

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт экологии и географии

институт

Кафедра географии
кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

Г.Ю. Ямских 2.10
подпись инициалы, фамилия

« 14 » 06 20 17 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Переработка берегов Красноярского водохранилища в районе поселка Куртак
тема

05.04.06 Экология и природопользование

код и наименование направления

05.04.06.03 Геоэкология

код и наименование магистерской программы

Научный руководитель

Г.Ю. Ямских 14.06.17г.

д-р геогр. наук профессор

Г.Ю. Ямских

инициалы, фамилия

Выпускник

В.В. Карпов 14.06.2017

В.В. Карпов

инициалы, фамилия

Рецензент

М.П. Махров 14.06.17

доцент, канд. геол.-геофиз. наук

М.П. Махров

инициалы, фамилия

Красноярск 2017

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ	8
1. ПРОЦЕССЫ ПЕРЕРАБОТКИ БЕРЕГОВ ВОДОХРАНИЛИЩ И МЕТОДЫ ИХ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ	9
1.1 Переработка берегов водохранилищ: сущность, масштабы, последствия	9
1.2 Обзор методов прогнозирования переработки берегов	13
1.3 Метод прогнозирования переработки берегов Г.С. Золотарев	17
1.4 Метод прогнозирования переработки берегов Е.Г. Качугина	20
2. ПЕРЕРАБОТКА БЕРЕГОВ КРАСНОЯРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА	33
2.1 Общие сведения о водохранилище	33
2.2 Природные условия побережья и акватории водохранилища	43
2.2.1 Морфологические условия	43
2.2.2 Инженерно-геологические условия	46
2.2.3 Гидрометеорологические условия	54
2.3 Переработка берегов водохранилища за период его эксплуатации	66
3. ПЕРЕФОРМИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗ РАЗВИТИЯ БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ В РАЙОНЕ ПОСЕЛКА КУРТАК	75
3.1 Краткая характеристика участка наблюдения переформирования береговой зоны	75
3.2 Результаты наблюдений за переработкой берега на участке	77
3.3. Оценка оправдываемости методов прогноза переработки берегов по данным наблюдений	86
3.4. Прогноз переработки берега Красноярского водохранилища у п. Куртак на 10, 20 и 30 лет	101
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	104
SUMMARY	106
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	107

ВВЕДЕНИЕ

В России существует около 2260 водохранилищ с объемом от 0,1 км³ и выше и несколько тысяч более мелких. Создание водохранилища, позволяет решать целый комплекс социально-экономических задач: получение большого количества достаточно дешевой электроэнергии, улучшение условий судоходства, создание новых территориально-промышленных комплексов, обеспечение водой сельскохозяйственных предприятий в засушливых районах, предотвращение негативных последствий паводков и половодий.

Однако наряду с очевидными положительными результатами создание водохранилищ приводит и к ряду негативных последствий, в частности, к развитию на побережье водохранилища комплекса экзогенных геологических процессов, ведущее место среди которых занимает переработка его берегов. Эти явления характерны для всех крупных водохранилищ России. В настоящее время разрушению подвержено 34% суммарного периметра их береговой линии.

Береговая зона водохранилищ является наиболее благоприятной и обжитой территорией. В России существует множество красивейших объектов на которых можно развивать внутренний туризм. Но большая часть берегов подвержна активной переработке, разрушению, что делает их непригодными к использованию и приводит к значительной потере ценных прибрежных земель. Изучение опасных экзогенных геологических процессов в береговой зоне позволит не только оценить существующий и потенциальный ущерб, но и найти наиболее оптимальные пути решения по предотвращению дальнейшего ущерба от потери ценных прибрежных земель, которые будут удовлетворять всех земле- и водопользователей.

Береговая зона водохранилищ является важнейшей средой обитания человека, поскольку две трети населения Земли предпочитает жить, работать или отдыхать на побережье водоемов. Россия в этом смысле исключения не составляет, но, в отличие от других стран, у нас более обжиты не морские побережья,

а побережья внутренних водоемов, особенно – водохранилищ. Это обусловлено двумя факторами.

Во-первых, значительную долю материковой береговой линии России составляют берега морей бассейна Северного Ледовитого и Тихого океанов с неблагоприятными для человека условиями жизни. По оценкам Института прикладной математики РАН возможный разовый социально-экономический ущерб от разрушения берегов в России может достигать 0.0675 миллиарда рублей в год, а его среднемноголетняя величина составляет 15.75 миллиардов рублей в год; по мнению специалистов МЧС РФ и Института геоэкологии РАН среднемноголетняя величина социально-экономического ущерба от разрушения берегов морей и водохранилищ еще выше – более 32 миллиардов рублей год.

Однако даже эти цифры не учитывают ущерб природной среде, наносимый деятельностью береговых процессов и величину необходимых для его компенсации затрат. Поэтому весьма остро стоит вопрос как предотвратить или уменьшить потерю ценных прибрежных земель и восстановить пригодность побережья для рекреационного использования. Принято считать, что переработка берегов происходит вследствии негативного воздействия вод. Практически не учитывается возможность возникновения опасных экзогенных процессов (ЭГП) в береговой зоне. А ведь они возникают, а также усиливаются и усугубляются волновой деятельностью и колебанием уровня водоемов. К опасным экзогенным геологическим процессам в береговой зоне относятся - оползни, осипы, береговая абразия и эрозия, возникновение крупных оврагов и т.п. Механизмы возникновения и развития этих процессов непосредственно в береговой зоне водохранилищ практически не изучен, а соответственно отсутствуют методы мониторинга, прогноза и предотвращения возникновения ЭГП в береговой зоне водоемов. Береговая зона поселка Куртак выбрана в качестве ключевого участков для выполнения диссертации. Выбор участков обусловлен тем, что является весьма обжитой территорией. Однако дальнейшее развитие этой

территории во многом ограничено интенсивным развитием опасных ЭГП в береговой зоне этого места.

Поэтому разработка планов социально-экономического развития прибрежных регионов, рационального использования природных ресурсов при соблюдении экологической безопасности, невозможна без понимания того, как влияют природные условия и техногенные преобразования на береговые системы. В связи с этим, научно - обоснованные прогнозы воздействия как естественных, так и антропогенных факторов на природную среду, разработка критериев уязвимости береговой зоны, основанных на современных знаниях о физических и динамических процессах, исключительно важны для решения не только фундаментальных, но и прикладных, и социальных задач прибрежной зоны внутренних водоемов России.

Актуальность планируемых исследований обусловлена также отсутствием проработанной методики комплексного изучения береговой зоны в целом и существующих здесь опасных ЭГП в частности, включающей оценку значимости всех процессов природного и антропогенного характера, определяющих современную трансформацию конкретных береговых геоморфологических образований. В связи с этим назрела необходимость анализа существующего состояния всех компонентов прибрежных геосистем внутренних водоемов России.

Поскольку берега водохранилищ являются, как правило, местами наиболее интенсивного хозяйственного освоения, то их переработка приводит к разрушению возведенных на берегу сооружений; безвозвратной потере земельных угодий; загрязнение водоемов за счет размыва участков, обогащенных сельскохозяйственными удобрениями или содержащих промышленные отходы.

Таким образом, изучение процессов переработки берегов и разработка методов прогнозирования этого явления имеет огромное практическое значение.

Так же направлено на решение проблемы контроля состояния береговой зоны как геосистемы, выявлению закономерностей развития опасных экзоген-

ных геологических процессов в условиях техногенеза, разработку системы мониторинга, прогноза и предотвращения возникновения опасных экзогенных геологических процессов в береговой зоне.

Достоверный прогнозы переработки берегов и выявление закономерностей современной эволюции и обоснований прогноза развития и возникновения опасных ЭГП в береговой зоне внутренних водоемов России при совместном влиянии природных и антропогенных факторов настоятельно необходим как на стадии проектирования водохранилища, так и в ходе его эксплуатации.

Цель данной работы – оценить процессы берегопереработки Красноярского водохранилища в районе пос. Куртак.

Для достижения указанной цели были поставлены и решены следующие задачи:

1) Собрать и проанализировать информацию о сущности явления переработки берегов и факторах ее определяющих, а также о существующих методах прогноза переработки берегов водохранилищ.

2) Проанализировать сведения о переработке берегов Красноярского водохранилища за период его эксплуатации и изучить основные факторы, обуславливающие этот процесс: инженерно-геологические, морфологические, гидрометеорологические. Оценить текущее состояние берегов водоема и тенденции их развития.

3) Провести верификацию (оценку оправдываемости) широко используемых методов прогнозирования переработки берегов водохранилищ.

4) Выполнить прогноз переработки береговой зоны водохранилища в районе пос. Куртак на 10, 20 и 30 лет.

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

Объектом исследования выступает участок левого берега Красноярского водохранилища у п. Куртак.

В районе пос. Куртак берег демонстрирует максимальную для всего водохранилища интенсивность разрушения. Кроме того, на рассматриваемом участке

стке с момента создания водохранилища (1967 г.) и по 1981 г. выполнялись регулярные и геодезически точные наблюдения за отступанием бровки берега, изменениями его профиля, процессами формирования прибрежных отмелей и т.д.

Для решения поставленных задач применялись как традиционные методы топографии и гидрографии, так и современные методы геоинформатики и программные средства ГИС.

В работе были использованы результаты наблюдений за переработкой берегов Красноярского водохранилища, проводившихся в 1967 – 1982 гг. группой исследователей под руководством В.М. Савкина, В.С. Кусковского и Л.Н. Каскевич.

Научная новизна работы состоит в получении дополнительных, хорошо обоснованных оценок оправдываемости наиболее распространенных методов прогноза переработки берегов водохранилищ.

Практическая новизна работы состоит в получении прогноза переработки современного берега для конкретном участке Красноярского водохранилища (у п.Куртак) на последующие 10, 20 и 30 лет.

Результаты работы могут быть использованы для дальнейшего совершенствования методов прогнозирования переработки берегов и планирования хозяйственной деятельности на рассматриваемом участке побережья Красноярского водохранилища у п. Куртак.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ

1. СОВРЕМЕННЫЕ МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАЛИВА СЫДА КРАСНОЯРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА : доклад, тезисы доклада / В. В. Карпов // Экология Южной Сибири и сопредельных территорий : В 2 томах / Ответственный редактор В. В. Аношин ; XIX Международная научная школа-конференция студентов и молодых ученых "Экология Южной Сибири и сопредельных территорий" (2015 ; 02.12 - 04.12 ; Абакан) : Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова, 2015. - 1, Выпуск 19. - С. 149-150 . - ISBN 978-5-7810-1411-8

ГРНТИ 34.35

Держатели документа: Сибирский федеральный университет
Доп.точки доступа: Ответственный редактор В. В. Аношин; Карпов, В.В.; XIX Международная научная школа-конференция студентов и молодых ученых "Экология Южной Сибири и сопредельных территорий"(2015 ; 02.12 - 04.12 ; Абакан)

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАЛИВА СЫДА КРАСНОЯРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННОГО ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО И ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ГИС / В.В.Карпов //Материалы Юбилейной конференции, посвященной 115-летию Красноярского краевого отделения Русского географического общества, Красноярск, 26–30 сент. 2016 г. / редкол. : Д. Е. Болкунова, О. А. Кузнецова, Н. Ю. Жаринова [и др.] ; науч. ред. Г. Ю. Ямских. – Электрон. дан. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2016. ISBN 987-5-7638-3573-1

1. ПРОЦЕССЫ ПЕРЕРАБОТКИ БЕРЕГОВ ВОДОХРАНИЛИЩ И МЕТОДЫ ИХ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

1.1 Переработка берегов водохранилищ: сущность, масштабы, последствия

Водохранилище – это искусственный водоем, созданный для накопления и последующего использования воды и регулирования стока. Создание водохранилища, особенно крупного, позволяет решать целый комплекс социально-экономических задач: получение большого количества достаточно дешевой электроэнергии, улучшение условий судоходства, создание новых территориально-промышленных комплексов, обеспечение водой сельскохозяйственных предприятий в засушливых районах, предотвращение негативных последствий паводков и половодий.

К настоящему времени в России создано около 2260 водохранилищ с объемом от 0,1 км³ и выше и несколько тысяч более мелких. Это повлекло за собой преобразование ландшафтов бассейнов рек и естественных озер на площади свыше 700 тыс. км² и затронуло социально-экономическую инфраструктуру территорий общей площадью до 1,5 млн. км² [17, 18].

Из эксплуатируемых на территории России 2260 крупных водохранилищ (объемом более 1 млн м³) 2008 (90 %) расположены в европейской части, преимущественно в пределах Волго-Камского и Невского речных бассейнов. Остальные водохранилища эксплуатируются в Западной и Восточной Сибири (7 %) и на Дальнем Востоке (3 %).

Однако наряду с очевидными положительными результатами создание водохранилищ приводит и к ряду негативных последствий, в частности, к развитию на побережье водохранилища комплекса экзогенных геологических процессов, ведущее место среди которых занимает переработка берегов.

Сущность переработки берегов заключается в приспособлении исходного рельефа затопленной речной долины к новым гидрологическим условиям. После образования водохранилища во взаимодействие с поверхностью гидросферой вступает полоса суши, которая ни морфологически, ни структурно не под-

готовлена к восприятию воздействий новых гидродинамических факторов – энергии ветровых волн и энергии вдольбереговых течений.

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 1.1.



Рисунок 1.1 - Типичная схема переработки берега водохранилища[17]

Характер интенсивности и другие специфические особенности переработки берегов водохранилищ определяются совокупностью трех групп факторов – регионально-геологическими, зонально-климатическими, и биогенными [19].

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 бе-

реговых 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 заключаются в повышении сопротивляемости приповерхностных толщ пород размыву за счет их армирования древесной и травяной растительностью. Но, в целом, значение биогенных факторов в переформирования 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, осьпи, обвалы, оврагообразование и т.п.), обусловленных созданием и эксплуатацией водохранилищ принято называть термином – «переформирование берегов» [1]

Как видно из таблицы 1.1 процессы переработки берегов, и в более широком смысле, их переформирования, характерны для всех крупных водохранилищ России (смотрим таблицу 1.1)

Таблица 1.1- Масштабы и среднемноголетняя интенсивность переработки берегов водохранилищ России [17]

Водохранилище	Протяженность береговой линии, км	Протяженность разрушаемых берегов, км	Протяжённость переработки, км	Интенсивность, м/год	Интенсивность, га/год
Всего по водохранилищам 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
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 [19]:

- 1) разрушение уже возведенных на берегу сооружений гражданского, промышленного и рекреационного назначения;
- 2) безвозвратные потери эксплуатируемых и перспективных для освоения земельных 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.

По оценкам А.Л. Рогозина и В.Н. Буровой ущерб только от потери земель вследствие переработки берегов на крупных водохранилищах России ежегодно составляет порядка 9 млн. долларов США [17]. Причем, это значение не учитывает ассоциированные затраты на перенос жилья, промышленных, сельскохозяйственных, коммунальных объектов, дорог, линий электропередач и т.д. Не учитывает она и ущерб природной среде, наносимый деятельностью береговых процессов и затраты на его компенсацию. Можно лишь полагать, что их совокупная величина подобных затрат превосходит стоимость теряемых земель, как минимум, на порядок [17].

Из сказанного выше следует, что изучение процессов переработки берегов и разработка методов прогнозирования этого явления имеет огромное практическое значение. Достоверный прогнозы переработки берегов настоятельно необходимы как на стадии проектирования водохранилища, так и в ходе его эксплуатации для решения вопросов о землепользовании, выносе строений и различных инженерных сооружений за пределы угрожаемой зоны, осуществления берегозащитных мероприятий.

1.2 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 [1]. Их можно классифицировать по следующим критериям: условия применения, принципы прогнозирования, сроки прогнозирования.

По условиям применения методы делятся на 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. Варазашвили и Н.Г. Хостиашвили для водохранилищ, расположенных в горно-складчатых областях Грузии; методы И.А. Печёркина для водохранилищ Камского каскада; метод С.В. Томирдиаро и В.К. Рябчук 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 размытого грунта берегового откоса, связана определенным расчетным соотношением с энергией ветрового волнения, действующего на рассматриваемый участок побережья.

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 1.2

Таблица 1.2 - Универсальные методы прогноза переработки берегов водохранилищ [1]

Принцип прогнозирования	Срок прогноза	Автор	Год создания
Энергетические методы	на любой срок	Н.Е. Кондратьев	1956
		Е.Г. Качугин	1959
		Е.К. Гречищев	1961
		В.К. Рудаков	1961
		Е.К. Пуляевский	1979
		А.Л. Рогозин	1987
Методы инженерно-геологических (геоморфологических) аналогий	на любой срок	Б.А. Пушкин	1954
		Г.С. Золотарев	1955
		Д.Н. Раша	1958
		Л.Б. Розовский	1962
	Только на конечную стадию	Ф.П. Саваренский	1935
		В.А. Ширяев	1940
		Б.В. Поляков	1946

Из перечисленных в таблице 1.2 универсальных методов прогнозирования наиболее широкое практическое применение нашли методы Золотарева, Качугина, Кондратьева и Пушкина. С их помощью были осуществлены массовые прогнозы переработки берегов водохранилищ Волжского и Днепровского каскадов [1,2]. В 1955-1964 гг. при проектировании Красноярского водохранилища были выполнены прогнозы переработки его берегов по методам Золотарева, Качугина и Кондратьева [3,4].

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 натурных наблюдений.

Итогом этой работы стало издание ведомственных «Методических рекомендаций по прогнозированию переформирования берегов водохранилищ» [5]. 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 [1, 2, 4].

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

В заключение данного обзора следует отметить важные черты,ственные 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.

1.3 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 [6].

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 [6].

Этот графико-аналитический метод основан 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 1.3- а).

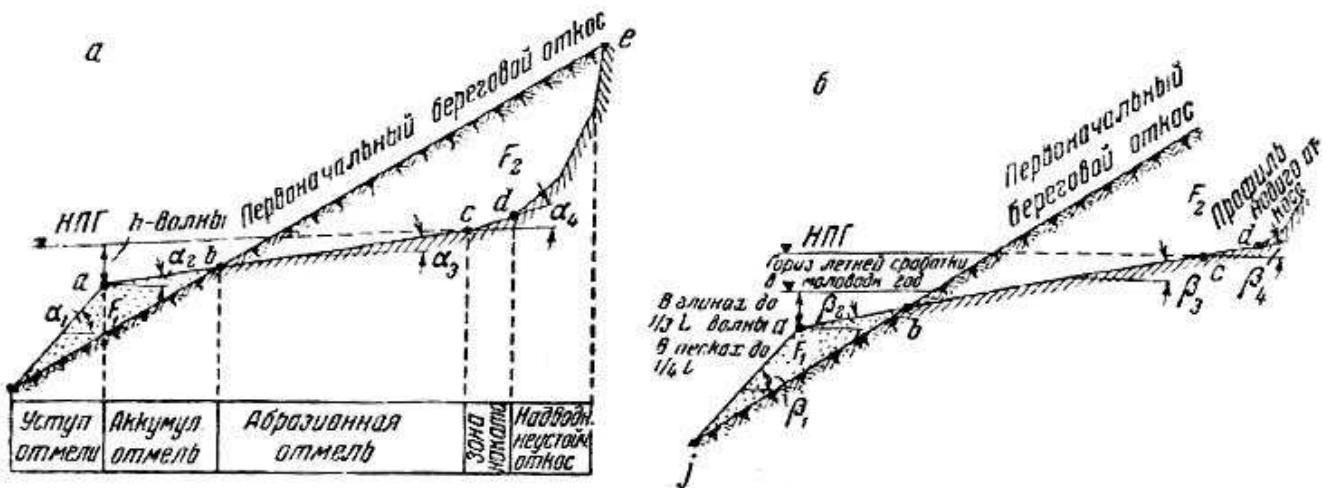


Рисунок 1.3 - Схема построения профиля берега при прогнозировании его переработки по методу Золотарева Г.С. [8]:

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

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

Для выполнения прогноза необходимы следующие данные:

- уровни: НПУ, горизонт сработки в период открытого русла в маловодный год (обеспеченность 95%), максимальные уровни половодья 5% и 50% обеспеченности;
- величина углов наклона абразионной и аккумулятивной части отмели, зона наката для разных пород по двум стадиям расчета;
- данные о крутизне устойчивых и неустойчивых откосов и склонов, выработанных в разных породах;
- 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 1.3- а).

При построении расчетного профиля определяется характер отмели (абразионная, абразионно-аккумулятивная, абразионно-эрзационная) 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 б. Из точки б 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 д располагается зона наката волн. Положение верхней границы этой зоны (точки д) определяется высотой наката волн над уровнем воды (h_n), которая вычисляется по формуле Джунковского:

$$h_n = 3,2 \cdot K \cdot h_b \cdot \operatorname{tg} \alpha_4 \quad (1.1)$$

где К – 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 д строится надводный откос, принимаемый для 10-летней стадии неустойчивым с предельной крутизной.

После построения профиля производится проверка соотношения площади аккумуляции и размыва (F_1/F_2), что должно соответствовать принятому проценту аккумуляции. Передвижением точки а вправо или влево добиваются нужного соотношения площадей аккумуляции и размыва.

Прогноз переработки берега на «конечную» стадию (рисунок 3.1- 6).

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 а 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 [6] 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.

1.4 Метод прогнозирования переработки берегов Е.Г. Качугина

Метод Е. Г. Качугина основан на следующих положениях [7]:

- в переработке берега участвуют волны всех высот и общий объем размытых 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:

$$Q = E \cdot K_p \cdot K_b \cdot t^b \quad (1.2)$$

где Q – объем размытых пород на 1 м погонный метр берега, м^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_b – коэффициент, учитывающий высоту берега; K_p – коэффициент размываемости пород, зависящий от их литологического состава (таблица 1.4.1), м³/тм.

Таблица 1.4.1- Коэффициенты размываемости (K_p) горных пород берегов водохранилищ [7]

Водохранилище	Геологический индекс	Литологический состав пород	K_p , м ³ /тм
Цимлянское	Pg ₂ tz ₁	Глина с прослойями 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, песок среднезернистый	0,00082
Иваньковское	glQ ₃	Суглинок с валунами	0,00086
Истринское	glQ ₂	Пески разнозернистые с гравием и галькой	0,00090
Рыбинское	glQ ₃ + glQ ₂	Суглинок с валунами с прослойями 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 разнозернистые с гравием	0,00124
Пестовское	glQ ₃ + alQ ₃	Пески среднезернистые, глины с валунами	0,00140
Цимлянское	alQ ₁	Суглинки и глины с прослойями песка	0,00140
Клязьминское	alQ ₃	Песок разнозернистый	0,00155
Иваньковское	alQ ₃ +dQ ₃	Песок глинистый	0,00172
Акуловское	alQ ₃	Песок крупнозернистый	0,00193
Клязьминское	alQ ₃	Песок среднезернистый с прослойями 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 прослойями супесей	0,00481
Иваньковское	alQ ₃	Песок мелкозернистый	0,00506
Рыбинское	alQ ₂	Песок мелкозернистый	0,00594
Днепровское	eQ ₂	Супеси лессовидные легкие с прослойями мелкозернистых песков	0,00605
Горьковское	alQ ₂	Песок пылеватый	0,00652

Показатель степени 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:

$$K_b = h_b \cdot c \quad (1.3)$$

где h_b – 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_b 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 размытых 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 1.4.1). Под рабочей волной понимается волна, характерная для данного участка берега и производящая максимум размывающей работы.



Рисунок 1.4.1- Построение профиля переработки берега в методе Качугина Е.Г. [7]

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 3.2), 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 размытых 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 [7], Е.Г. Качугин для определения высоты волны по волнобразующим факторам (скорости ветра, длине разгона и глубине водоема) использовал номограммы А.П. Браславского (рисунок 1.4.2). 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 1.4.3).

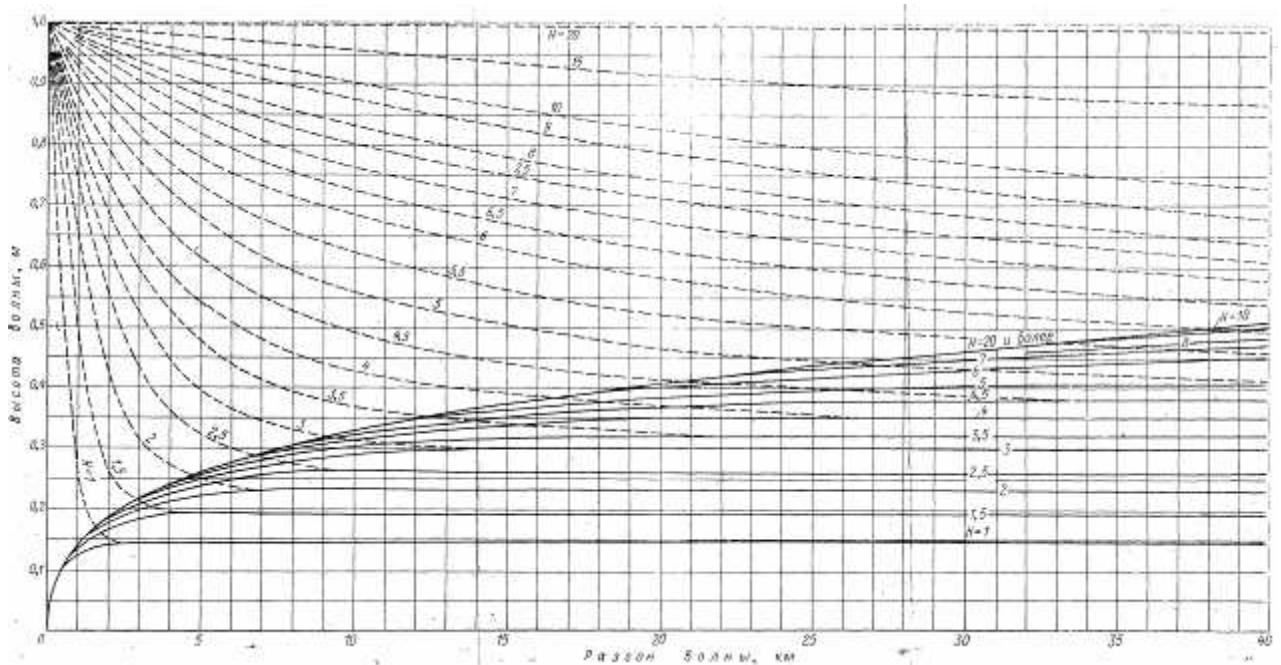


Рисунок 1.4.2 - Номограмма А.П. Браславского для определения высоты волн 0,1% обеспеченности при скорости ветра 5 м/с [7]

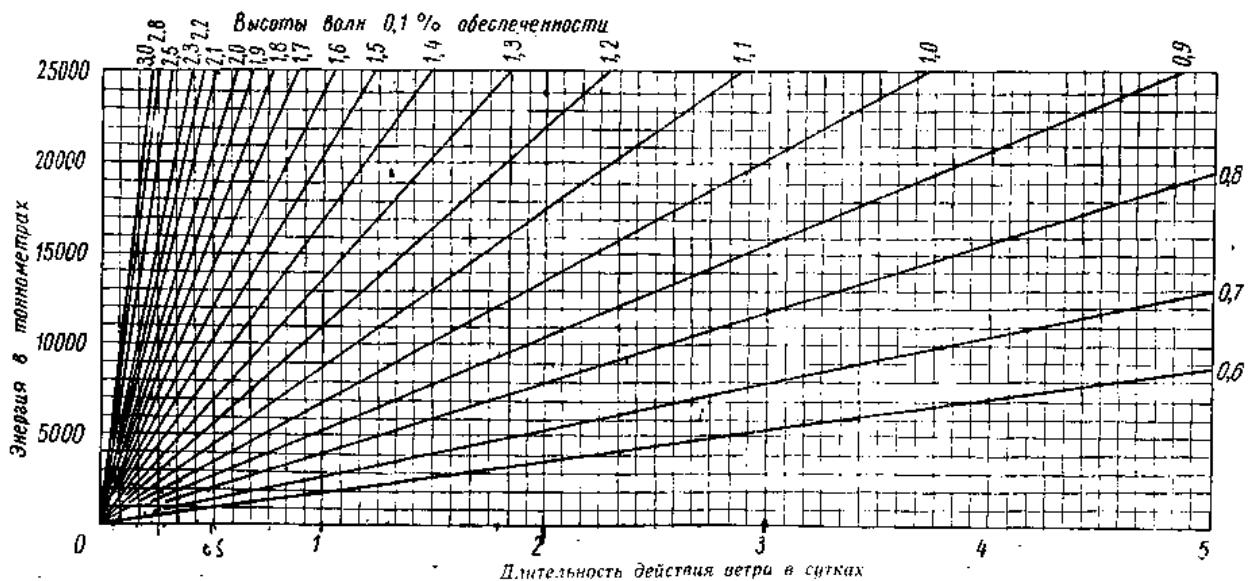


Рисунок 1.4.3 - Номограмма А.П. Браславского для определения энергии волнения по длительности действия ветра и высоте волны 0,1% обеспеченности с горизонтальной шкалой на 5 суток [7]

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 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 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 [9, 10, 11].

Средняя высота (Н) и период (Т) 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 [12], которые являются аналитической основой соответствующих номограмм, приведенных в СниП [9]:

$$\frac{gH}{V^2} = 0,16 \left\{ 1 - \left[1 + 0,006 \left(\frac{gX}{V^2} \right)^{0,5} \right]^{-2} \right\} \times th \left(0,625 \frac{\left(\frac{gh}{V^2} \right)^{0,8}}{\left\{ 1 - \left[1 + 0,006 \left(\frac{gX}{V^2} \right)^{0,5} \right]^{-2} \right\}} \right) \quad (1.4)$$

$$\frac{gT}{V} = 3,1 \times 2\pi \left(\frac{gH}{V^2} \right)^{0,625} \quad (1.5)$$

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 1.4.4).

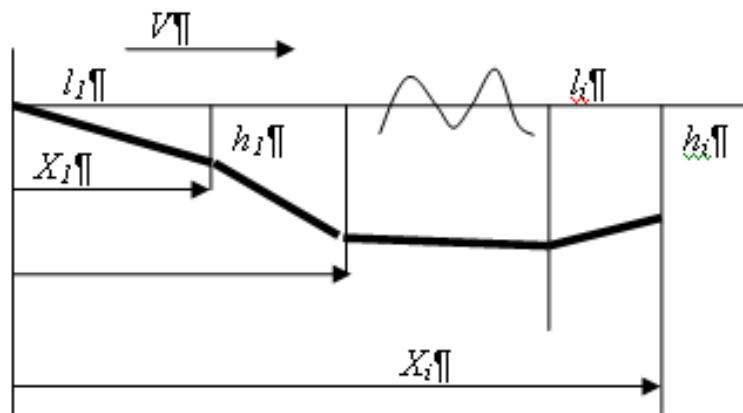


Рисунок 1.4.4 - Схема разбивки разгона на участки при изменяющейся глубине

Рассмотрим два последовательных участка $i-1$ и i с глубинами h_{i-1} и h_i в конце участков (рис. 1.4 - 4). 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 (1.4) 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 (1.4) для X_i , V и h_i определяют параметры волн в конце данного участка.

Если решение уравнения (4) для ΔX не может быть найдено, т.е. волна с высотой H_{i-1} не может существовать на глубине h_i , то имеет место предельный режим волнообразования, при котором параметры волн на i -том участке не зависят от разгона, а определяются лишь его относительной глубиной h_i/V^2 .

Путем численного исследования выражения (1.4) 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:

$$\frac{gH}{V^2} = 0,084155 \left(\frac{gh}{V^2} \right)^3 - 0,13801 \left(\frac{gh}{V^2} \right)^2 + 0,15062 \left(\frac{gh}{V^2} \right) - 0,0014515 \quad (1.6)$$

Высота волны заданной обеспеченности в системе определяется умножением средней высоты волн на коэффициент КН $i\%$, зависящий от относительной глубины [10]. Его значения представлены в таблице 1.4.2

Таблица 1.4.2 - Значения коэффициента КН $i\%$ для определения высот волн заданной обеспеченности ($i\%$) [10]

$i\%$	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 [11, 13].

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 [13]:

$$\frac{H}{H_{rms}} = \frac{\sqrt{\pi}}{2} = 0.886, T_p = 1.2T \quad (1.7)$$

Энергия (E) одной регулярной волны с высотой H_{rms} и периодом T_p , приходящаяся на единицу длины ее фронта определяется как [1.4-5]:

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

где ρ – плотность воды (принимаемая для пресной воды 1000 кг/м³); g – ускорение свободного падения (принимаемое 9,81 м/с²); L – длина волны, м.

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

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

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 [14]:

$$(kh)^2 = y^2 + \frac{y}{1 + \sum_1^6 a_n y^n}, y = \sigma^2 h / g, a_1 = 0.666666666, a_2 = 0.3555555555, a_3 = 0.1608465608, a_4 = 0.0632098765, a_5 = 0.0217540484, a_6 = 0.0065407983 \quad (10)$$

$$a_3 = 0.1608465608, a_4 = 0.0632098765, a_5 = 0.0217540484, a_6 = 0.0065407983$$

Тогда, зная продолжительность волнения, можно определить его суммарную энергию за время действия с использованием выше приведенных формул (1.8 – 1.10):

$$E_{\Sigma} = E \cdot \left(\frac{D}{T_p} \right) \quad (1.11)$$

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 [7, 10].

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 1.4.3.

По данным таблицы 1.4.3 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):

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

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 [10], 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:

Таблица 1.4.3 – 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).

Общее число наблюдений – 19344, количество штилей – 6600 случаев (34,12 %) [15]

V, м/с	число случаев																
	C	CCB	CB	BCB	B	ВЮВ	ЮВ	ЮЮВ	Ю	ЮЮЗ	ЮЗ	ЗЮЗ	3	3С3	С3	СС3	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

$$V_{10} = K_z \cdot V_z$$

(1.13) 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 1.4.4.

Таблица 1.4.4 - Значения коэффициентов K_z для приведения скорости ветра, измеренной на уровне Z , к уровню 10 м над поверхностью бассейна [10]

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 1.4.4 для случаев «вода теплее воздуха» и «вода холоднее воздуха» [1.4-4].

Для тех ситуаций, когда значение высоты измерений скорости ветра выходит за пределы значений, указанных в таблице 1.4.4, для получения необходимого значения K_z , на основе имеющихся в этой таблице данных, была построена аппроксимационная зависимость $K_z = f(Z)$, представленная на рисунке 1.4-5.

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

$$1m \cdot m = 1000 kg \cdot m, 1 kg \cdot m = 9,81 \underline{Дж} \quad (14)$$

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

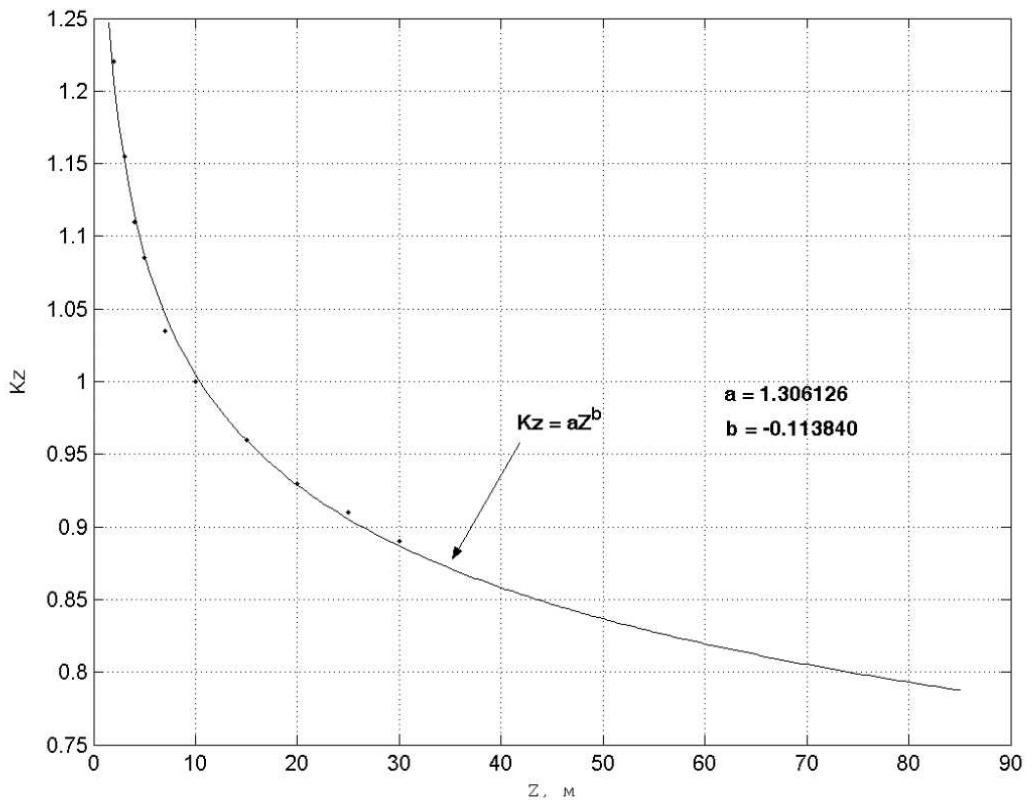


Рисунок 1.4.5 - Аппроксимационная зависимость для определения значения коэффициентов K_z для приведения скорости ветра, измеренной на уровне Z , к уровню 10 м над поверхностью бассейна [10]

Следует также отметить, что применение расчетных формул вместо номограмм позволяет автоматизировать вычисления. Например, для определения параметров волн по волнообразующим факторам и вычисления длины волны и ее энергии при практическом применении метода Качугина использовался программный продукт «Береговой инженерный калькулятор» [16].

Кроме того, промежуточным, но весьма полезным результатом применения метода Качугина являются значения параметров волн по всему спектру ветров, действующих на данный участок, которые могут быть использованы при проектировании берегозащитных сооружений.

**2. ПЕРЕРАБОТКА БЕРЕГОВ КРАСНОЯРСКОГО
ВОДОХРАНИЛИЩА**

[Глава 2 изъята]

**3. ПЕРЕФОРМИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗ РАЗВИТИЯ БЕРЕГОВОЙ
ЗОНЫ В РАЙОНЕ ПОСЕЛКА КУРТАК**

[Глава 3 изъята]

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований нами установлено, что на Красноярском водохранилище в береговой зоне продолжаются геоморфологические процессы, преобразующие рельеф береговой зоны.

С момента создания Красноярского водохранилища процесс переработки берегов связан с уровненный режим водохранилища. За последние 19 лет он ни разу не достигал отметки НПУ, да и отметку 241 м превышал эпизодически и кратковременно. В этих условиях стали доминирующими геодинамические процессы, прямо не связанные с гидродинамическим воздействием водоема, которые имеют меньшую интенсивность протекания. Конечно, и в настоящий момент, на Красноярском водохранилище существуют участки, где переработка берегов продолжается, возникают новые оползни и другие геодинамические явления, но масштаб в пространстве и во времени этих процессов существенно меньше, чем в первые годы существования водохранилища. Активизация процессов разрушения берегов может быть вызвана, прежде всего, форсированным уровнем водохранилища. Наблюдения предшествующих лет на Красноярском водохранилище это подтверждают. Поэтому, с точки зрения устойчивости берегов, необходимо сохранять существующий уровненный режим водоема.

Участок п. Куртак является классическим примером берега, где преобладают явно выраженные геодинамические процессы над волновой деятельности. По данным натурных наблюдений 1970-2016 гг. средняя скорость отступания бровки берега здесь составляла 10-12 м/год, а по данным прогноза – 12 м за 10 лет. Это связано со свойствами слагающих берег пород, которые обладают высокой пористостью и низкой степенью устойчивости к размоканию, что даже при слабом волнении приводит к интенсивному разрушению, просадкам и значительному отступанию бровки берега.

По результатам прогнозирования участка береговой зоны в районе поселка Куртак (по методу Качугина Е.Г.) отступания бровки берега от исходного положения на 2016 год составит: 10 лет – 54 м; 20 лет – 124 м; 30 лет – 180 м.

По прогнозированию переработки берега видна связь темпов и объемов переработки берега с инженерно-геологическими условиями и мощностью гидродинамических (волновых) воздействий. Следует также отметить, что прогнозируемые значения переработки берегов хорошо согласуются с общими тенденциями его развития на каждом из участков за весь период эксплуатации водохранилищ.

Опираясь на результаты выполненного прогноза, можно заключить, что для рассмотренного участка процесс переработки берегов реальной угрозы для хозяйственной деятельности не несет, по крайней мере, в ближайшей перспективе. Жилые дома п. Куртак находятся в 800-900 м от бровки берега.

Представляется необходимым продолжение гидрологических и геоморфологических исследований водохранилищ в будущем. Информация, полученная в результате таких исследований, может послужить не только для решения конкретных социальных, экономических и экологических проблем уже существующих искусственных водоемов, но и оказаться полезной при создании новых водохранилищ. Поскольку исследования и мониторинг водохранилищ не является исключительно инженерно-технической задачей, то в этой работе необходимо участие и со стороны научного сообщества.

SUMMARY

The thesis is devoted to the study and evaluation of the processes of coastal processing of the Krasnoyarsk reservoir in the area of the village. Kurtak. The material is based on observations of the state of the coastal zone of the settlement. Kurtak for the entire period of operation of the Krasnoyarsk reservoir. The thesis presents the results of observations of changes in the relief of the coastal zone of the Krasnoyarsk Reservoir near the village of Kurtak. The processes participating in the reorganization of the coastal zone as a function of the change in the level regime of the reservoir are described. The factors that will influence the processing in the area in the near future are identified in the near future. The forecast of the coastline retreat for 10, 20, 30 years is given.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бондарик, Г.К. Инженерная геодинамика: учебник / Г.К. Бондарик, В.В. Пендин, Л.А. Ярг. – М.: КДУ, 2007. – 440 с.
2. Экзогенные геологические опасности. Тематический том /под ред. В.М. Кутепова, А.И. Шеко. – М.: Изд-во «КРУК», 2002. – 348 с.
3. Кусковский, В.С. Формирование берегов Красноярского водохранилища. / В.С Кусковский, Ю.И. Подлипский, В.М. Савкин, В.М. Широков. – Новосибирск: Наука, 1974. – 234 с.
4. Савкин, В.М. Эколого-географические изменения в бассейнах рек Западной Сибири (при крупномасштабных водохозяйственных мероприятиях). – Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 2000. – 152 с.
5. Методические рекомендации по прогнозированию переформирования берегов водохранилищ /отв. ред. Д.П. Финаров – ВНИИГ им. Веденеева, П 30-75, Л.: 1975. – 64 с.
6. Золотарёв, Г.С. Инженерно-геологическое изучение береговых склонов водохранилищ и оценка их переработки – «Труды лаборатории гидрогеологических проблем». М, АН СССР, т. 7, 1955 – с. 38-57.
7. Качугин, Е.Г. Рекомендации по изучению переработки берегов водохранилищ / Всесоюзный институт гидрогеологии и инженерной геологии (ВСЕГИНГЕО). – М: Госгеолтехиздат, 1959 – 89 с.
8. Золотарев, Г.С., Калинин Э.В., Минервин А.В. Учебное пособие по инженерной геологии. М., 1970.
9. Строительные нормы и правила (СНиП) 2.06.04-82 (Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов) – Госстрой СССР, 1984 (с изм. 1, 1989; с изм. 2, 1995). – 75 с.
10. Руководство по расчету элементов гидрологического режима в прибрежной зоне морей и в устьях рек при инженерных изысканиях / отв. ред. Б.Х. Глуховский – Госгидромет, ГОИН, ПНИИС – М.: Гидрометеоиздат, 1978. – 535 с.

11. Свод правил (СП) 32-103-97. Проектирование морских берегозащитных сооружений – корпорация Трансстрой, 1997. – 166 с.
12. Крылов, Ю.М., Стрекалов С.С., Цыплухин В.Ф. Ветровые волны и их воздействие на сооружения. – Л.: Гидрометеоиздат, 1976. – 256 с.
13. Леонтьев, И.О. Прибрежная динамика: волны, течения, потоки наносов. М.: ГЕОС, 2001 – 272 с.
14. Hunt J.F. Direct solution of the wave dispersion equation // J. waterway, port, coastal and ocean eng. – 1979. – Vol. 105, №WW4.
15. Ветроволновой режим Красноярского водохранилища за период нормальной эксплуатации. Уточнение картограмм волнения Красноярского водохранилища. / Технический отчет. Дивногорская гидрометеорологическая обсерватория. – Дивногорск, 1982. – 77 с.
16. Леонтьев, И.О., К.В. Марусин, К.Б. Кошелев, А.А. Шибких Программные продукты для математического моделирования и прогнозирования береговых процессов волновой природы / в кн. Создание искусственных пляжей, островов и других сооружений в береговой зоне морей, озер и водохранилищ. Труды международной конференции «Создание и использование искусственных земельных участков на берегах и акваториях водоемов», Новосибирск 20-25 июля 2009 г. / отв. ред. А.Ш. Хабидов; Федерал. агентство вод. ресурсов, ИВЭП СО РАН, Совет РАН по проблемам Мирового Океана, Рабочая группа «Морские берега». – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. – стр. 24 – 31.
17. Рагозин, А.Л., Бурова В.Н. Региональный анализ абразионной опасности и риска на морях и водохранилищах России // Современные проблемы изучения берегов. – Спб: ИТА РАН, 1995. с. 45 – 46.
18. – 2 Бурова, В.Н. Закономерности формирования и оценка опасности переработки берегов водохранилищ: Дис....канд. геолого-минералогических наук. - М.: ВСЕГИНГЕО, 1998. - 110 с.
19. – 3 Эзогенные геологические опасности. Тематический том /под ред. В.М. Кутепова, А.И. Шеко. – М.: Изд-во «КРУК», 2002. – 348 с.

20. Отчет о НИР по теме «Исследование морфометрических характеристик Красноярского водохранилища и разработка научно-обоснованных рекомендаций по предупреждению вредного воздействия вод на его берега» (промежуточный – очередь 7, этап 3), ИВЭП СО РАН. Барнаул, 2013 – 175 с.

21. Правила использования водных ресурсов водохранилищ Енисейского каскада ГЭС (Саяно-Шушенская, Майнская и Красноярская). – СПб.: РАО «ЕЭС России» АО Ленгидропроект, 1996. – 83 с.

22. Авакян, А.Б. и др. Водохранилища. / А.Б. Авакян, В.П. Салтанкин, В.А. Шарапов. – Природа мира. – М.: Мысль, 1987. – 323 с.

23. Государственный водный реестр Российской Федерации (<http://voda.mnr.gov.ru/part/?act=more&id=3384&pid=1058>)

24. ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ГОСУДАРСТВЕННОЙ СТАТИСТИКИ http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/afc8ea004d56a39ab251f2bafc3a6fce

25. Федеральное бюджетное учреждение "Администрация Енисейского бассейна внутренних водных путей" [http://енисейречтранс.рф /content/ueks/](http://енисейречтранс.рф/content/ueks/)

26. Об утверждении дополнительного списка памятников истории и культуры местного значения / Красноярский край, Решение от 05 ноября 1990 года № 279. Принято Исполнительным комитетом Красноярского краевого Совета народных депутатов.

27. Официальный сайт «Правительство Красноярского края. Краевое государственное казённое учреждение. Дирекция по особо охраняемым природным территориям Красноярского края» / <http://www.doopt.ru/>

28. Вышегородцев, А.А. Красноярское водохранилище. / А.А. Вышегородцев, И.В. Космаков, Т.Н. Ануфриева, О.А. Кузнецова. – Новосибирск: Наука, 2005. – 212 с.

29. Кусковский, В.С. Формирование берегов Красноярского водохранилища. / В.С Кусковский, Ю.И. Подлипский, В.М. Савкин, В.М. Широков. – Новосибирск: Наука, 1974. – 234 с.

30. Савкин, В.М. Водохранилища Сибири, водно-экологические и водно-хозяйственные последствия их создания. / В.М. Савкин. // Сибирский экологический журнал, 2000. – №2. – с. 109-121.

31. Космаков, И.В. Некоторые особенности гидрологического режима Красноярского водохранилища в период нормальной эксплуатации. / И.В. Космаков, М.В. Петров, Т.Г. Андреева // Биологические процессы и самоочищение Красноярского водохранилища. – Красноярск, 1980. – с. 5-22.

32. Ветроволновой режим Красноярского водохранилища за период нормальной эксплуатации. Уточнение картограмм волнения Красноярского водохранилища. / Технический отчет. Дивногорская гидрометеорологическая обсерватория. – Дивногорск, 1982. – 77 с.

33. Карта Красноярского водохранилища от порта Абакан до Красноярской ГЭС. – Министерство речного флота РСФСР, Главводпуть, 1975. – экз. №1193 – 23 листа.

34. Отчет о НИР «Изменение природной среды под влиянием крупных водохранилищ ГЭС Сибири – Новосибирского и Красноярского» / Министерство энергетики СССР, Главниипроект, Сибирский научно-исследовательский институт энергетики. – Новосибирск, 1977. – 136 с.

35. Отчет (промежуточный) по теме «Разработать рекомендации по учету взаимодействия водохранилищ с окружающей средой при проектировании ГЭС, ГаЭС, ПЭС и энергокомплексов и внедрить их в практику проектирования». Работа «Переформирование береговой зоны Красноярского водохранилища и разработка мероприятий по природоохране на 1981-85 гг. / Министерство энергетики СССР, Главниипроект, Сибирский научно-исследовательский институт энергетики. – Новосибирск, 1981. – 186 с.

36. Промежуточный отчет по теме: «Разработать научное обоснование мероприятий по улучшению технического состояния благоустройства и повышению эффективности использования действующих крупных водохранилищ и основы перспективного планирования и размещения новых водохранилищ» / Работа: «Научное обоснование мероприятий по улучшению технического со-

стояния Красноярского водохранилища» /Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов. – Новосибирск, 1982. – 38 с.

37. Савкин, В.М. Эколого-географические изменения в бассейнах рек Западной Сибири. / В.М. Савкин. – Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 2000. – 152 с.

38. Хабидов, А.Ш. Закономерности рельефообразования и осадконакопления в береговой зоне крупных водохранилищ // Диссертация доктора географических наук. М.: Московский государственный университет, 2000. -149 с.

39. Эзогенные геологические опасности. Тематический том. / Под ред. В.М.Кутепова, А.И. Шеко. – М.: Изд-во «КРУК», 2002. – 348 с.

40. Data of High Dams in India, 1950, Government of India Central board of irrigation publication No. 48. 930 p.

41. Encyclopedia of Lakes and Reservoirs. / edited by Lars Bengtsson, Reginald W. Herschy, Rhodes W. Fairbridge. – Springer Science + Business Media B.V., 2012. – 985 p.

42. Gregory, K.J. River channel changes. - New York: John Wiley & Sons, 1977. - 450 p.

43. Gregory, K.J., Walling D.E. Drainage basin form and process. -New York: John Wiley& Sons, 1973. - 456 p.

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

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

46. Living with coastal erosion in Europe: sediment and spact for sustainability. – Final report EUROSION, 2004. – 182 p.

47. Man-Made Lakes: Their Problems and Environmental Effects. / Editors: William C. Ackermann, Gilbert F. White, E.B. Worthington, J. Loreena Ivens. – The American Geophysical Union, 1973. – 850 p.

50. Martin, R.O.R., Hanson R.L., Reservoir in the United States, Water Supply Paper No. 1838, U.S. Geological Survey, Washington, D.C., 1966, 23.175
51. Thomas, N.O., Harbeck, G.E., 1956, Reservoirs in the United States: U. S. Geol. Survey WaterSupply Paper 1360 - A. 99 p.
52. World Register of Dams (Мировой регистр плотин) / ICOLD, Paris. France. 1973. – <http://www.icold-cigb.org/>

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт экологии и географии

институт

Кафедра географии
кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

Г.Ю. Ямских 2.10
подпись инициалы, фамилия

« 14 » 06 20 17 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Переработка берегов Красноярского водохранилища в районе поселка Куртак
тема

05.04.06 Экология и природопользование

код и наименование направления

05.04.06.03 Геоэкология

код и наименование магистерской программы

Научный руководитель

Г.Ю. Ямских 14.06.17г.

д-р геогр. наук профессор

Г.Ю. Ямских

подпись, дата должность, ученая степень

инициалы, фамилия

Выпускник

В.В. Карпов 14.06.2017

В.В. Карпов

подпись, дата

инициалы, фамилия

Рецензент

М.П. Махров 14.06.17

документ, научно-исследовательский

М.П. Махров

подпись, дата должность, ученая степень

инициалы, фамилия

Красноярск 2017

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ	8
1. ПРОЦЕССЫ ПЕРЕРАБОТКИ БЕРЕГОВ ВОДОХРАНИЛИЩ И МЕТОДЫ ИХ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ	9
1.1 Переработка берегов водохранилищ: сущность, масштабы, последствия	9
1.2 Обзор методов прогнозирования переработки берегов	13
1.3 Метод прогнозирования переработки берегов Г.С. Золотарев	17
1.4 Метод прогнозирования переработки берегов Е.Г. Качугина	20
2. ПЕРЕРАБОТКА БЕРЕГОВ КРАСНОЯРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА	33
2.1 Общие сведения о водохранилище	33
2.2 Природные условия побережья и акватории водохранилища	43
2.2.1 Морфологические условия	43
2.2.2 Инженерно-геологические условия	46
2.2.3 Гидрометеорологические условия	54
2.3 Переработка берегов водохранилища за период его эксплуатации	66
3. ПЕРЕФОРМИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗ РАЗВИТИЯ БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ В РАЙОНЕ ПОСЕЛКА КУРТАК	75
3.1 Краткая характеристика участка наблюдения переформирования береговой зоны	75
3.2 Результаты наблюдений за переработкой берега на участке	77
3.3. Оценка оправдываемости методов прогноза переработки берегов по данным наблюдений	86
3.4. Прогноз переработки берега Красноярского водохранилища у п. Куртак на 10, 20 и 30 лет	101
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	104
SUMMARY	106
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	107

ВВЕДЕНИЕ

В России существует около 2260 водохранилищ с объемом от 0,1 км³ и выше и несколько тысяч более мелких. Создание водохранилища, позволяет решать целый комплекс социально-экономических задач: получение большого количества достаточно дешевой электроэнергии, улучшение условий судоходства, создание новых территориально-промышленных комплексов, обеспечение водой сельскохозяйственных предприятий в засушливых районах, предотвращение негативных последствий паводков и половодий.

Однако наряду с очевидными положительными результатами создание водохранилищ приводит и к ряду негативных последствий, в частности, к развитию на побережье водохранилища комплекса экзогенных геологических процессов, ведущее место среди которых занимает переработка его берегов. Эти явления характерны для всех крупных водохранилищ России. В настоящее время разрушению подвержено 34% суммарного периметра их береговой линии.

Береговая зона водохранилищ является наиболее благоприятной и обжитой территорией. В России существует множество красивейших объектов на которых можно развивать внутренний туризм. Но большая часть берегов подвержна активной переработке, разрушению, что делает их непригодными к использованию и приводит к значительной потере ценных прибрежных земель. Изучение опасных экзогенных геологических процессов в береговой зоне позволит не только оценить существующий и потенциальный ущерб, но и найти наиболее оптимальные пути решения по предотвращению дальнейшего ущерба от потери ценных прибрежных земель, которые будут удовлетворять всех земле- и водопользователей.

Береговая зона водохранилищ является важнейшей средой обитания человека, поскольку две трети населения Земли предпочитает жить, работать или отдыхать на побережье водоемов. Россия в этом смысле исключения не составляет, но, в отличие от других стран, у нас более обжиты не морские побережья,

а побережья внутренних водоемов, особенно – водохранилищ. Это обусловлено двумя факторами.

Во-первых, значительную долю материковой береговой линии России составляют берега морей бассейна Северного Ледовитого и Тихого океанов с неблагоприятными для человека условиями жизни. По оценкам Института прикладной математики РАН возможный разовый социально-экономический ущерб от разрушения берегов в России может достигать 0.0675 миллиарда рублей в год, а его среднемноголетняя величина составляет 15.75 миллиардов рублей в год; по мнению специалистов МЧС РФ и Института геоэкологии РАН среднемноголетняя величина социально-экономического ущерба от разрушения берегов морей и водохранилищ еще выше – более 32 миллиардов рублей год.

Однако даже эти цифры не учитывают ущерб природной среде, наносимый деятельностью береговых процессов и величину необходимых для его компенсации затрат. Поэтому весьма остро стоит вопрос как предотвратить или уменьшить потерю ценных прибрежных земель и восстановить пригодность побережья для рекреационного использования. Принято считать, что переработка берегов происходит вследствии негативного воздействия вод. Практически не учитывается возможность возникновения опасных экзогенных процессов (ЭГП) в береговой зоне. А ведь они возникают, а также усиливаются и усугубляются волновой деятельностью и колебанием уровня водоемов. К опасным экзогенным геологическим процессам в береговой зоне относятся - оползни, осипы, береговая абразия и эрозия, возникновение крупных оврагов и т.п. Механизмы возникновения и развития этих процессов непосредственно в береговой зоне водохранилищ практически не изучен, а соответственно отсутствуют методы мониторинга, прогноза и предотвращения возникновения ЭГП в береговой зоне водоемов. Береговая зона поселка Куртак выбрана в качестве ключевого участков для выполнения диссертации. Выбор участков обусловлен тем, что является весьма обжитой территорией. Однако дальнейшее развитие этой

территории во многом ограничено интенсивным развитием опасных ЭГП в береговой зоне этого места.

Поэтому разработка планов социально-экономического развития прибрежных регионов, рационального использования природных ресурсов при соблюдении экологической безопасности, невозможна без понимания того, как влияют природные условия и техногенные преобразования на береговые системы. В связи с этим, научно - обоснованные прогнозы воздействия как естественных, так и антропогенных факторов на природную среду, разработка критериев уязвимости береговой зоны, основанных на современных знаниях о физических и динамических процессах, исключительно важны для решения не только фундаментальных, но и прикладных, и социальных задач прибрежной зоны внутренних водоемов России.

Актуальность планируемых исследований обусловлена также отсутствием проработанной методики комплексного изучения береговой зоны в целом и существующих здесь опасных ЭГП в частности, включающей оценку значимости всех процессов природного и антропогенного характера, определяющих современную трансформацию конкретных береговых геоморфологических образований. В связи с этим назрела необходимость анализа существующего состояния всех компонентов прибрежных геосистем внутренних водоемов России.

Поскольку берега водохранилищ являются, как правило, местами наиболее интенсивного хозяйственного освоения, то их переработка приводит к разрушению возведенных на берегу сооружений; безвозвратной потере земельных угодий; загрязнение водоемов за счет размыва участков, обогащенных сельскохозяйственными удобрениями или содержащих промышленные отходы.

Таким образом, изучение процессов переработки берегов и разработка методов прогнозирования этого явления имеет огромное практическое значение.

Так же направлено на решение проблемы контроля состояния береговой зоны как геосистемы, выявлению закономерностей развития опасных экзоген-

ных геологических процессов в условиях техногенеза, разработку системы мониторинга, прогноза и предотвращения возникновения опасных экзогенных геологических процессов в береговой зоне.

Достоверный прогнозы переработки берегов и выявление закономерностей современной эволюции и обоснований прогноза развития и возникновения опасных ЭГП в береговой зоне внутренних водоемов России при совместном влиянии природных и антропогенных факторов настоятельно необходим как на стадии проектирования водохранилища, так и в ходе его эксплуатации.

Цель данной работы – оценить процессы берегопереработки Красноярского водохранилища в районе пос. Куртак.

Для достижения указанной цели были поставлены и решены следующие задачи:

1) Собрать и проанализировать информацию о сущности явления переработки берегов и факторах ее определяющих, а также о существующих методах прогноза переработки берегов водохранилищ.

2) Проанализировать сведения о переработке берегов Красноярского водохранилища за период его эксплуатации и изучить основные факторы, обуславливающие этот процесс: инженерно-геологические, морфологические, гидрометеорологические. Оценить текущее состояние берегов водоема и тенденции их развития.

3) Провести верификацию (оценку оправдываемости) широко используемых методов прогнозирования переработки берегов водохранилищ.

4) Выполнить прогноз переработки береговой зоны водохранилища в районе пос. Куртак на 10, 20 и 30 лет.

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

Объектом исследования выступает участок левого берега Красноярского водохранилища у п. Куртак.

В районе пос. Куртак берег демонстрирует максимальную для всего водохранилища интенсивность разрушения. Кроме того, на рассматриваемом участке

стке с момента создания водохранилища (1967 г.) и по 1981 г. выполнялись регулярные и геодезически точные наблюдения за отступанием бровки берега, изменениями его профиля, процессами формирования прибрежных отмелей и т.д.

Для решения поставленных задач применялись как традиционные методы топографии и гидрографии, так и современные методы геоинформатики и программные средства ГИС.

В работе были использованы результаты наблюдений за переработкой берегов Красноярского водохранилища, проводившихся в 1967 – 1982 гг. группой исследователей под руководством В.М. Савкина, В.С. Кусковского и Л.Н. Каскевич.

Научная новизна работы состоит в получении дополнительных, хорошо обоснованных оценок оправдываемости наиболее распространенных методов прогноза переработки берегов водохранилищ.

Практическая новизна работы состоит в получении прогноза переработки современного берега для конкретном участке Красноярского водохранилища (у п.Куртак) на последующие 10, 20 и 30 лет.

Результаты работы могут быть использованы для дальнейшего совершенствования методов прогнозирования переработки берегов и планирования хозяйственной деятельности на рассматриваемом участке побережья Красноярского водохранилища у п. Куртак.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ

1. СОВРЕМЕННЫЕ МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАЛИВА СЫДА КРАСНОЯРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА : доклад, тезисы доклада / В. В. Карпов // Экология Южной Сибири и сопредельных территорий : В 2 томах / Ответственный редактор В. В. Аношин ; XIX Международная научная школа-конференция студентов и молодых ученых "Экология Южной Сибири и сопредельных территорий" (2015 ; 02.12 - 04.12 ; Абакан) : Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова, 2015. - 1, Выпуск 19. - С. 149-150 . - ISBN 978-5-7810-1411-8

ГРНТИ 34.35

Держатели документа: Сибирский федеральный университет
Доп.точки доступа: Ответственный редактор В. В. Аношин; Карпов, В.В.; XIX Международная научная школа-конференция студентов и молодых ученых "Экология Южной Сибири и сопредельных территорий"(2015 ; 02.12 - 04.12 ; Абакан)

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАЛИВА СЫДА КРАСНОЯРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННОГО ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО И ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ГИС / В.В.Карпов //Материалы Юбилейной конференции, посвященной 115-летию Красноярского краевого отделения Русского географического общества, Красноярск, 26–30 сент. 2016 г. / редкол. : Д. Е. Болкунова, О. А. Кузнецова, Н. Ю. Жаринова [и др.] ; науч. ред. Г. Ю. Ямских. – Электрон. дан. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2016. ISBN 987-5-7638-3573-1

1. ПРОЦЕССЫ ПЕРЕРАБОТКИ БЕРЕГОВ ВОДОХРАНИЛИЩ И МЕТОДЫ ИХ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

1.1 Переработка берегов водохранилищ: сущность, масштабы, последствия

Водохранилище – это искусственный водоем, созданный для накопления и последующего использования воды и регулирования стока. Создание водохранилища, особенно крупного, позволяет решать целый комплекс социально-экономических задач: получение большого количества достаточно дешевой электроэнергии, улучшение условий судоходства, создание новых территориально-промышленных комплексов, обеспечение водой сельскохозяйственных предприятий в засушливых районах, предотвращение негативных последствий паводков и половодий.

К настоящему времени в России создано около 2260 водохранилищ с объемом от 0,1 км³ и выше и несколько тысяч более мелких. Это повлекло за собой преобразование ландшафтов бассейнов рек и естественных озер на площади свыше 700 тыс. км² и затронуло социально-экономическую инфраструктуру территорий общей площадью до 1,5 млн. км² [17, 18].

Из эксплуатируемых на территории России 2260 крупных водохранилищ (объемом более 1 млн м³) 2008 (90 %) расположены в европейской части, преимущественно в пределах Волго-Камского и Невского речных бассейнов. Остальные водохранилища эксплуатируются в Западной и Восточной Сибири (7 %) и на Дальнем Востоке (3 %).

Однако наряду с очевидными положительными результатами создание водохранилищ приводит и к ряду негативных последствий, в частности, к развитию на побережье водохранилища комплекса экзогенных геологических процессов, ведущее место среди которых занимает переработка берегов.

Сущность переработки берегов заключается в приспособлении исходного рельефа затопленной речной долины к новым гидрологическим условиям. После образования водохранилища во взаимодействие с поверхностью гидросферой вступает полоса суши, которая ни морфологически, ни структурно не под-

готовлена к восприятию воздействий новых гидродинамических факторов – энергии ветровых волн и энергии вдольбереговых течений.

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 1.1.

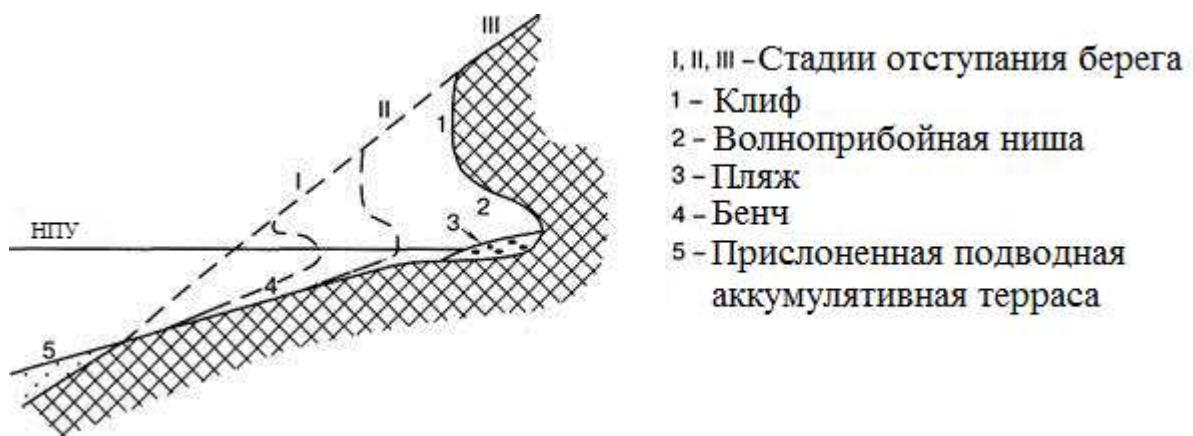


Рисунок 1.1 - Типичная схема переработки берега водохранилища[17]

Характер интенсивности и другие специфические особенности переработки берегов водохранилищ определяются совокупностью трех групп факторов – регионально-геологическими, зонально-климатическими, и биогенными [19].

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 бе-

реговых 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 заключаются в повышении сопротивляемости приповерхностных толщ пород размыву за счет их армирования древесной и травяной растительностью. Но, в целом, значение биогенных факторов в переформирования 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, осьпи, обвалы, оврагообразование и т.п.), обусловленных созданием и эксплуатацией водохранилищ принято называть термином – «переформирование берегов» [1]

Как видно из таблицы 1.1 процессы переработки берегов, и в более широком смысле, их переформирования, характерны для всех крупных водохранилищ России (смотрим таблицу 1.1)

Таблица 1.1- Масштабы и среднемноголетняя интенсивность переработки берегов водохранилищ России [17]

Водохранилище	Протяженность береговой линии, км	Протяженность разрушаемых берегов, км	Протяжённость переработки, км	Интенсивность, м/год	Интенсивность, га/год
Всего по водохранилищам 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
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 [19]:

- 1) разрушение уже возведенных на берегу сооружений гражданского, промышленного и рекреационного назначения;
- 2) безвозвратные потери эксплуатируемых и перспективных для освоения земельных 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.

По оценкам А.Л. Рогозина и В.Н. Буровой ущерб только от потери земель вследствие переработки берегов на крупных водохранилищах России ежегодно составляет порядка 9 млн. долларов США [17]. Причем, это значение не учитывает ассоциированные затраты на перенос жилья, промышленных, сельскохозяйственных, коммунальных объектов, дорог, линий электропередач и т.д. Не учитывает она и ущерб природной среде, наносимый деятельностью береговых процессов и затраты на его компенсацию. Можно лишь полагать, что их совокупная величина подобных затрат превосходит стоимость теряемых земель, как минимум, на порядок [17].

Из сказанного выше следует, что изучение процессов переработки берегов и разработка методов прогнозирования этого явления имеет огромное практическое значение. Достоверный прогнозы переработки берегов настоятельно необходимы как на стадии проектирования водохранилища, так и в ходе его эксплуатации для решения вопросов о землепользовании, выносе строений и различных инженерных сооружений за пределы угрожаемой зоны, осуществления берегозащитных мероприятий.

1.2 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 [1]. Их можно классифицировать по следующим критериям: условия применения, принципы прогнозирования, сроки прогнозирования.

По условиям применения методы делятся на 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. Варазашвили и Н.Г. Хостиашвили для водохранилищ, расположенных в горно-складчатых областях Грузии; методы И.А. Печёркина для водохранилищ Камского каскада; метод С.В. Томирдиаро и В.К. Рябчук 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 размытого грунта берегового откоса, связана определенным расчетным соотношением с энергией ветрового волнения, действующего на рассматриваемый участок побережья.

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 1.2

Таблица 1.2 - Универсальные методы прогноза переработки берегов водохранилищ [1]

Принцип прогнозирования	Срок прогноза	Автор	Год создания
Энергетические методы	на любой срок	Н.Е. Кондратьев	1956
		Е.Г. Качугин	1959
		Е.К. Гречищев	1961
		В.К. Рудаков	1961
		Е.К. Пуляевский	1979
		А.Л. Рогозин	1987
Методы инженерно-геологических (геоморфологических) аналогий	на любой срок	Б.А. Пушкин	1954
		Г.С. Золотарев	1955
		Д.Н. Раши	1958
		Л.Б. Розовский	1962
	Только на конечную стадию	Ф.П. Саваренский	1935
		В.А. Ширяев	1940
		Б.В. Поляков	1946

Из перечисленных в таблице 1.2 универсальных методов прогнозирования наиболее широкое практическое применение нашли методы Золотарева, Качугина, Кондратьева и Пушкина. С их помощью были осуществлены массовые прогнозы переработки берегов водохранилищ Волжского и Днепровского каскадов [1,2]. В 1955-1964 гг. при проектировании Красноярского водохранилища были выполнены прогнозы переработки его берегов по методам Золотарева, Качугина и Кондратьева [3,4].

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 натурных наблюдений.

Итогом этой работы стало издание ведомственных «Методических рекомендаций по прогнозированию переформирования берегов водохранилищ» [5]. 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 [1, 2, 4].

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

В заключение данного обзора следует отметить важные черты,ственные 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.

1.3 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 [6].

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 [6].

Этот графико-аналитический метод основан 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 1.3- а).

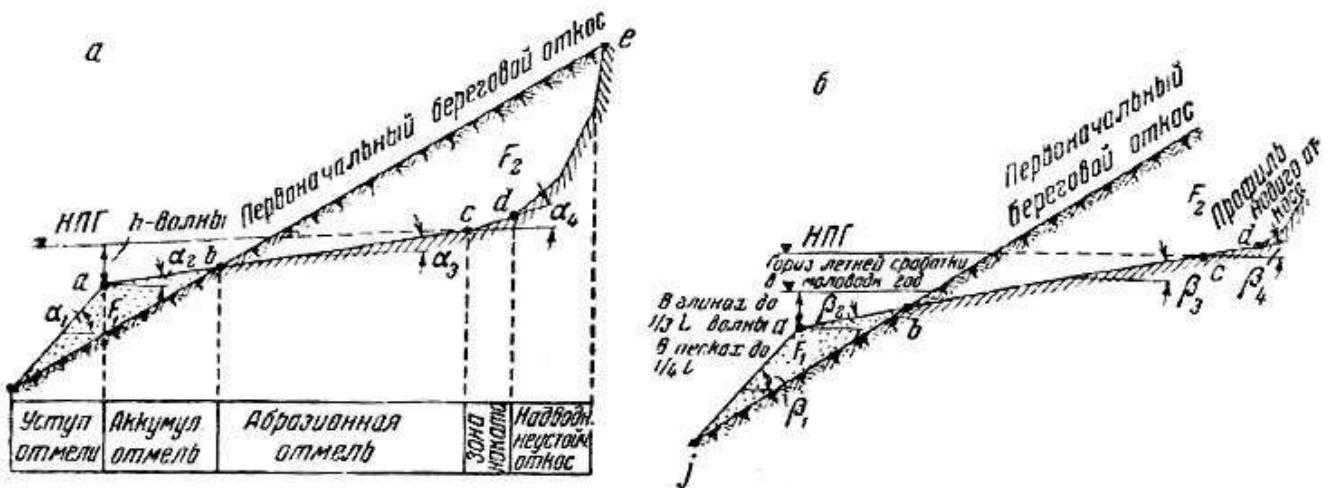


Рисунок 1.3 - Схема построения профиля берега при прогнозировании его переработки по методу Золотарева Г.С. [8]:

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

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

Для выполнения прогноза необходимы следующие данные:

- уровни: НПУ, горизонт сработки в период открытого русла в маловодный год (обеспеченность 95%), максимальные уровни половодья 5% и 50% обеспеченности;
- величина углов наклона абразионной и аккумулятивной части отмели, зона наката для разных пород по двум стадиям расчета;
- данные о крутизне устойчивых и неустойчивых откосов и склонов, выработанных в разных породах;
- 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 1.3- а).

При построении расчетного профиля определяется характер отмели (абразионная, абразионно-аккумулятивная, абразионно-эрзационная) 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 б. Из точки б 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 д располагается зона наката волн. Положение верхней границы этой зоны (точки д) определяется высотой наката волн над уровнем воды (h_n), которая вычисляется по формуле Джунковского:

$$h_n = 3,2 \cdot K \cdot h_b \cdot \operatorname{tg} \alpha_4 \quad (1.1)$$

где К – 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 д строится надводный откос, принимаемый для 10-летней стадии неустойчивым с предельной крутизной.

После построения профиля производится проверка соотношения площади аккумуляции и размыва (F_1/F_2), что должно соответствовать принятому проценту аккумуляции. Передвижением точки а вправо или влево добиваются нужного соотношения площадей аккумуляции и размыва.

Прогноз переработки берега на «конечную» стадию (рисунок 3.1- 6).

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 а 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 [6] 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.

1.4 Метод прогнозирования переработки берегов Е.Г. Качугина

Метод Е. Г. Качугина основан на следующих положениях [7]:

- в переработке берега участвуют волны всех высот и общий объем размытых 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:

$$Q = E \cdot K_p \cdot K_b \cdot t^b \quad (1.2)$$

где Q – объем размытых пород на 1 м погонный метр берега, м^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_b – коэффициент, учитывающий высоту берега; K_p – коэффициент размываемости пород, зависящий от их литологического состава (таблица 1.4.1), м³/тм.

Таблица 1.4.1- Коэффициенты размываемости (K_p) горных пород берегов водохранилищ [7]

Водохранилище	Геологический индекс	Литологический состав пород	K_p , м ³ /тм
Цимлянское	Pg ₂ tz ₁	Глина с прослойями 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, песок среднезернистый	0,00082
Иваньковское	glQ ₃	Суглинок с валунами	0,00086
Истринское	glQ ₂	Пески разнозернистые с гравием и галькой	0,00090
Рыбинское	glQ ₃ + glQ ₂	Суглинок с валунами с прослойями 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 разнозернистые с гравием	0,00124
Пестовское	glQ ₃ + alQ ₃	Пески среднезернистые, глины с валунами	0,00140
Цимлянское	alQ ₁	Суглинки и глины с прослойями песка	0,00140
Клязьминское	alQ ₃	Песок разнозернистый	0,00155
Иваньковское	alQ ₃ +dQ ₃	Песок глинистый	0,00172
Акуловское	alQ ₃	Песок крупнозернистый	0,00193
Клязьминское	alQ ₃	Песок среднезернистый с прослойями 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 прослойями супесей	0,00481
Иваньковское	alQ ₃	Песок мелкозернистый	0,00506
Рыбинское	alQ ₂	Песок мелкозернистый	0,00594
Днепровское	eQ ₂	Супеси лессовидные легкие с прослойями мелкозернистых песков	0,00605
Горьковское	alQ ₂	Песок пылеватый	0,00652

Показатель степени 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:

$$K_b = h_b \cdot c \quad (1.3)$$

где h_b – 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_b 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 размытых 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 1.4.1). Под рабочей волной понимается волна, характерная для данного участка берега и производящая максимум размывающей работы.

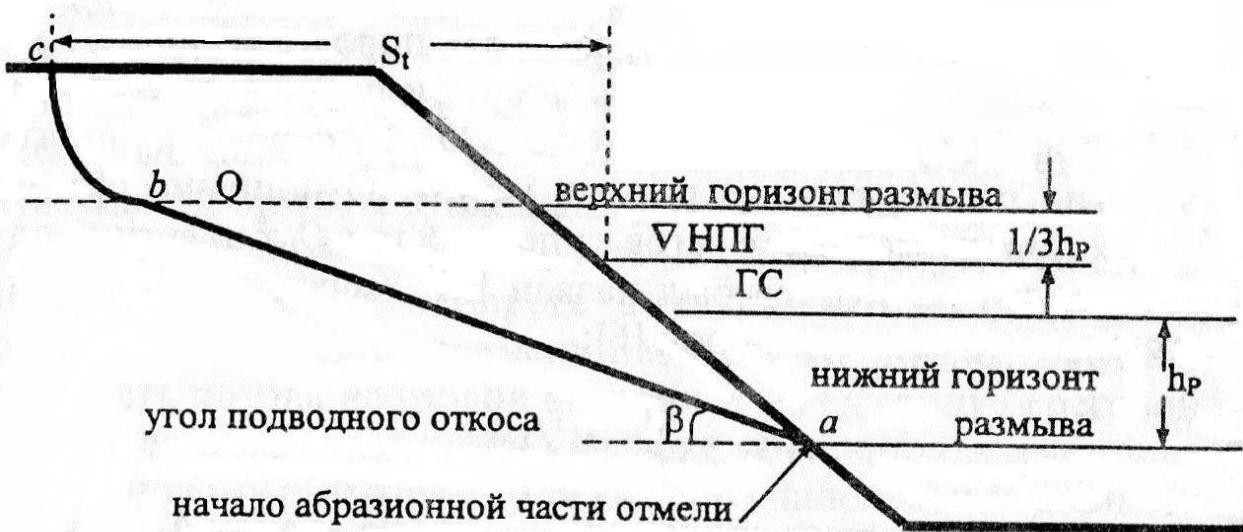


Рисунок 1.4.1- Построение профиля переработки берега в методе Качугина Е.Г. [7]

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 3.2), 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 размытых 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 [7], Е.Г. Качугин для определения высоты волны по волнобразующим факторам (скорости ветра, длине разгона и глубине водоема) использовал номограммы А.П. Браславского (рисунок 1.4.2). 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 1.4.3).

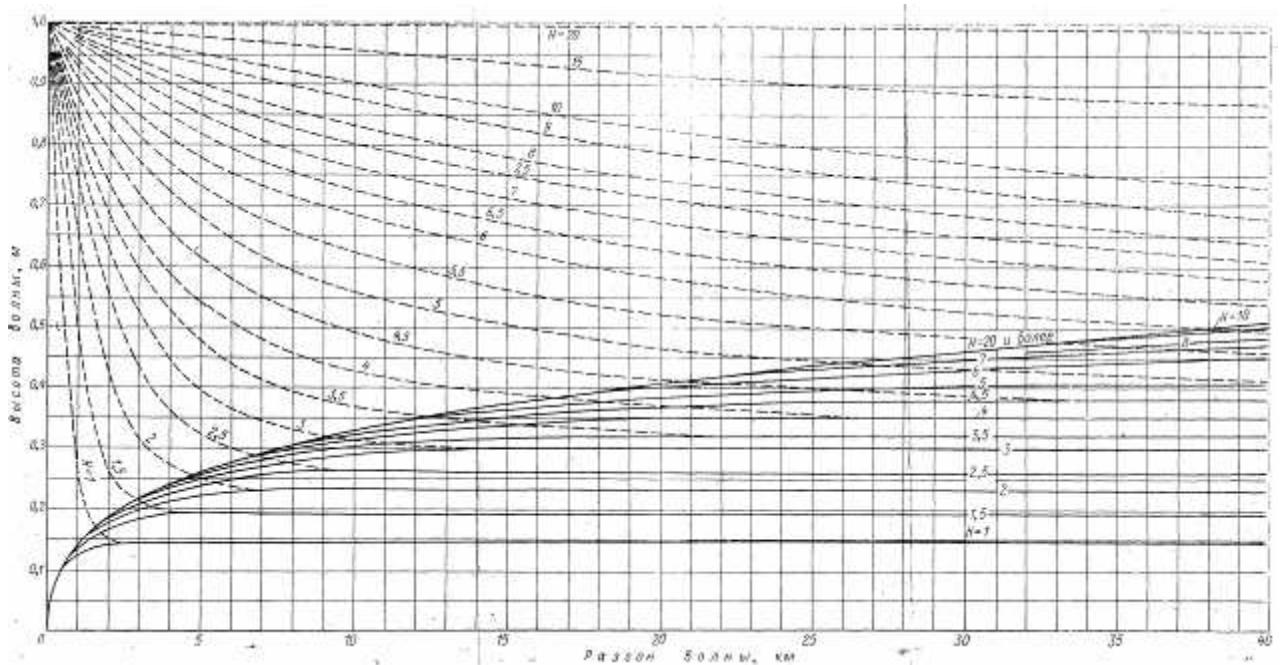


Рисунок 1.4.2 - Номограмма А.П. Браславского для определения высоты волн 0,1% обеспеченности при скорости ветра 5 м/с [7]

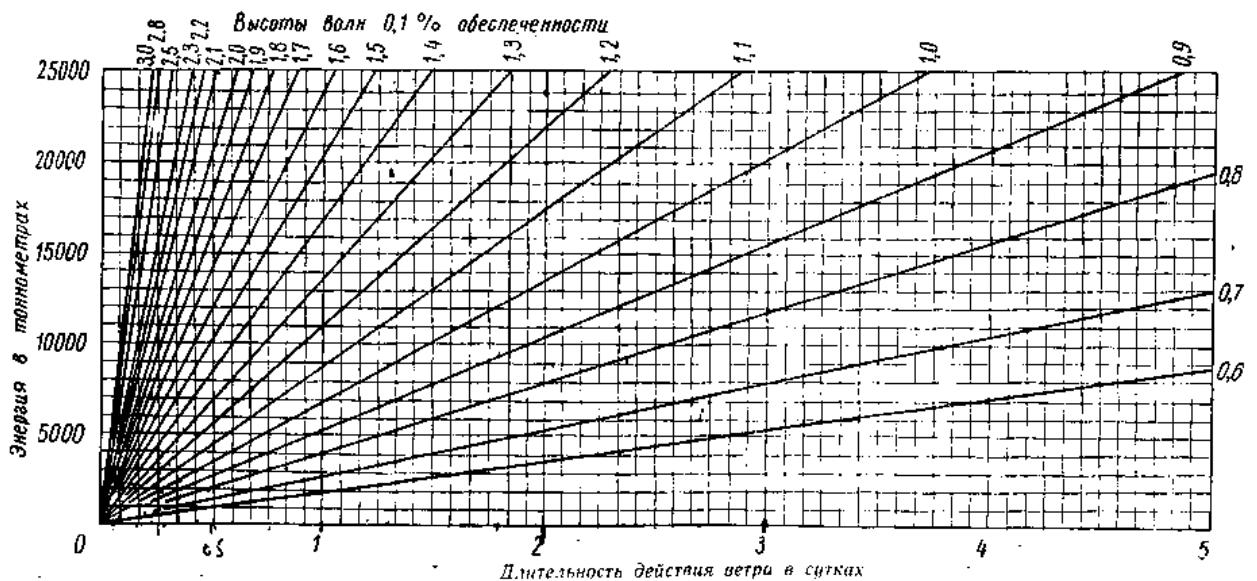


Рисунок 1.4.3 - Номограмма А.П. Браславского для определения энергии волнения по длительности действия ветра и высоте волны 0,1% обеспеченности с горизонтальной шкалой на 5 суток [7]

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 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 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 [9, 10, 11].

Средняя высота (Н) и период (Т) 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 [12], которые являются аналитической основой соответствующих номограмм, приведенных в СниП [9]:

$$\frac{gH}{V^2} = 0,16 \left\{ 1 - \left[1 + 0,006 \left(\frac{gX}{V^2} \right)^{0,5} \right]^{-2} \right\} \times th \left(0,625 \frac{\left(\frac{gh}{V^2} \right)^{0,8}}{\left\{ 1 - \left[1 + 0,006 \left(\frac{gX}{V^2} \right)^{0,5} \right]^{-2} \right\}} \right) \quad (1.4)$$

$$\frac{gT}{V} = 3,1 \times 2\pi \left(\frac{gH}{V^2} \right)^{0,625} \quad (1.5)$$

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 1.4.4).

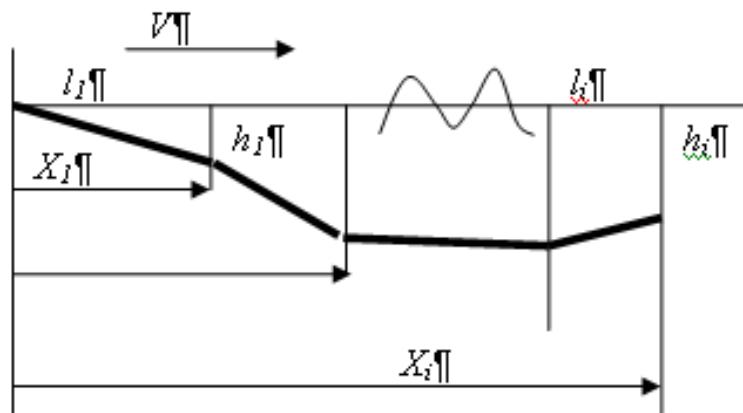


Рисунок 1.4.4 - Схема разбивки разгона на участки при изменяющейся глубине

Рассмотрим два последовательных участка $i-1$ и i с глубинами h_{i-1} и h_i в конце участков (рис. 1.4 - 4). 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 (1.4) 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 (1.4) для X_i , V и h_i определяют параметры волн в конце данного участка.

Если решение уравнения (4) для ΔX не может быть найдено, т.е. волна с высотой H_{i-1} не может существовать на глубине h_i , то имеет место предельный режим волнообразования, при котором параметры волн на i -том участке не зависят от разгона, а определяются лишь его относительной глубиной h_i/V^2 .

Путем численного исследования выражения (1.4) 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:

$$\frac{gH}{V^2} = 0,084155 \left(\frac{gh}{V^2} \right)^3 - 0,13801 \left(\frac{gh}{V^2} \right)^2 + 0,15062 \left(\frac{gh}{V^2} \right) - 0,0014515 \quad (1.6)$$

Высота волны заданной обеспеченности в системе определяется умножением средней высоты волн на коэффициент КН $i\%$, зависящий от относительной глубины [10]. Его значения представлены в таблице 1.4.2

Таблица 1.4.2 - Значения коэффициента КН $i\%$ для определения высот волн заданной обеспеченности ($i\%$) [10]

$i\%$	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 [11, 13].

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 [13]:

$$\frac{H}{H_{rms}} = \frac{\sqrt{\pi}}{2} = 0.886, T_p = 1.2T \quad (1.7)$$

Энергия (E) одной регулярной волны с высотой H_{rms} и периодом T_p , приходящаяся на единицу длины ее фронта определяется как [1.4-5]:

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

где ρ – плотность воды (принимаемая для пресной воды 1000 кг/м³); g – ускорение свободного падения (принимаемое 9,81 м/с²); L – длина волны, м.

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

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

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 [14]:

$$(kh)^2 = y^2 + \frac{y}{1 + \sum_1^6 a_n y^n}, y = \sigma^2 h / g, a_1 = 0.666666666, a_2 = 0.3555555555, a_3 = 0.1608465608, a_4 = 0.0632098765, a_5 = 0.0217540484, a_6 = 0.0065407983 \quad (10)$$

$$a_3 = 0.1608465608, a_4 = 0.0632098765, a_5 = 0.0217540484, a_6 = 0.0065407983$$

Тогда, зная продолжительность волнения, можно определить его суммарную энергию за время действия с использованием выше приведенных формул (1.8 – 1.10):

$$E_{\Sigma} = E \cdot \left(\frac{D}{T_p} \right) \quad (1.11)$$

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 [7, 10].

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 1.4.3.

По данным таблицы 1.4.3 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):

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

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 [10], 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:

Таблица 1.4.3 – 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).

Общее число наблюдений – 19344, количество штилей – 6600 случаев (34,12 %) [15]

V, м/с	число случаев																
	C	CCB	CB	BCB	B	ВЮВ	ЮВ	ЮЮВ	Ю	ЮЮЗ	ЮЗ	ЗЮЗ	3	3С3	С3	СС3	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

$$V_{10} = K_z \cdot V_z \quad (1.13)$$

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 1.4.4.

Таблица 1.4.4 - Значения коэффициентов K_z для приведения скорости ветра, измеренной на уровне Z , к уровню 10 м над поверхностью бассейна [10]

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 1.4.4 для случаев «вода теплее воздуха» и «вода холоднее воздуха» [1.4-4].

Для тех ситуаций, когда значение высоты измерений скорости ветра выходит за пределы значений, указанных в таблице 1.4.4, для получения необходимого значения K_z , на основе имеющихся в этой таблице данных, была построена аппроксимационная зависимость $K_z = f(Z)$, представленная на рисунке 1.4-5.

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

$$1m \cdot m = 1000 kg \cdot m, 1 kg \cdot m = 9,81 \underline{Дж} \quad (14)$$

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

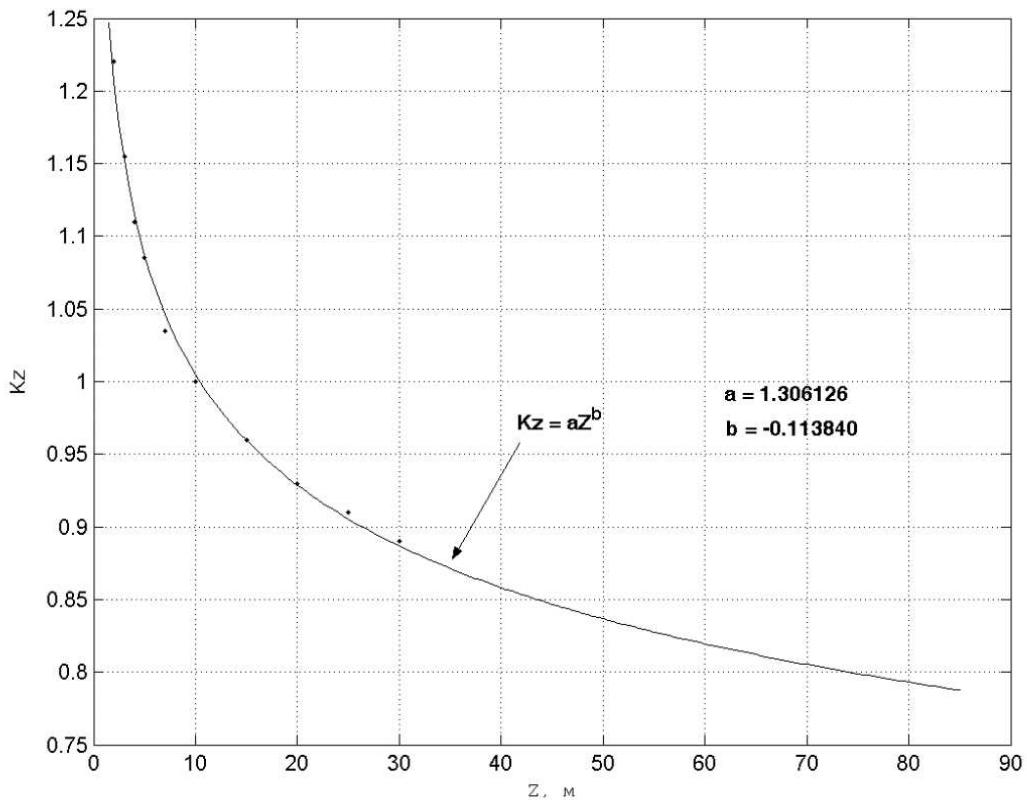


Рисунок 1.4.5 - Аппроксимационная зависимость для определения значения коэффициентов K_z для приведения скорости ветра, измеренной на уровне Z , к уровню 10 м над поверхностью бассейна [10]

Следует также отметить, что применение расчетных формул вместо номограмм позволяет автоматизировать вычисления. Например, для определения параметров волн по волнообразующим факторам и вычисления длины волны и ее энергии при практическом применении метода Качугина использовался программный продукт «Береговой инженерный калькулятор» [16].

Кроме того, промежуточным, но весьма полезным результатом применения метода Качугина являются значения параметров волн по всему спектру ветров, действующих на данный участок, которые могут быть использованы при проектировании берегозащитных сооружений.

**2. ПЕРЕРАБОТКА БЕРЕГОВ КРАСНОЯРСКОГО
ВОДОХРАНИЛИЩА**

[Глава 2 изъята]

**3. ПЕРЕФОРМИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗ РАЗВИТИЯ БЕРЕГОВОЙ
ЗОНЫ В РАЙОНЕ ПОСЕЛКА КУРТАК**

[Глава 3 изъята]

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований нами установлено, что на Красноярском водохранилище в береговой зоне продолжаются геоморфологические процессы, преобразующие рельеф береговой зоны.

С момента создания Красноярского водохранилища процесс переработки берегов связан с уровненный режим водохранилища. За последние 19 лет он ни разу не достигал отметки НПУ, да и отметку 241 м превышал эпизодически и кратковременно. В этих условиях стали доминирующими геодинамические процессы, прямо не связанные с гидродинамическим воздействием водоема, которые имеют меньшую интенсивность протекания. Конечно, и в настоящий момент, на Красноярском водохранилище существуют участки, где переработка берегов продолжается, возникают новые оползни и другие геодинамические явления, но масштаб в пространстве и во времени этих процессов существенно меньше, чем в первые годы существования водохранилища. Активизация процессов разрушения берегов может быть вызвана, прежде всего, форсированным уровнем водохранилища. Наблюдения предшествующих лет на Красноярском водохранилище это подтверждают. Поэтому, с точки зрения устойчивости берегов, необходимо сохранять существующий уровненный режим водоема.

Участок п. Куртак является классическим примером берега, где преобладают явно выраженные геодинамические процессы над волновой деятельности. По данным натурных наблюдений 1970-2016 гг. средняя скорость отступания бровки берега здесь составляла 10-12 м/год, а по данным прогноза – 12 м за 10 лет. Это связано со свойствами слагающих берег пород, которые обладают высокой пористостью и низкой степенью устойчивости к размоканию, что даже при слабом волнении приводит к интенсивному разрушению, просадкам и значительному отступанию бровки берега.

По результатам прогнозирования участка береговой зоны в районе поселка Куртак (по методу Качугина Е.Г.) отступания бровки берега от исходного положения на 2016 год составит: 10 лет – 54 м; 20 лет – 124 м; 30 лет – 180 м.

По прогнозированию переработки берега видна связь темпов и объемов переработки берега с инженерно-геологическими условиями и мощностью гидродинамических (волновых) воздействий. Следует также отметить, что прогнозируемые значения переработки берегов хорошо согласуются с общими тенденциями его развития на каждом из участков за весь период эксплуатации водохранилищ.

Опираясь на результаты выполненного прогноза, можно заключить, что для рассмотренного участка процесс переработки берегов реальной угрозы для хозяйственной деятельности не несет, по крайней мере, в ближайшей перспективе. Жилые дома п. Куртак находятся в 800-900 м от бровки берега.

Представляется необходимым продолжение гидрологических и геоморфологических исследований водохранилищ в будущем. Информация, полученная в результате таких исследований, может послужить не только для решения конкретных социальных, экономических и экологических проблем уже существующих искусственных водоемов, но и оказаться полезной при создании новых водохранилищ. Поскольку исследования и мониторинг водохранилищ не является исключительно инженерно-технической задачей, то в этой работе необходимо участие и со стороны научного сообщества.

SUMMARY

The thesis is devoted to the study and evaluation of the processes of coastal processing of the Krasnoyarsk reservoir in the area of the village. Kurtak. The material is based on observations of the state of the coastal zone of the settlement. Kurtak for the entire period of operation of the Krasnoyarsk reservoir. The thesis presents the results of observations of changes in the relief of the coastal zone of the Krasnoyarsk Reservoir near the village of Kurtak. The processes participating in the reorganization of the coastal zone as a function of the change in the level regime of the reservoir are described. The factors that will influence the processing in the area in the near future are identified in the near future. The forecast of the coastline retreat for 10, 20, 30 years is given.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бондарик, Г.К. Инженерная геодинамика: учебник / Г.К. Бондарик, В.В. Пендин, Л.А. Ярг. – М.: КДУ, 2007. – 440 с.
2. Экзогенные геологические опасности. Тематический том /под ред. В.М. Кутепова, А.И. Шеко. – М.: Изд-во «КРУК», 2002. – 348 с.
3. Кусковский, В.С. Формирование берегов Красноярского водохранилища. / В.С Кусковский, Ю.И. Подлипский, В.М. Савкин, В.М. Широков. – Новосибирск: Наука, 1974. – 234 с.
4. Савкин, В.М. Эколого-географические изменения в бассейнах рек Западной Сибири (при крупномасштабных водохозяйственных мероприятиях). – Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 2000. – 152 с.
5. Методические рекомендации по прогнозированию переформирования берегов водохранилищ /отв. ред. Д.П. Финаров – ВНИИГ им. Веденеева, П 30-75, Л.: 1975. – 64 с.
6. Золотарёв, Г.С. Инженерно-геологическое изучение береговых склонов водохранилищ и оценка их переработки – «Труды лаборатории гидрогеологических проблем». М, АН СССР, т. 7, 1955 – с. 38-57.
7. Качугин, Е.Г. Рекомендации по изучению переработки берегов водохранилищ / Всесоюзный институт гидрогеологии и инженерной геологии (ВСЕГИНГЕО). – М: Госгеолтехиздат, 1959 – 89 с.
8. Золотарев, Г.С., Калинин Э.В., Минервин А.В. Учебное пособие по инженерной геологии. М., 1970.
9. Строительные нормы и правила (СНиП) 2.06.04-82 (Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов) – Госстрой СССР, 1984 (с изм. 1, 1989; с изм. 2, 1995). – 75 с.
10. Руководство по расчету элементов гидрологического режима в прибрежной зоне морей и в устьях рек при инженерных изысканиях / отв. ред. Б.Х. Глуховский – Госгидромет, ГОИН, ПНИИС – М.: Гидрометеоиздат, 1978. – 535 с.

11. Свод правил (СП) 32-103-97. Проектирование морских берегозащитных сооружений – корпорация Трансстрой, 1997. – 166 с.
12. Крылов, Ю.М., Стрекалов С.С., Цыплухин В.Ф. Ветровые волны и их воздействие на сооружения. – Л.: Гидрометеоиздат, 1976. – 256 с.
13. Леонтьев, И.О. Прибрежная динамика: волны, течения, потоки наносов. М.: ГЕОС, 2001 – 272 с.
14. Hunt J.F. Direct solution of the wave dispersion equation // J. waterway, port, coastal and ocean eng. – 1979. – Vol. 105, №WW4.
15. Ветроволновой режим Красноярского водохранилища за период нормальной эксплуатации. Уточнение картограмм волнения Красноярского водохранилища. / Технический отчет. Дивногорская гидрометеорологическая обсерватория. – Дивногорск, 1982. – 77 с.
16. Леонтьев, И.О., К.В. Марусин, К.Б. Кошелев, А.А. Шибких Программные продукты для математического моделирования и прогнозирования береговых процессов волновой природы / в кн. Создание искусственных пляжей, островов и других сооружений в береговой зоне морей, озер и водохранилищ. Труды международной конференции «Создание и использование искусственных земельных участков на берегах и акваториях водоемов», Новосибирск 20-25 июля 2009 г. / отв. ред. А.Ш. Хабидов; Федерал. агентство вод. ресурсов, ИВЭП СО РАН, Совет РАН по проблемам Мирового Океана, Рабочая группа «Морские берега». – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. – стр. 24 – 31.
17. Рагозин, А.Л., Бурова В.Н. Региональный анализ абразионной опасности и риска на морях и водохранилищах России // Современные проблемы изучения берегов. – Спб: ИТА РАН, 1995. с. 45 – 46.
18. – 2 Бурова, В.Н. Закономерности формирования и оценка опасности переработки берегов водохранилищ: Дис....канд. геолого-минералогических наук. - М.: ВСЕГИНГЕО, 1998. - 110 с.
19. – 3 Экзогенные геологические опасности. Тематический том /под ред. В.М. Кутепова, А.И. Шеко. – М.: Изд-во «КРУК», 2002. – 348 с.

20. Отчет о НИР по теме «Исследование морфометрических характеристик Красноярского водохранилища и разработка научно-обоснованных рекомендаций по предупреждению вредного воздействия вод на его берега» (промежуточный – очередь 7, этап 3), ИВЭП СО РАН. Барнаул, 2013 – 175 с.

21. Правила использования водных ресурсов водохранилищ Енисейского каскада ГЭС (Саяно-Шушенская, Майнская и Красноярская). – СПб.: РАО «ЕЭС России» АО Ленгидропроект, 1996. – 83 с.

22. Авакян, А.Б. и др. Водохранилища. / А.Б. Авакян, В.П. Салтанкин, В.А. Шарапов. – Природа мира. – М.: Мысль, 1987. – 323 с.

23. Государственный водный реестр Российской Федерации (<http://voda.mnr.gov.ru/part/?act=more&id=3384&pid=1058>)

24. ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ГОСУДАРСТВЕННОЙ СТАТИСТИКИ http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/afc8ea004d56a39ab251f2bafc3a6fce

25. Федеральное бюджетное учреждение "Администрация Енисейского бассейна внутренних водных путей" [http://енисейречтранс.рф /content/ueks/](http://енисейречтранс.рф/content/ueks/)

26. Об утверждении дополнительного списка памятников истории и культуры местного значения / Красноярский край, Решение от 05 ноября 1990 года № 279. Принято Исполнительным комитетом Красноярского краевого Совета народных депутатов.

27. Официальный сайт «Правительство Красноярского края. Краевое государственное казённое учреждение. Дирекция по особо охраняемым природным территориям Красноярского края» / <http://www.doopt.ru/>

28. Вышегородцев, А.А. Красноярское водохранилище. / А.А. Вышегородцев, И.В. Космаков, Т.Н. Ануфриева, О.А. Кузнецова. – Новосибирск: Наука, 2005. – 212 с.

29. Кусковский, В.С. Формирование берегов Красноярского водохранилища. / В.С Кусковский, Ю.И. Подлипский, В.М. Савкин, В.М. Широков. – Новосибирск: Наука, 1974. – 234 с.

30. Савкин, В.М. Водохранилища Сибири, водно-экологические и водно-хозяйственные последствия их создания. / В.М. Савкин. // Сибирский экологический журнал, 2000. – №2. – с. 109-121.

31. Космаков, И.В. Некоторые особенности гидрологического режима Красноярского водохранилища в период нормальной эксплуатации. / И.В. Космаков, М.В. Петров, Т.Г. Андреева // Биологические процессы и самоочищение Красноярского водохранилища. – Красноярск, 1980. – с. 5-22.

32. Ветроволновой режим Красноярского водохранилища за период нормальной эксплуатации. Уточнение картограмм волнения Красноярского водохранилища. / Технический отчет. Дивногорская гидрометеорологическая обсерватория. – Дивногорск, 1982. – 77 с.

33. Карта Красноярского водохранилища от порта Абакан до Красноярской ГЭС. – Министерство речного флота РСФСР, Главводпуть, 1975. – экз. №1193 – 23 листа.

34. Отчет о НИР «Изменение природной среды под влиянием крупных водохранилищ ГЭС Сибири – Новосибирского и Красноярского» / Министерство энергетики СССР, Главниипроект, Сибирский научно-исследовательский институт энергетики. – Новосибирск, 1977. – 136 с.

35. Отчет (промежуточный) по теме «Разработать рекомендации по учету взаимодействия водохранилищ с окружающей средой при проектировании ГЭС, ГаЭС, ПЭС и энергокомплексов и внедрить их в практику проектирования». Работа «Переформирование береговой зоны Красноярского водохранилища и разработка мероприятий по природоохране на 1981-85 гг. / Министерство энергетики СССР, Главниипроект, Сибирский научно-исследовательский институт энергетики. – Новосибирск, 1981. – 186 с.

36. Промежуточный отчет по теме: «Разработать научное обоснование мероприятий по улучшению технического состояния благоустройства и повышению эффективности использования действующих крупных водохранилищ и основы перспективного планирования и размещения новых водохранилищ» / Работа: «Научное обоснование мероприятий по улучшению технического со-

стояния Красноярского водохранилища» /Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов. – Новосибирск, 1982. – 38 с.

37. Савкин, В.М. Эколого-географические изменения в бассейнах рек Западной Сибири. / В.М. Савкин. – Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 2000. – 152 с.

38. Хабидов, А.Ш. Закономерности рельефообразования и осадконакопления в береговой зоне крупных водохранилищ // Диссертация доктора географических наук. М.: Московский государственный университет, 2000. -149 с.

39. Эзогенные геологические опасности. Тематический том. / Под ред. В.М.Кутепова, А.И. Шеко. – М.: Изд-во «КРУК», 2002. – 348 с.

40. Data of High Dams in India, 1950, Government of India Central board of irrigation publication No. 48. 930 p.

41. Encyclopedia of Lakes and Reservoirs. / edited by Lars Bengtsson, Reginald W. Herschy, Rhodes W. Fairbridge. – Springer Science + Business Media B.V., 2012. – 985 p.

42. Gregory, K.J. River channel changes. - New York: John Wiley & Sons, 1977. - 450 p.

43. Gregory, K.J., Walling D.E. Drainage basin form and process. -New York: John Wiley& Sons, 1973. - 456 p.

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

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

46. Living with coastal erosion in Europe: sediment and spact for sustainability. – Final report EUROSION, 2004. – 182 p.

47. Man-Made Lakes: Their Problems and Environmental Effects. / Editors: William C. Ackermann, Gilbert F. White, E.B. Worthington, J. Loreena Ivens. – The American Geophysical Union, 1973. – 850 p.

50. Martin, R.O.R., Hanson R.L., Reservoir in the United States, Water Supply Paper No. 1838, U.S. Geological Survey, Washington, D.C., 1966, 23.175
51. Thomas, N.O., Harbeck, G.E., 1956, Reservoirs in the United States: U. S. Geol. Survey WaterSupply Paper 1360 - A. 99 p.
52. World Register of Dams (Мировой регистр плотин) / ICOLD, Paris. France. 1973. – <http://www.icold-cigb.org/>