с валунами	0,00073
		Суглинок с валунами	0,00082
Иваньковское	glQ_3	Суглинок с валунами	0,00086
Истринское	glQ_2	Пески разнотернистые с гравием и галькой	0,00090

Окончание таблицы 4

Водохранилище	Геологический индекс	Литологический состав пород	КР, м /мМ
Рыбинское	glQ ₃ + glQ ₂	Суглинок с валунами с прослоями песка	0,00096
Клязьминское	glQ ₃ + alQ ₃	Песок среднезернистый, суглинок с валунами	0,00115
Пестовское	dQ ₄	Суглинок	0,00119
Иваньковское	glQ ₂ + alQ ₃	Пески среднезернистые и мелкозернистые, суглинки с валунами	0,00120
Истринское	alQ ₂	Пески разномзернистые с гравием	0,00124
Пестовское	glQ ₃ + alQ ₃	Пески среднезернистые, глины с валунами	0,00140
Цимлянское	alQ ₁	Суглинки и глины с прослоями песка	0,00140
Клязьминское	alQ ₃	Песок разномзернистый	0,00155
Иваньковское	alQ ₃ +dQ ₃	Песок глинистый	0,00172
Акуловское	alQ ₃	Песок крупнозернистый	0,00193
Клязьминское	alQ ₃	Песок среднезернистый с прослоями супесей	0,00197
Днепровское	alQ ₂	Лессовидные суглинки, супеси	0,00356
Цимлянское	alQ ₁	Лессовидные суглинки с известковыми желваками	0,00366
Днепровское	alQ ₂	Лессовидные супеси	0,00440
Рыбинское	alQ ₂	Песок мелкозернистый с прослоями супесей	0,00481
Иваньковское	alQ ₃	Песок мелкозернистый	0,00506
Рыбинское	alQ ₂	Песок мелкозернистый	0,00594
Днепровское	eQ ₂	Супеси лессовидные легкие с прослоями мелкозернистых песков	0,00605
Горьковское	alQ ₂	Песок пылеватый	0,00652

Показатель степени (меньше 1), зависящий от скорости затухания процесса, представляет собой отношение ширины абразионной части отмели к ширине всей отмели. Если отмель чисто абразионная, то показатель степени b достигает 0,95, в случае большой ширины аккумулятивной части отмели он снижается до 0,45 (в среднем значение b равно 0,7).

Коэффициент, учитывающий высоту берега, вычисляется по формуле:

$$K_6 = h_6 \cdot c, \quad (3)$$

где h_6 – средняя высота берега, м;

c – коэффициент размерности 1/м, значение которого изменяется от 0,03 для легкоразмываемых, до 0,05 – для трудноразмываемых пород. При высоте берега более 30 м величина K_6 принимается равной единице.

Расчет объема берегового размыва может производиться на любой срок эксплуатации водохранилища. Возможно решение обратной задачи – определение времени переработки берега при заданном объеме размывов пород.

Для построения профиля переработки берега необходимо определить размеры зоны, в пределах которой происходит его размыв. Зона размыва зависит от амплитуды колебания уровней воды водохранилища.

Верхний уровень – нормальный подпорный горизонт (НПГ) – соответствует уровню 2 – 4% обеспеченности при высоком положении уровня воды. Нижний уровень – горизонт сработки (ГС) – уровню 96 – 98% обеспеченности при низких сработках безледного периода.

Для определения верхнего горизонта размыва к НПГ прибавляют 1/3 высоты рабочей волны, нижний горизонт размыва получают, откладывая от ГС вниз высоту рабочей волны h_p (рисунок 6). Под рабочей волной понимается волна, характерная для данного участка берега и производящая максимум размывающей работы.

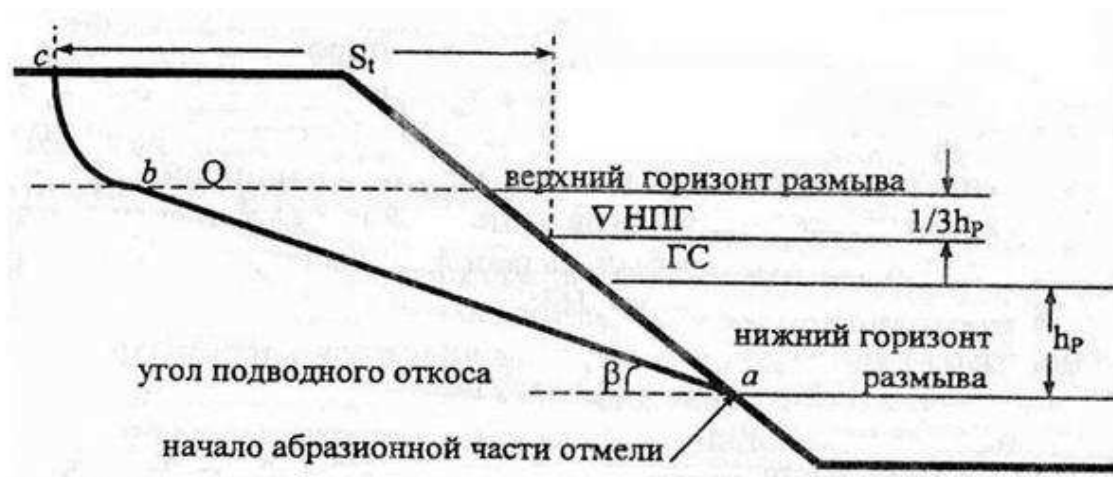


Рисунок 6 – Построение профиля переработки берега в методе Качугина Е.Г [24]

Для определения рабочей волны сначала по каждому активному румбу находим высоту волны 15% обеспеченности ($H_{15\%}$), которая соответствует наибольшему значению суммарной энергии, т.е. с учетом длительности волнения. Затем находим среднее из этих значений по всем румбам.

Построение зоны размыва начинается от точки a , соответствующей началу абразионной части отмели (рисунок 6), от которой под углом β проводится прямая, отвечающая ровной поверхности абразионной отмели, до пересечения с продолжением верхнего горизонта размыва (точка b). Угол β подбирается таким образом, чтобы площадь зоны размыва на профиле численно равнялась вычисленному объему размывных пород Q .

В надводной части профиль склона строится по аналогии с существующими в таких же геологических условиях наиболее крутыми склонами. Расстояние от уреза НПГ до границы зоны разрушения (точка c) представляет собой искомую величину переработки берега.

В своей публикации, содержащей изложение метода [24], Е.Г. Качугин для определения высоты волны по волнообразующим факторам (скорости ветра, длине разгона и глубине водоема) использовал номограммы А.П. Браславского (рисунок 7). А для нахождения суммарной энергии волнения за период его действия по известной величине высоты волны $0,1\%$

обеспеченности и длительности действия ветра он применял специальные номограммы того же Браславского (рисунок 8).

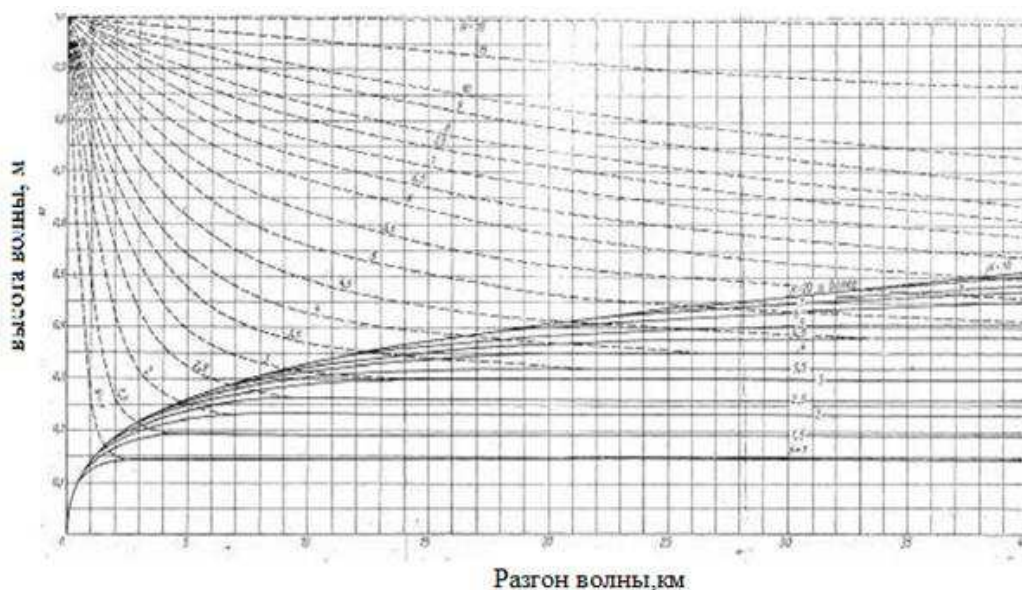


Рисунок 7 – Номограмма А.П. Браславского для определения высоты волны 0,1% обеспеченности при скорости ветра 5 м/с [24]



Рисунок 8 – Номограмма А.П. Браславского для определения энергии волнения по длительности действия ветра и высоте волны 0,1% обеспеченности с горизонтальной шкалой на 5 суток [24]

Вместе с тем, автор не настаивал на применении именно этого способа для расчета энергии волн, говоря о нем, лишь как об одном из возможных.

Ведь суть метода прогноза переработки берега по Е.Г. Качугину заключается в связывании объема размыва с энергией волн, а каким образом будет определена эта энергия не столь важно.

Корректность номограмм Браславского для определения высоты волны уже в то время вызывала ряд вопросов, о чем свидетельствует, в частности, примечание в тексте работы Е.Г. Качугина, а к настоящему времени они полностью вышли из употребления.

С другой стороны, при практическом применении номограммы Браславского для определения энергии волн применительно к условиям Красноярского водохранилища обнаружилось, что во многих случаях реальные значения высот волн и длительности действия ветра выходили за пределы номограмм.

Учитывая указанные выше обстоятельства, было решено для расчета суммарной энергии волн в методе Е.Г. Качугина использовать современные подходы к данному вопросу, которые, к тому же, зафиксированы в действующих руководящих документах по изысканиям и проектированию в береговой зоне морей и крупных внутренних водоемов [25, 26, 27].

Средняя высота (H) и период (T) волн в случае установившегося режима волнообразования (время действия ветра не влияет на параметры волн) могут быть вычислены по эмпирическим зависимостям, полученным Ю.М. Крыловым с соавторами [28], которые являются аналитической основой соответствующих номограмм, приведенных в СнИП [27]:

$$\frac{gH}{V^2} = 0,16 \left\{ 1 - \left[1 + 0,006 \left(\frac{gX}{V^2} \right)^{0,5} \right]^{-2} \right\} \cdot th \left(0,625 \frac{\left(\frac{gh}{V^2} \right)^{0,8}}{\left\{ 1 - \left[1 + 0,006 \left(\frac{gX}{V^2} \right)^{0,5} \right]^{-2} \right\}} \right), \quad (4)$$

$$\frac{gT}{V} = 3,1 \cdot 2\pi, \quad (5)$$

где V – скоростью ветра;

X – длина разгона,

h – глубина водоема на разгоне;

g – ускорение свободного падения.

То есть, параметры ветровых волн зависят от разгона (расстояния от подветренного берега до расчетной точки), скорости ветра, а также от глубины водоема. Высоты волн увеличиваются с ростом длины разгона и скорости ветра, а глубина водоема является ограничивающим фактором волнообразования.

В случае, если глубина на разгоне существенно изменяется, весь путь волн до расчетной точки разбивается на ряд последовательных участков с примерно постоянным уклоном дна, длиной l_1, l_2, \dots, l_i (рисунок 9).

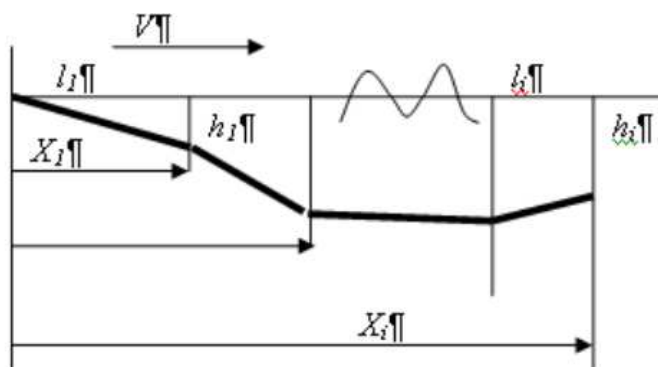


Рисунок 9 – Схема разбивки разгона на участки при изменяющейся глубине [27]

Рассмотрим два последовательных участка $i-1$ и i с глубинами h_{i-1} и h_i в конце участков (рисунок 9). Пусть для участка $i-1$ рассчитаны соответствующие значения H_{i-1} и T_{i-1} . Для определения параметров волн в конце следующего участка, прежде всего, по известным значениям H_{i-1} , T_{i-1} , V и h_i из формулы (4) определяют значение условного разгона ΔX . Это значение складывается с длиной i -го участка (l_i) для получения полного текущего разгона X_i . Затем, по формуле (4) для X_i , V и h определяют параметры волн в конце данного участка.

Путем численного исследования выражения (4) было получено аппроксимационное аналитическое выражение для безразмерной высоты волн

в предельном режиме, имеющее вид полинома 3-ей степени, которое является численным аналогом приводимых в СНиП номограмм:

$$\frac{gH}{v^2} = 0,084155\left(\frac{gh}{v^2}\right)^3 - 0,13801\left(\frac{gh}{v^2}\right)^2 + 0,150602\left(\frac{gh}{v^2}\right) - 0,0014515, \quad (6)$$

Высота волны заданной обеспеченности в системе определяется умножением средней высоты волн на коэффициент КНі%, зависящий от относительной глубины [10]. Его значения представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Значения коэффициента КНі% для определения высот волн заданной обеспеченности (і%) [26]

і%	Относительная глубина H/h (H -средняя высота волн, h - глубина водоема)										
	0,00	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50
0,1	3,20	3,09	2,85	2,63	2,48	2,36	2,24	2,12	2,01	1,95	1,89
1	2,52	2,48	2,34	2,20	2,10	2,01	1,92	1,83	1,74	1,69	1,62
5	1,91	1,90	1,88	1,83	1,77	1,72	1,66	1,60	1,54	1,50	1,43
10	1,69	1,68	1,66	1,63	1,59	1,54	1,50	1,45	1,41	1,38	1,35
20	1,38	1,38	1,36	1,35	1,34	1,33	1,30	1,28	1,27	1,25	1,22
30	1,21	1,21	1,21	1,21	1,21	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20
50	0,93	0,94	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1,00	1,02	1,03

В практике инженерных расчетов реальное нерегулярное волнение допускается заменять последовательностью регулярных (монохромных) волн той же продолжительности с высотой H_{rms} и периодом T_p , которая является его энергетическим эквивалентом [27, 29].

H_{rms} – среднеквадратическая высота реальных нерегулярных волн, а T_p – период, соответствующий пику их спектра. Эти величины выражаются через средние значения высоты и периода волн (H , T), определенные по зависимостям (4) и (5) следующим образом [29]:

$$\frac{H}{H_{rms}} = \frac{\sqrt{\pi}}{2} = 0,886, T_p = 1,2 T, \quad (7)$$

Энергия (E) одной регулярной волны с высотой H_{rms} и периодом T_p , приходящаяся на единицу длины ее фронта определяется как:

$$E = \frac{1}{8} \rho g H_{rms}^2 L, \frac{Дж}{м}, \quad (8)$$

где ρ – плотность воды (принимается для пресной воды 1000 кг/м^3);

g – ускорение свободного падения (принимается $9,81 \text{ м/с}^2$);

L – длина волны, м.

Длина волны связана с ее периодом, так называемым дисперсионным соотношением:

$$\sigma^2 = gk \cdot \tanh kh, \quad \sigma = \frac{2\pi}{T}, \quad k = \frac{2\pi}{L}, \quad (9)$$

где h – глубина воды, м;

L – длина волны, м;

Это соотношение может быть решено для нахождения длины волны по известному значению ее периода с использованием аппроксимации Ханта:

$$(kh)^2 = y^2 + \frac{y}{1 + \sum_1^6 a_n y^n}, \quad y = \frac{\sigma^2 h}{g}, \quad (10)$$

$$a_1 = 0,6666666666, a_2 = 0,3555555555,$$

$$a_3 = 0,1608465608, a_4 = 0,0632098765,$$

$$a_5 = 0,0217540484, a_6 = 0,0065407983$$

Тогда, зная продолжительность волнения, можно определить его суммарную энергию за время действия с использованием выше приведенных формул:

$$E_{\Sigma} = E \cdot \left(\frac{D}{T_p} \right), \quad (11)$$

где E – энергия одной эквивалентной волны с высотой H_{rms} и периодом T_p ;

D – продолжительность волнения, с.

Продолжительность волнения принимается равной продолжительности действия ветра соответствующего направления и скорости [24, 26].

В свою очередь эту информацию можно получить из данных о повторяемости ветра по градациям скорости и направлениям по ближайшей к рассматриваемому участку берега метеостанции. Пример такого рода данных, относящихся к побережью Красноярского водохранилища, приведен в таблице 5.

По данным таблицы 5 можно оценить среднюю продолжительность действия ветра по градациям скорости и направлениям за период открытой воды, полагая, что один случай наблюдений соответствует интервалу времени равному 3 часа (при восьми сроках наблюдений в сутки):

$$D_i = \frac{N_i \cdot T}{Y}, \quad (12)$$

где D_i – средняя продолжительность действия ветра данной градации и направления, час/год;

N_i – число случаев по данной градации и направлению за период наблюдений; T – интервал времени между сроками наблюдений, час. $T=3$ час;

Y – число сезонов (лет) наблюдений, годы. $Y=11$ лет (1970 - 1980 гг.).

В соответствии с рекомендациями, изложенными в [26], для расчета параметров волн следует принимать верхнее значение скорости в градации, приведенное к уровню 10 м над поверхностью бассейна. Приведение к уровню 10 м производится по формуле:

$$V_{10} = K_z \cdot V_z, \quad (13)$$

где V_{10} – скорость ветра на высоте 10 м над поверхностью бассейна, м/с;

V_Z – скорость ветра измеренная на высоте Z над поверхностью водоема,
м/с;

K_Z – коэффициент приведения, определяемый по таблице 6.

Таблица 6 – Повторяемость ветра по скоростям (V) и направлениям по пункту Приморск за период чистой воды по данным срочных наблюдений за 1970 –1980 гг.(частота наблюдений - 8 сроков в сутки) [30]

V, м/с	число случаев																
	С	ССВ	СВ	ВСВ	В	ВЮВ	ЮВ	ЮЮВ	Ю	ЮЮЗ	ЮЗ	ЗЮЗ	З	ЗСЗ	СЗ	ССЗ	Сумма
01-03	200	268	481	340	326	162	249	202	440	398	2051	763	553	429	402	181	7445
04-05	31	37	88	90	36	17	16	16	129	202	680	387	247	220	112	64	2372
06-07	9	9	42	32	18	3	2	3	67	120	426	263	120	93	43	22	1272
08-09	2	5	13	11	4	2	3	2	34	83	280	199	51	38	20	11	758
10-11	1	0	2	2	0	0	0	0	16	21	175	68	23	13	7	2	330
12-13	1	0	0	0	1	0	1	0	13	21	151	50	18	17	6	0	279
14-15	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	85	12	12	4	3	2	123
16-17	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4	50	9	3	3	0	0	70
18-20	0	0	0	0	0	0	1	0	5	9	45	7	0	0	0	0	67
21-24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0	0	0	0	0	16
25-28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	4	0	0	0	7
29-34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	3
35-40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2
Сумма	244	319	626	475	385	184	272	223	707	861	3964	1759	1031	818	594	282	12744

Таблица 7 – Значения коэффициентов K_z для приведения скорости ветра, измеренной на уровне Z , к уровню 10 м над поверхностью бассейна [26]

Z, м	2	3	4	5	7	10	15	20	25	30
Вода теплее воздуха										
K_z	1,14	1,10	1,07	1,05	1,02	1,00	0,97	0,95	0,94	0,93
Вода холоднее воздуха										
K_z	1,30	1,21	1,15	1,12	1,05	1,00	0,95	0,91	0,88	0,85
Среднее	1,220	1,155	1,110	1,085	1,035	1,00	0,960	0,930	0,910	0,890

В случае если температура воды или\и воздуха неизвестна, используется среднее из значений коэффициентов таблицы 6 для случаев «вода теплее воздуха» и «вода холоднее воздуха».

Для тех ситуаций, когда значение высоты измерений скорости ветра выходит за пределы значений, указанных в таблице 7, для получения необходимого значения K_z , на основе имеющихся в этой таблице данных, была построена аппроксимационная зависимость $K_z = f(Z)$, представленная на рисунке 8.

Для перевода единиц энергии системы СИ (Дж) в приведенных выше формулах в единицы Технической системы (тонн-метры), использованной автором метода, применяются следующие соотношения:

$$1\text{т} \cdot \text{м} = 1000 \text{ кгс} \cdot \text{м}, 1 \text{ кгс} \cdot \text{м} = 9,81 \text{ Дж}, \quad (14)$$

Такой переход необходим, поскольку значения коэффициентов в основной формуле метода определялись на основе единиц Технической системы.

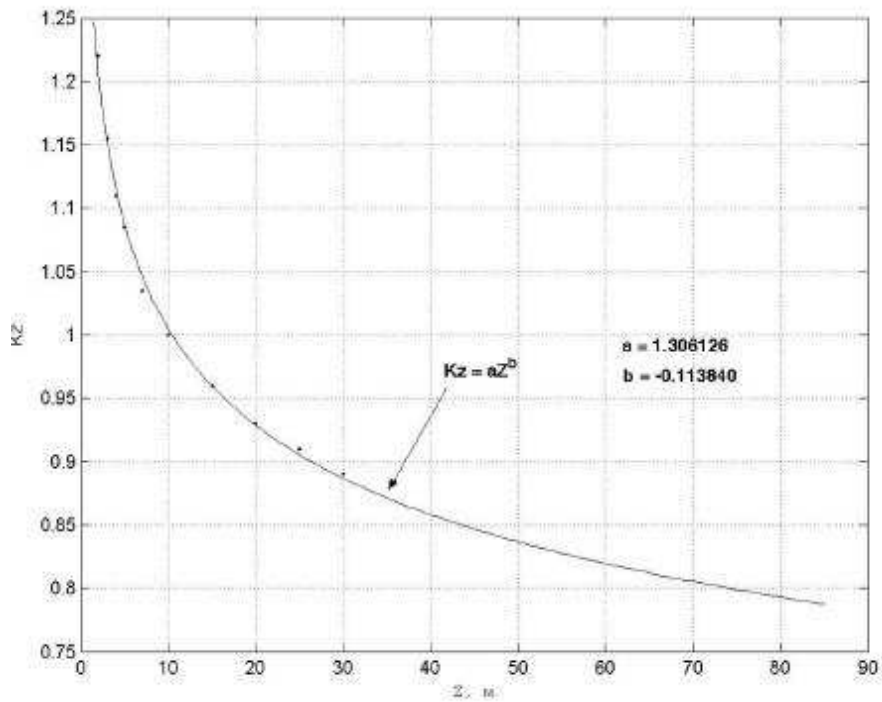


Рисунок 10 – Аппроксимационная зависимость для определения значения коэффициентов K_z для приведения скорости ветра, измеренной на уровне Z , к уровню 10 м над поверхностью бассейна [26]

Автоматизировать вычисления возможно при применении расчетных формул вместо номограмм. Кроме того, следует отметить, что результатом применения метода Качугина являются значения параметров волн по всему спектру ветров, действующих на данный участок, которые могут быть использованы при проектировании берегозащитных сооружений.

[Глава 3 - изъята]

[Глава 4 - изъята]

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Красноярское водохранилище создано путем сооружения плотины в среднем течении р. Енисей и расположено на территории Красноярского края и Республики Хакасии. Наполнение водохранилища происходило с февраля 1967 года по август 1970 года. Одновременно с подъемом уровня воды и воздействия ветровых волн, ослабленностью горных пород начались процессы берегопереработки с каждым годом, захватывающие более высокие отметки склонов побережья.

Интенсивнее всего разрушаются берега, которые сложены рыхлыми отложениями и слабосцементированными горными породами. Это касается и собственно абразионных берегов, сложенных выветрелыми коренными породами, так и берегов с размывом продуктов развития склоновых процессов (оползней, осыпей, обвалов). В группе процессов волнового характера, абразия имеет явное преимущество. Также, берега такого строения подвергаются развитию эрозионных и суффозионно-просадочных процессов.

По всей территории водохранилища до 90-х годов 20 века осуществлялся мониторинг состояния берегов, позднее, в течение почти 30 лет проводились единичные наблюдения, преимущественно на территориях в пределах Красноярского края.

Установлено, что общая протяженность берегов Красноярского водохранилища составляет 2444,6 км. При этом протяженность разрушаемых берегов равна 1364,3 км, протяженность относительно стабильных и аккумулятивных берегов, а также формируемых эоловыми процессами – 1041,6 км, протяженность берегов покрытых дамбами – 38,7 км.

На основании изучения методик расчетов берегопереработки выявлено, что наиболее приемлемой методикой для Красноярского водохранилища является методика Е.Г. Качугина. В результате проведенных расчетов по методу Качугина Е. Г. для прогнозирования участка береговой зоны в районе п. Приморский, в период практики 2019 г. установлено, что отступление бровки

берега от исходного положения возможно: на 10 лет – до 15 м; на 20 лет – до 27 м; на 30 лет – до 39 м.

Следует обратить внимание, что на Красноярском водохранилище и в данный период переработка берегов продолжается на некоторых участках. Но сейчас экзогенно-геологические процессы замедляются, в сравнении с первыми годами существования водохранилища.

СПИСОК СПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Авакян, А. Б. Водохранилища гидроэлектростанций СССР / А. Б. Авакян, В. А. Шарапов. – Москва : Энергия, 1977. – 399 с.
2. Авакян, А. Б. Водохранилища мира / А. Б. Авакян, В. П. Салтанкин, В. А. Шарапов и др. – Москва : Наука, 1979. – 287 с.
3. Авакян, А. Б. Водохранилища: Природа мира / А. Б. Авакян, В. П. Салтанкин, В. А. Шарапов. – Москва : Мысль, 1987. – 323 с.
4. Бурова, В. Н. Закономерности формирования и оценка опасности переработки берегов водохранилищ: дис. ... канд. геол.-минерал. наук : 04.00.07 / Валентина Николаевна Бурова. – Москва : ВСЕГИНГЕО, 1998. – 110 с.
5. Воропаев, Г. В. Водохранилища и их воздействие на окружающую среду / Отв. ред. Г. В. Воропаев, А. Б. Авакян. – Москва : Наука, 1986. – 367 с.
6. Крылов, Ю. М. Ветровые волны и их воздействие на сооружения / Ю. М. Крылов, С. С. Стрекалов, В. Ф. Цыплухин. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1976. – 256 с.
7. Малик, Л. К. Географические прогнозы последствий гидроэнергетического строительства в Сибири и на Дальнем Востоке / Л. К. Малик. – Москва : АН СССР, 1990. – 316 с.
8. Вышегородцев, А. А. Красноярское водохранилище: учебное пособие / А. А. Вышегородцев, И. В. Ануфриева, О. А. Кузнецова. – Новосибирск : Наука, 2005. – 212 с.
9. Козырева, Е. А. Экзогенные геологические процессы в береговой зоне Красноярского водохранилища / Е. А. Козырева, А. А. Рыбченко, А. Ш. Хабидов, Е. А. Фёдорова // География и природные ресурсы. – 2015. – № 2. – С. 83 – 90.
10. Кусковский, В. С. Формирование берегов Красноярского водохранилища. / В. С. Кусковский, Ю. И. Подлипский, В. М. Савкин, В. М. Широков. – Новосибирск : Наука, 1974. – 234 с.

11. Ежегодный информационный бюллетень Енисейского бассейнового управления о состоянии водных объектов бассейна р. Енисей за 2017 год. – Красноярск, 2018. – 159 с.
12. Богославский, Б. Б. Общая гидрология: учебное пособие / Б. Б. Богославский. – Ленинград : Высш.шк, 1984. – 280 с.
13. Васильев, О. Ф. Экологическое состояние Новосибирского водохранилища / О. Ф. Васильев, В. М. Савкин, С. Я. Двуреченская, С. Я. Тарасенко, П. А. Попов, А. Ш. Хабидов // Сибирский экологический журнал. – 2000 г. – №2. – С. 149-163.
14. Рагозин, А. Л. Региональный анализ абразионной опасности и риска на морях и водохранилищах России / А. Л. Рагозин, В. Н. Бурова // Современные проблемы изучения берегов. – Санкт-Петербург : ИТА РАН, 1995. – С. 45 - 46.
15. Экзогенные геологические опасности. Тематический том /под ред. В. М. Кутепова, А. И. Шеко. – Москва : Изд-во «КРУК», 2002. – 348 с.
16. Бондарик, Г. К. Инженерная геодинамика: учебник / Г. К. Бондарик, В. В. Пендин, Л. А. Ярг. – Москва : КДУ, 2007. – 440 с.
17. Варазашвили, Н. Г. Основные закономерности формирования берегов горных водохранилищ: дис. ... докт. техн. наук. : 04.00.07 / Н. Г. Варазашвили–Тбилиси, 1972. – 189 с.
18. Печеркин, И. А. Теоретические основы прогнозирования экзогенных геологических процессов на берегах водохранилищ / И. А. Печеркин, А. И. Печеркин, В. И. Каченов. – Пермь : Изд-во ПГУ, 1980. – 85 с.
19. Томирдиаро, С. В. Термоабразия и общая динамика берегов озер и водохранилищ на равнинах Крайнего Севера / С. В. Томирдиаро, В. К. Рябчун // Тезисы докладов Всесоюзного совещания по мерзлотоведению. – 1970. – С. 107-109.
20. Савкин, В. М. Эколого-географические изменения в бассейнах рек Западной Сибири (при крупномасштабных водохозяйственных мероприятиях). – Новосибирск : Наука. Сибирская издательская фирма РАН,

2000. – 152 с.

21. Методические рекомендации по прогнозированию переформирования берегов водохранилищ /отв. ред. Д.П. Финаров. - Ленинград : ВНИИГ им. Веденеева, 1975. – 64 с.

22. Золотарев, Г. С. Учебное пособие по инженерной геологии / Г. С. Золотарев, Э. В. Калинин, А. В. Минервин. – Москва, 1970. – 383 с.

23. Золотарёв, Г. С. Инженерно-геологическое изучение береговых склонов водохранилищ и оценка их переработки. – Москва: АН СССР, 1955. – Т. 7. – С. 38-57.

24. Качугин, Е. Г. Рекомендации по изучению переработки берегов водохранилищ / Всесоюзный институт гидрогеологии и инженерной геологии. – Москва : Госгеолтехиздат, 1959 – 89 с.

25. Строительные нормы и правила (СНиП) 2.06.04-82 Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). – Введ. 12.03.1986. – Госстрой СССР, 1984 (с изм. 1, 1989; с изм. 2, 1995). – 75 с.

26. Руководство по расчету элементов гидрологического режима в прибрежной зоне морей и в устьях рек при инженерных изысканиях / отв. ред. Б.Х. Глуховский. – Москва : Гидрометеиздат, 1978. – 535 с.

27. Свод правил (СП) 32-103-97. Проектирование морских берегозащитных сооружений. – Корпорация Трансстрой, 1997. – 166 с.

28. Методические указания управлениям гидрометслужбы / отв. ред. Н. Е. Кондратьев. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1958. – 20 с.

29. Подлипский Ю. И. Гидрологический режим и формирование берегов Красноярского водохранилища в 1967 – 1970 гг. / Ю. И. Подлипский, В. М. Широков // Биологические исследования Красноярского водохранилища. – Новосибирск : Наука, 1975. – С. 4–35.

30. Ветроволновой режим Красноярского водохранилища за период нормальной эксплуатации. Уточнение картограмм волнения Красноярского

водохранилища / Технический отчет. Дивногорская гидрометеорологическая обсерватория. – Дивногорск, 1982. – 77 с.

31. Сводный отчет за 2018 г. «Изучение особенностей формирования берегов, подпора подземных вод и гидрологического режима Красноярского водохранилища» / ФГУ по водному хозяйству Енисейского региона «Енисейрегионводхоз». – Красноярск, 2018. – 84 с.

32. Леонтьев, И. О. Прибрежная динамика: волны, течения, потоки наносов / И. О. Леонтьев. – Москва : ГЕОС, 2001 – 272 с.

33. Avakian, A. B. Ecological problems of river system regulated by reservoirs // ZRestoration of degraded rivers: Challenges, Issues and Experiences. – Dordrecht : Kluwer Academic Publishers, 1998. – P. 85-98.

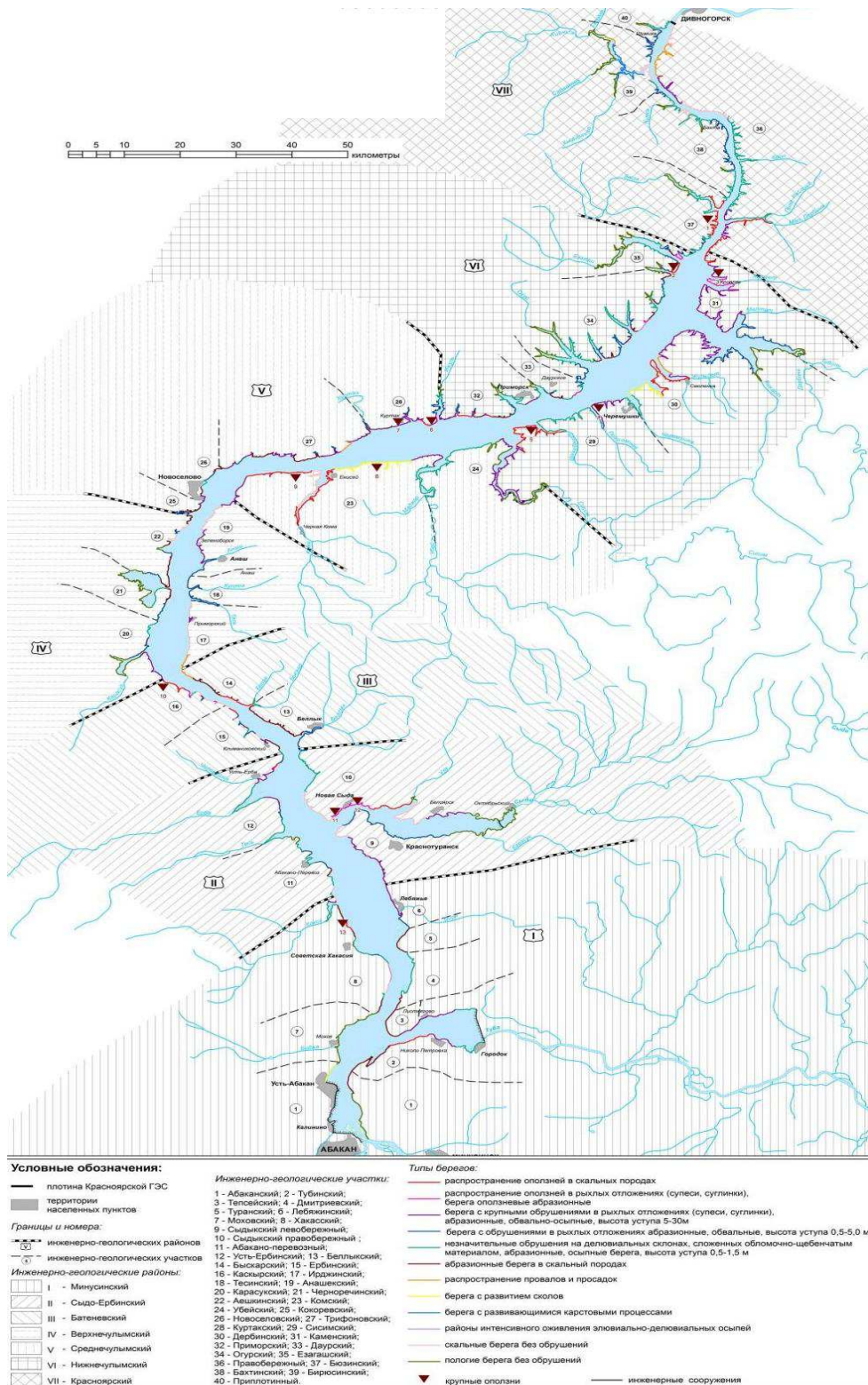
34. Gore, J. A. Alternatives in Regulated River Management / James A. Gore, Geoffrey E. Petts. – Boca Raton : CRC Press, 1989. – 348 p.

35. Leopold, L. B. Fluvial processes in geomorphology / L. B. Leopold, M. G. Wolman, J. P. Miller. - San Francisco : W.H.Freeman and Company, 1964. - 522 p.

36. World Register of Dams [Electronic resource] / ICOLD, Paris. France. 1973. – Access mode: <http://www.icold-cigb.org/>.

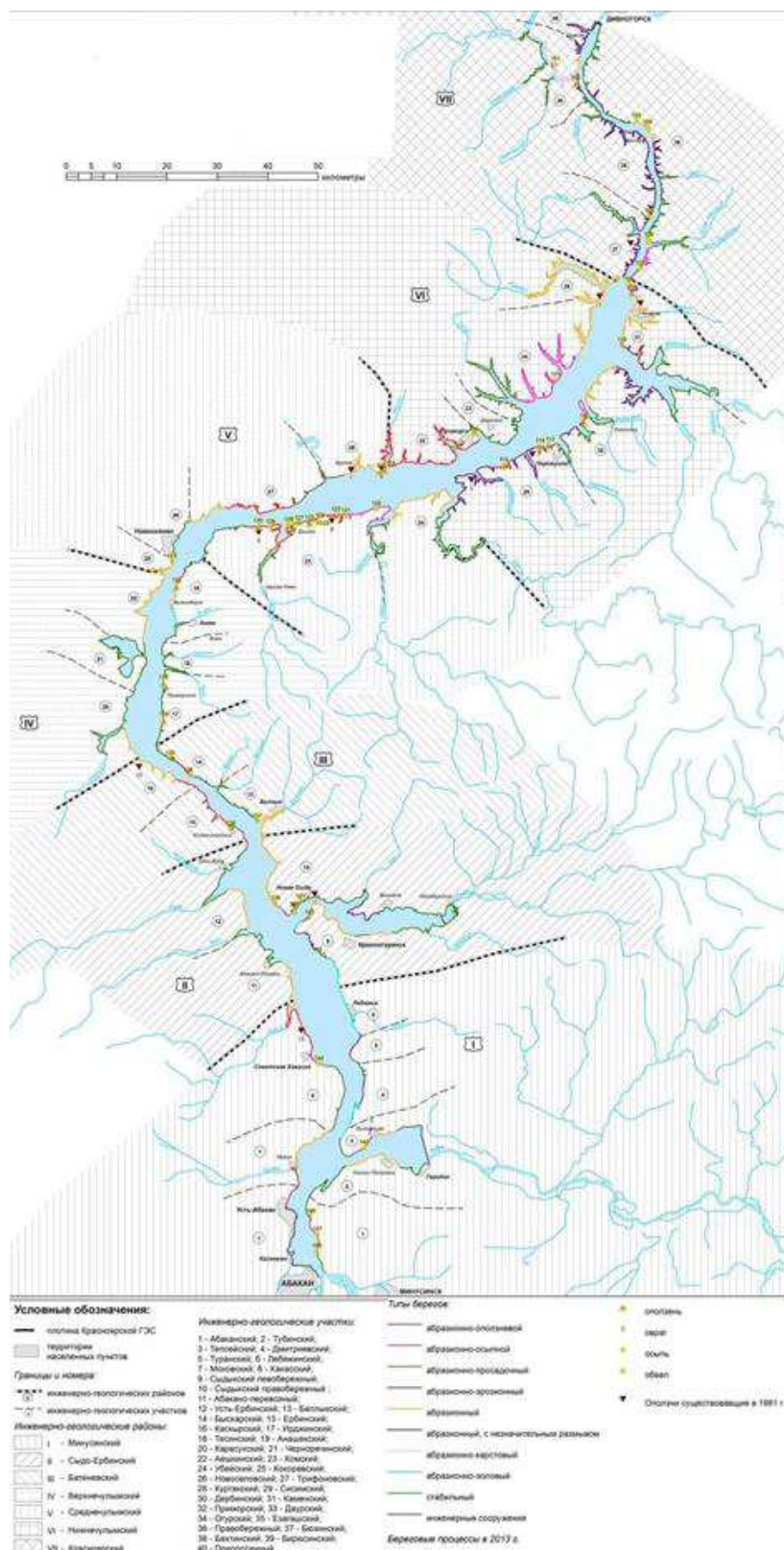
ПРИЛОЖЕНИЕ А

Карта - схема состояния берегов Красноярского водохранилища на 1981 – 1982 гг.



ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Карта - схема состояния берегов Красноярского водохранилища на 2013 гг.



Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Институт экологии и географии
Кафедра географии

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой


подпись

Г. Ю. Ямских
инициалы, фамилия

«29» июня 2020 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

05.03.02 География

05.03.02.02 «Физическая география и ландшафтоведение»

Процессы берегопереработки Красноярского водохранилища


Научный
руководитель


29.09.20
подпись, дата

проф., д-р геогр. наук
должность, учёная степень


Г. Ю. Ямских
инициалы, фамилия

Выпускник


29.09.20
подпись, дата

Н. С. Диль
инициалы, фамилия

Нормоконтролер


29.08.20
подпись, дата

В. О. Брунгардт
инициалы, фамилия

Красноярск 2020