

*На правах рукописи*



**КОЗЫРЕВА ЕЛЕНА АЛЕКСАНДРОВНА**

**ЭКЗОГЕОДИНАМИКА КРУПНЫХ ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКИХ  
СИСТЕМ МОНГОЛО-СИБИРСКОГО РЕГИОНА**

25.00.08 –

инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
доктора геолого-минералогических наук

Иркутск – 2019

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте земной коры Сибирского отделения Российской академии наук

**Научный консультант:**

доктор геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник  
**Алексеев Сергей Владимирович**

**Официальные оппоненты:**

**Галанин Алексей Александрович**, доктор географических наук, федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова Сибирского отделения Российской академии наук, г. Якутск

**Квашук Сергей Владимирович**, доктор геолого-минералогических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Дальневосточный государственный университет путей сообщения», г. Хабаровск

**Семенов Рудольф Михайлович**, доктор геолого-минералогических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский государственный университет путей сообщения», г. Иркутск

**Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева Российской академии наук, г. Москва

**Защита диссертации состоится 04 декабря 2019 г. в 9-00 ч.** на заседании диссертационного совета Д 003.022.01 при Институте земной коры СО РАН по адресу: 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Института земной коры СО РАН и на сайте: <http://www.crust.irk.ru/images/upload/newsfull181/1919.pdf>

Отзывы об автореферате в двух экземплярах, заверенные подписью и печатью учреждения, просим направлять по указанному адресу ученому секретарю совета, к.г.-м.н. В.В. Акуловой.

Тел: (3952) 426133; e-mail: akulova@crust.irk.ru

Автореферат разослан «\_\_\_» сентября 2019 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета Д 003.022.01,  
кандидат геолого-минералогических наук



В.В. Акулова

## **Актуальность работы**

Изучение экзогеодинамических обстановок крупных природно-технических систем за период длительного техногенеза для перспективного использования природных ресурсов становится все актуальнее для Монголо-Сибирского региона. Монголо-Сибирский регион расположен в центре Евразийского континента, где эксплуатируются разные природно-технические системы, планируется их дальнейшая эксплуатация и расширение. Основные виды техногенной нагрузки на геологическую среду связаны с использованием природного потенциала водных ресурсов, добычей полезных ископаемых и развитием крупных промышленно-городских центров. Одним из значительных аспектов преобразования геологической среды в регионе стало строительство и эксплуатация каскада долинных водохранилищ. Назрела необходимость оценки современного экзогеодинамического состояния природно-технических систем водохранилищ после длительного периода эксплуатации с определением параметров динамики экзогенных геологических процессов. Исследование уникальных природных объектов, демонстрирующих природный потенциал региона, – одно из важных научных направлений, нацеленных на сохранение экологических функций литосферы. Рассмотрение этапов трансформации береговой зоны природного резервуара в ходе гидроэнергетического использования озера Байкал, оценка и сопоставление состояния байкальских берегов на разных этапах эксплуатации важны для понимания сложившейся экзогеодинамической ситуации и направленности развития природно-технической системы в будущем. Обеспечение устойчивости конструктивных элементов при добыче полезных ископаемых – актуальная научно-практическая проблема инженерной геологии. Решение вопросов современного состояния геологической среды при разработке открытых горных выработок важно для Монголо-Сибирского региона в связи с промышленной добычей алмазов в области криолитозоны. Анализ сложившейся экзогеодинамической обстановки обжитых территорий, городских агломераций, крупных промышленных центров – важная фундаментальная проблема современности, решаемая в целях повышения безопасности жизнедеятельности населения. Разработка принципов обеспечения экзогеодинамической безопасности геологической среды Монголо-Сибирского региона является основой сохранения экологических функций литосферы и стабильного природопользования.

## **Цель работы**

Выявление экзогеодинамических обстановок крупных природно-технических систем (ПТС) на территории Монголо-Сибирского региона, оценка современной динамики развития экзогенных геологических процессов, разработка принципов обеспечения экзогеодинамической безопасности геологической среды региона в целях рационального природопользования.

## **Основные задачи**

1. Оценить экзогеодинамическую обстановку зоны влияния крупных долинных водохранилищ, динамику экзогенных геологических процессов за период эксплуатации (на примере ангарских водохранилищ).

2. Определить этапы и особенности формирования экзогеодинамической обстановки береговой зоны озера Байкал в сложившихся природно-техногенных условиях.

3. Изучить природные и техногенные факторы и выявить закономерности формирования экзогеодинамических обстановок в ходе эксплуатации природно-технических систем месторождений, определить устойчивость конструктивных элементов бортов карьера (на примере Нюрбинского месторождения).

4. Выявить степень предрасположенности к формированию катастрофических экзогенных геологических процессов в пределах современных городских территорий, идентифицировать природную экзогенную геологическую опасность (на примере Улан-Баторской агломерации).

5. Разработать принципы обеспечения экзогеодинамической безопасности геологической среды Монголо-Сибирского региона в условиях техногенеза.

#### **Ключевые объекты**

Природно-технические системы, наиболее полно отражающие типичные виды региональных техногенных нагрузок. 1. Каскад ангарских водохранилищ – крупные долинные водохранилища. 2. Озеро Байкал – уникальный естественный резервуар, часть гидроэнергетической системы региона. 3. Нюрбинская кимберлитовая трубка – крупное месторождение, разрабатываемое в криолитозоне. 4. Улан-Баторская агломерация – город-миллионник.

#### **Фактический материал и личный вклад автора**

В диссертации изложены результаты многолетних (1993–2019 гг.) научных исследований экзогеодинамики Монголо-Сибирского региона, выполненных под руководством соискателя либо при его непосредственном участии в рамках государственных научно-исследовательских программ: «Состояние геологической среды и подземной гидросферы Восточной Сибири в природных и техногенных условиях» 2007–2009 гг., «Природно-техногенные процессы в геологической среде и подземной гидросфере нефтегазоносных районов Восточной Сибири и сопредельных территорий» 2010–2012 гг., «Экзогенные геологические процессы Монголо-Сибирского региона: факторы развития, современная динамика и степень опасности» 2013–2016 гг., «Сейсмические и сеймотектонические процессы и сейсмическая опасность Восточной Сибири: факторы, экзогеодинамика и прогноз» (с 2017 г. по наст. время); междисциплинарных научных проектов ИНЦ СО РАН («Фундаментальные исследования и прорывные технологии как основа опережающего развития Байкальского региона и его межрегиональных связей», «Динамика опасных геосферных и биосферных природных процессов в Центральной Азии: сопоставление, оценка, прогноз»), ежегодных экспедиционных проектов СО РАН и ИЗК СО РАН, международных проектов: «Последствия поднятия уровня воды в реках, озерах и водохранилищах», поддержанного Министерством образования Польши, Силезский университет, «Тепловое состояние

вечной мерзлоты», «Глобальный мониторинг состояния вечной мерзлоты (GTN-P)» (Соединенные Штаты Америки, Аляска).

Разработка фундаментальной научной проблемы осуществлялась при финансовой поддержке РФФИ – руководитель Российско-Монгольского проекта 2016 –2 018 гг. «Катастрофические процессы временных водотоков Улан-Баторской агломерации: факторы, оценка их динамики и прогноз», исполнитель проекта 2016–2018 гг. «Бугры пучения Окинского плоскогорья (Восточные Саяны): генезис и эволюция», организатор и руководитель международной конференции «Создание и использование искусственных земельных участков на берегах и акватории водных объектов» в 2013 г.

В результате исследований накоплен уникальный фактический материал по динамике экзогенных геологических процессов в регионе, зарегистрирована электронная база данных «Морфометрические параметры водосборных бассейнов Улан-Баторской агломерации», авторы Рыбченко А.А., Козырева Е.А., Мазаева О.А. (БД №2017621004).

### **Методы исследований**

Для решения поставленных задач применялись современные методы инженерной геологии, геокриологии, геоморфологии, геофизики, экологической геологии и других смежных научных направлений, экспериментального и теоретического уровня, привлекался обширный опубликованный, фондовый материал, касающийся территории Монголо-Сибирского региона, анализировались и обобщались данные разведочных работ ОАО АК «АЛРОСА» для Накынского кимберлитового поля.

В обработку включены фактические данные, полученные соискателем в результате организации и проведения многолетних режимных наблюдений на территории Восточной Сибири и Монголии (мониторинг береговой зоны Иркутского, Братского водохранилищ и озера Байкал, бортов карьеров Нюрбинский и Ботуобинский, эрозионных процессов Улан-Баторской агломерации). Специфика выбранных для исследований природно-технических объектов повлияла на выбор способов и методов изучения геологической среды. На крупных природно-техногенных объектах использован метод ключевых участков. При изучении береговых подводных склонов использовано эхолотирование. Выполнялась тахеометрическая съемка исследуемых участков. На закарстованных территориях Братского водохранилища выполнялась георадарная съемка. Применялся беспилотный летательный аппарат для выявления особенностей развития экзогенных процессов на труднодоступных территориях. Для изучения температурного поля грунтов использованы термокосы, логгеры в автоматическом режиме записи данных. Опробование грунтов осуществлялось с использованием малогабаритной буровой установки. Петрографическое изучение горных пород, определение отдельных показателей физико-механических свойств грунтов выполнено в ЦКП «Геодинамика и геохронология» ИЗК СО РАН, лаборатории инженерной геологии и геоэкологии, лаборатории магматизма древних платформ

ИЗК СО РАН. Для обработки и анализа материала применены методы статистической обработки, системного анализа, типизации и классификации, использованы ГИС.

### **Научная новизна работы**

1. Выполнена оценка современной экзогеодинамической обстановки зоны влияния ангарских водохранилищ, установлена динамика развития абразии, оползней, карста.

2. На основе обобщения опубликованных и фактических данных выделены четыре этапа трансформации береговой зоны озера Байкал, представлена сложившаяся экзогеодинамическая обстановка байкальских берегов в современных природно-техногенных условиях многолетнего регулирования уровня воды в водоеме.

3. Впервые детально изучены природные и техногенные факторы, определяющие направленность эволюции экзогеодинамических обстановок в ходе эксплуатации природно-технических систем месторождений, в результате чего установлено, что особенности природных геологических условий территории, находящиеся под динамическим воздействием техногенных факторов, определяют устойчивость конструктивных элементов бортов карьеров.

4. На основе детального анализа морфологических показателей территорий впервые выявлена предрасположенность водосборных бассейнов к формированию катастрофических экзогенных геологических процессов, связанных с ливневыми осадками, и выполнено инженерно-геологическое районирование территории города (на примере Улан-Батора).

5. Разработаны принципы обеспечения экзогеодинамической безопасности геологической среды Монголо-Сибирского региона.

### **Практическая значимость**

Результаты исследования экзогеодинамических обстановок крупных природно-технических систем Монголо-Сибирского региона позволяют решать конкретные теоретические и практические задачи по предотвращению развития опасных и катастрофических экзогенных геологических процессов в ходе эксплуатации технических объектов, по обоснованию и организации мониторинга компонентов геологической среды, по оценке и построению прогнозов состояния геологической среды в условиях техногенеза. Результаты исследований могут быть адаптированы для анализа состояния геологической среды подобных природно-технических систем: водохранилищ долинного типа, естественных водоемов, месторождений полезных ископаемых, разрабатываемых открытыми горными выработками, городских территорий. Полученные результаты исследований используются научно-производственными предприятиями, научно-образовательными центрами, природоохранными структурами, государственными правовыми и административными органами региона.

## **Защищаемые положения**

1. Современное экзогеодинамическое состояние зоны влияния долинных водохранилищ юга Восточной Сибири определяется в основном циклическим режимом сезонного и многолетнего регулирования уровня воды. Динамика абразионного, оползневого и карстового процессов за период эксплуатации отражается в абразионной активности разной степени, интенсивном проявлении сульфатного карста (на поверхности), локальном развитии оползней, а также сложном сочетании комплекса экзогенных геологических процессов.
2. Экзогеодинамическая обстановка береговой зоны озера Байкал за период технического регулирования уровня воды формировалась в четыре этапа. Современное развитие береговой зоны озера в природно-техногенных условиях определяется унаследованным профилем равновесия байкальских берегов, соотношением их генетических абразионно-аккумулятивных групп, пространственным переформированием аккумулятивных форм и увеличением протяженности техногенного (укрепленного) типа берега.
3. Современное состояние геологической среды территорий разработки алмазоносных месторождений определяется сочетанием структурно-тектонических, геолого-литологических, мерзлотно-гидрогеологических условий и характером техногенеза. Устойчивость конструктивных элементов бортов карьеров определяется степенью реакции природных факторов на различные виды и масштабы техногенных воздействий.
4. Потенциальная подверженность водосборных бассейнов территорий городских агломераций к формированию катастрофических экзогенных геологических процессов обусловлена морфометрией рельефа, геолого-литологическим строением и особенностями климата. В пределах крупных городских агломераций существуют районы разной степени (низкой, средней, высокой) предрасположенности к формированию катастрофических экзогенных геологических процессов, связанных с ливневыми осадками.
5. Разработанные принципы обеспечения экзогеодинамической безопасности геологической среды Монголо-Сибирского региона включают следующие процедуры: идентификацию геологической опасности, мониторинг и анализ эволюции геологической среды с обязательным привлечением научного сопровождения разрабатываемых проектов, которые направлены на сохранение природного потенциала экологических функций литосферы.

## **Апробация**

Результаты авторских исследований и основные положения диссертации докладывались и обсуждались на международных и всероссийских научных форумах, конгрессах, совещаниях, конференциях: International Geological Congress, (Польша, 2005); IX, X Международная лимнологическая конференция (Польша, 2006, 2007); Международный симпозиум GLACIPR «Карст и крио карст» (Польша, 2007); Международная конференция Геологического общества Греции «Геологическая среда: прошлое, настоящее, будущее» (Греция, 2008); IX, X

Российско-Монгольская конференция по астрономии и геофизике (Монголия, Россия, 2009, 2010); ежегодная Всероссийская научно-техническая конференция «Геонауки», г. Иркутск; III Всероссийская научная конференция с международным участием «Экологический риск и экологическая безопасность» (Иркутск, 2012); International limnological conference (Poland, 2012); Международная конференция «Создание и использование искусственных земельных участков на берегах и акватории водных объектов» (Барнаул, 2011; Иркутск, 2013); Российская археолого-этнографическая конференция студентов и молодых ученых (Иркутск, 2015); Всероссийская молодежная конференция "Строение литосферы и геодинамика" (Иркутск, 2015); 4-я Международная конференция «Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита» (Иркутск-Аршан, 2016); III Всероссийское совещание и II Всероссийская молодежная школа по современной геодинамике «Современная геодинамика Центральной Азии и опасные природные процессы: результаты исследований на количественной основе» (Иркутск, 2016); The International conference on astronomy and geophysics in Mongolia (Ulaanbaatar, 2017); Международная научно-практическая конференция «Инновации в геологии, геофизике и географии (Крым, 2017); Международная конференция «Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита» (Тбилиси, Грузия, 2018).

### **Публикации**

По теме диссертации опубликовано 170 работ, из них разделы в 12 монографиях и 45 статей в рецензируемых зарубежных и российских журналах из перечня ВАК. Работы написаны в соавторстве со специалистами, которые не имеют возражений против защиты данной работы.

### **Структура и объем работы**

Диссертация состоит из введения, 6 глав, заключения (290 стр. текста, 116 рисунков, 9 таблиц, список используемой литературы включает более 300 источников).

### **Благодарности**

Автор выражает благодарность научному консультанту – доктору геолого-минералогических наук С.В. Алексееву за внимание к работе, ценные советы и конструктивные замечания. За постоянную поддержку автор признателен коллективу Института земной коры СО РАН, всем сотрудникам лаборатории инженерной геологии и геоэкологии, специалистам и ученым, общение с которыми на разных этапах выполнения исследовательской работы способствовало формированию изложенных в работе идей и представлений: Т.Г. Рященко, Ю.К. Васильчуку, С. Демберелу, Д.А. Кошкареву, А.С. Гладкову, В.В. Акуловой, Д.О. Сергееву, А.Н. Хименкову, Л.А. Строковой, Л.П. Алексеевой, С.С. Черноморцу, А.М. Лехатинову, Л.И. Аузиной. За всестороннюю поддержку и терпение огромное спасибо моей семье и близким. Автор навсегда сохранит светлую память о наставниках и выдающихся ученых, оказавших влияние на выбор профессионального пути и формирование научных интересов: В.М. Степанове, Ю.Б. Тржцинском, Г.Е. Серовой, К.Г. Леви, А.Ш. Хабидове, В.М. Литвине, Ф.Н. Лещикове, А.Л. Рагозине.



## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

### Глава 1. Постановка проблемы, состояние изученности и методы исследований

Развитие природной среды – естественный, неизбежный и постоянно действующий процесс. Изменения компонентов геологической среды происходят как в результате взаимодействия природных сил, так и под влиянием техногенных факторов, формируя при этом экзогеодинамические обстановки более сложные, чем при естественно-природном течении событий. Последствия преобразования верхних горизонтов земной коры, современная динамика экзогенных геологических процессов стали важными задачами в обеспечении экологической безопасности геологической среды и сохранении природного потенциала литосферы. Основы научного направления по изучению особенностей взаимодействия инженерных сооружений с верхними горизонтами земной коры заложены Ф.П. Саваренским, Г.Н. Каменским, И.В. Поповым, В.А. Приклонским, Н.Н. Масловым, Е.М. Сергеевым, В.Д. Ломтадзе, Г.С. Золотаревым, Ф.В. Котловым, а с позиции системного анализа теоретические разработки и экологическая направленность исследований представлены в работах Г.К. Бондарика, Г.А. Голодковской, В.Т. Трофимова, В.И. Осипова, Д.Г. Зилинга, В.А. Королева, Ю.Б. Тржцинского, В.Н. Экзарьян и др.

Сложность и разнообразие геолого-геоморфологических, структурно-тектонических, сейсмических и геокриологических условий в Монголо-Сибирском регионе предопределили специфические экзогеодинамические обстановки природно-технических систем. На разных этапах освоения Восточной Сибири и Монголии изучением особенностей инженерно-геологических условий территорий занимались М.М. Одинцов, В.П. Солоненко, Г.П. Вологодский, Г.А. Голодковская, Г.Б. Пальшин, О.В. Павлов, В.И. Астраханцев, Е.К. Гречищев, Ю.Б. Тржцинский, А.М. Лехатинов, А.Б. Иметхенов, В.М. Филиппов, Ф.Н. Лещиков, В.М. Литвин, А.А. Рогозин, В.К. Лапердин, Б.И. Писарский, С.Х. Павлов, Ю.И. Блохин, Б.М. Шенькман, С.В. Алексеев, Л.П. Алексеева, Н.И. Демьянович, Т.Г. Рященко, Г.М. Пуляевский, Г.И. Овчинников, В.В. Акулова, О.И. Баженова и многие другие. Особенности структурно-тектонического строения и сейсмичности отражены в работах С.И. Голенецкого, Н.А. Флоренсова, Н.А. Логачева, А.А. Трескова, В.П. Солоненко, В.В. Николаева, С.М. Замараева, Ю.А. Зорина, С.И. Шермана, К.Г. Леви, К.Ж. Семинского, А.С. Гладкова, В.В. Ружича, С. Дэмберела, А.В. Чипизубова, В.И. Мельниковой, В.И. Джурика, А.В. Ключевского и других.

Монголо-Сибирский регион представляет собой крупный территориальный блок земной коры, включающий морфоструктуры Сибирской платформы и горно-складчатый рельеф Байкальской рифтовой зоны (рис. 1).

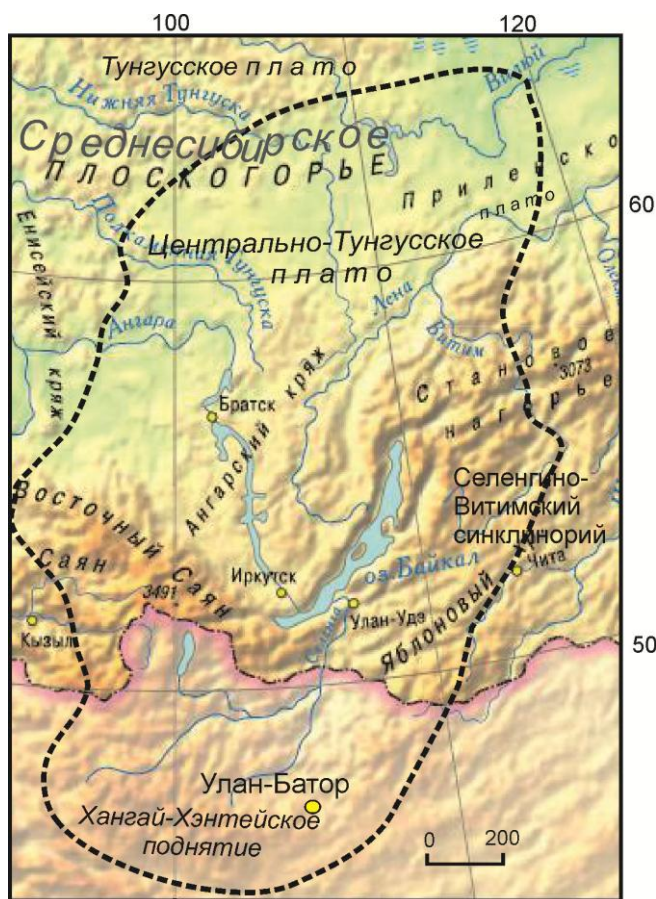


Рисунок 1. Схема положения границ Монголо-Сибирского региона.

Детального анализа этапов трансформации геологической среды региона за период техногенеза, смены экзогеодинамических обстановок созданных природно-технических систем до настоящего времени не проводилось. Назрела необходимость в проведении обобщающих инженерно-геологических работ, характеризующих экзогеодинамическую обстановку крупных природно-технических систем, эксплуатируемых в Монголо-Сибирском регионе.

Одной из важных задач исследований стала оценка динамики развития современных экзогенных геологических процессов в зоне влияния долинных водохранилищ со значительной проектной амплитудой колебаний уровня воды (до 10 м) и естественных водоемов, используемых в гидроэнергетических целях. С момента

ввода в эксплуатацию каскада Ангарских гидротехнических объектов прошло более полувека. Громадные гидротехнические сооружения оказали комплексное воздействие на геологическую среду региона, приведя к эволюционным преобразованиям ее компонентов. На этапе бессрочной эксплуатации водохранилищ не проанализирована современная экзогеодинамическая ситуация в зоне влияния, не определена динамика экзогенных геологических процессов. Недостаточно освещены вопросы формирования экзогеодинамической обстановки береговой зоны озера Байкал после длительного технического регулирования уровня воды, сопоставления исходного и текущего состояния берегов озера Байкал после технического поднятия уровня и его регулирования.

Проблемы устойчивости конструктивных элементов бортов карьеров и безопасность эксплуатации месторождений актуальны при разработке полезных ископаемых в криолитозоне [Винокуров, Суходолов, 1998; Алексеев и др., 2011; Слепцов, Курилко, 2013]. Эксплуатация глубоких карьеров создает предпосылки для формирования опасных техногенных экзогенных геологических процессов и нуждается в проведении комплексных инженерно-геологических работ по оценке современного состояния геологической среды месторождения.

Для региона с резко-континентальным климатом изучение особенностей формирования современной экзогеодинамической обстановки городских территорий очень актуально. Анализ морфометрических параметров водосборных бассейнов и их вклад в формирование катастрофических экзогенных процессов выполняется для освоенных территорий [Angillieri, 2008; Waikar, Nilawar, 2014], где экзогенные процессы, связанные с ливневыми осадками, приводят к значительным экономическим ущербам и угрозе безопасности населения.

Разработка принципов обеспечения экзогеодинамической безопасности геологической среды с учетом геодинамической функции литосферы [Трофимов, Зилинг, 2002; Трофимов, Королев, 2013; Осипов и др., 20017] в условиях возрастающих техногенных нагрузок – важное современное направление исследований, особо актуальное для территорий Монголо-Сибирского региона.

В основу инженерно-геологических исследований положен системный подход, представляющий новый этап развития теории и методологии общетеоретических исследований инженерной геологии и экзогеодинамики [Шеко и др., 1971; Литвин, 1989; Иванов, Тржцинский, 2001; Королев, 2007; Трофимов, 2008]. В работе использован широкий комплекс современных методов: инженерно-геологических [Методическое пособие..., 1984; Ломтадзе, 1977, 1990; Сергеев, 1978; Бондарик, 1981; Золотарев, 1990; Осипов и др., 1999; Иванов, Тржцинский 2001; Трофимов, Зилинг, 2002; Экологические функции литосферы, 2002; Осипов, Соколов, 2013; Инженерная геология России, 2013], геокриологических [Основы мерзлотного прогноза..., 1974; Методика мерзлотной съемки..., 1979; Ершов и др., 1976, 1999; Методы геокриологических исследований, 2004], климатологических [Будыко, 1980; Величко, 1973; Котляков, 1994; Васильчук Ю.К., Васильчук А.К., 2011] и других.

## **Глава 2. Зона влияния ангарских водохранилищ**

Каскад ангарских водохранилищ состоит из искусственно созданных долинных водоемов гидроэлектростанций (ГЭС), построенных в целях выработки электроэнергии в долине р. Ангары. Сочетание климатических, ветроволновых, геоморфологических и структурно-геологических, гидрогеокриологических условий территории и эксплуатационных особенностей Иркутского, Братского, Усть-Илимского, Богучанского водохранилищ предопределили особенности формирования береговых склонов водоемов и динамику развития современных экзогенных геологических процессов [Братское водохранилище..., 1963; Богучанское водохранилище, 1979; Лещиков, 1984; Филиппов, 1983; Серов, Тржцинский, 1979; Овчинников и др., 1999]. Иркутское и Усть-Илимское водохранилища характеризуются сезонным типом регулирования уровня воды (сработка около 2 м), Братскому характерен многолетний тип регулирования (амплитуда колебания до 10 м). Уровень сработки Богучанского водохранилища в

многолетнем плане может достигать 2 м, сезонной 1 м. Абразионные размывы в большей мере затрагивают берега основной акватории водоемов. Динамика переработки склона определяется скоростью выветривания горных пород, сохранностью делювиального шлейфа в пределах абразионного уступа и геолого-литологическими особенностями пород. Абразионные берега на участках правобережья Иркутского водохранилища, сложенные четвертичными породами аллювиального, пролювиального и делювиального генезиса, испытывают максимальные размывы. Мысовые части основной акватории размываются со скоростью до 2,5 м/год – район д. Грудинино, до 3,5 м/год – район в пос. Ново-Разводная.

Изучение сочетания экзогенных геологических процессов в береговой зоне Братского водохранилища ангарской акватории показало следующее:

– Взаимодействие экзогенных геологических процессов внутри локального берегового участка происходит постоянно, выражаясь в смене ведущего экзогенного процесса, интенсивность которого определяется геолого-литологическими и природно-климатическими особенностями, воздействием техногенного фактора (положением уровня).

– Оползневые и эрозионные процессы в пределах береговых склонов водохранилищ являются антагонистами, сменяя друг друга, а их совместное с абразией развитие усиливает скорость переработки берега и отступление бровки склона.

– Динамика оползней при прочих равных условиях (литология, геоморфология, морфодинамика) определяется интенсивностью абразионного процесса в пределах локального участка, служащего причиной снижения устойчивости склона.

– Нарастающая во времени абразионная активность на водохранилищах определяется особенностями эксплуатационного режима – циклической смене состояний сезонного и многолетнего регулирования уровня воды.

Анализ мониторинговых данных, выявленные закономерности проявления экзогенных геологических процессов могут служить аналоговой моделью развития берегового склона водохранилищ долинного типа.

*1-я модель.* При высоких уровнях водохранилища происходит абразионное разрушение береговых уступов осушенной части склона, формирование волноприбойных ниш в коренных породах, отступление подножий, что снижает общую устойчивость крутых склонов. Дополнительное увлажнение грунтов под воздействием как климатического фактора (обильные осадки), так и гидродинамического (заплески и повышение уровня грунтовых вод вслед за повышением уровня воды в водоеме) приводит к изменению прочностных показателей пород. При засушливом периоде грунты, слагающие склон и обладающие высокой степенью объемной усадки, могут испытывать

растрескивание, расслаивание и нарушение монолитности породы. Все физико-механические процессы, сопровождающие процесс выветривания, нарушают прочность массива и его устойчивость при размыве «высокой» водой. Результирующим становится развитие гравитационных процессов, которое проявляется в виде зарождения трещин отпора, формирования свежих оползневых цирков, осыпей, смещения береговой бровки в глубь склона.

*2-я модель.* При низких уровнях отмечается активизация эрозионных процессов в осушенной части берегового склона при относительной стабилизации общих деформаций надводного склона. После абразионной подрезки берегового склона с находящимися в его пределах устьевыми частями оврагов происходит нарушение профиля продольного равновесия оврагов и активизация глубинной эрозии. Возрастает энергия эрозионного потока, прорезающего береговой уступ. На отмель выносятся большое количество рыхлого материала, формирующего конусы выноса. Снижение уровня воды в водохранилище, а вслед за ним и уровня грунтовых вод приводит к усилению фильтрационных потоков и закономерной активизации суффозионно-просадочных процессов, проявлению карстового процесса на дневной поверхности. Абразионная деятельность смещается в подводную часть склона, приводя к переформированию аккумулятивной террасы.

При рассмотрении этапов эксплуатации Иркутского водохранилища выявлено увеличение протяженности абразионных берегов на 15 % в сравнении с исходной

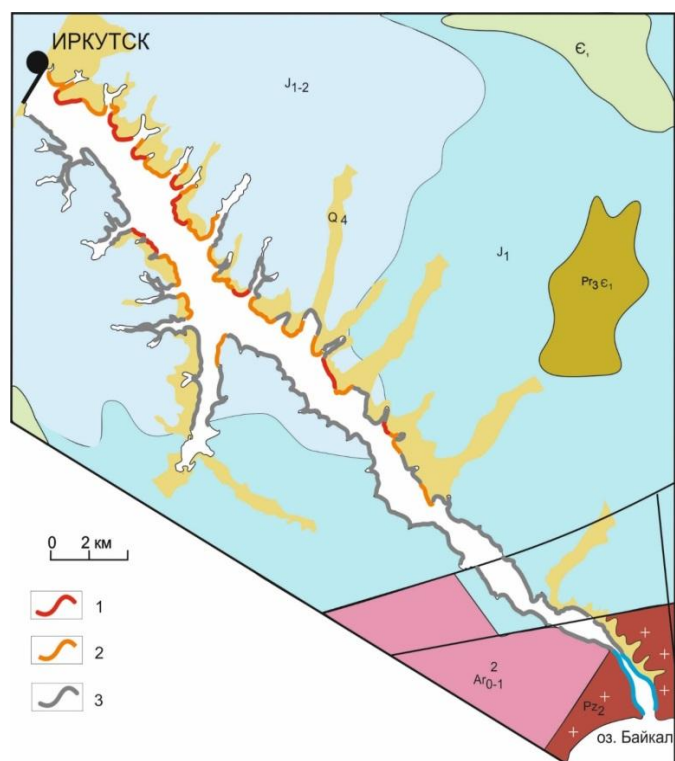


Рисунок 2. Карта степени активности абразионного процесса Иркутского водохранилища за весь период эксплуатации (условные к геологической основе карты см. рис. 1.2): 1 – высокая – 50–300 м; 2 – средняя – 30–50 м; 3 – слабая – до 30 м.

протяженностью берегов первого периода эксплуатации (1956–1980 гг.). Приращение протяженности абразионных берегов с 700 км в 1966 г. до 2056 км к настоящему времени отмечено и на Братском водохранилище, что составляет прирост абразионных берегов на 34,2 % от общей протяженности береговой линии. В пределах Братского водохранилища сохраняется самая высокая абразионная активность из всех водоемов каскада. На берегах Иркутского и Братского водохранилищ выделены участки высокой, средней и слабой степени активности абразионного процесса (рис. 2).

Оползневые процессы, развивающиеся на берегах ангарских водохранилищ, во многом

предопределены литологическими особенностями локальных участков, развитием процессов выветривания и дополнительным воздействием абразионной нагрузки на склон. На современном этапе эксплуатации на водохранилищах зафиксированы оползневые участки общей площадью 0,62 км<sup>2</sup>, с протяженностью вдоль берега: на Братском водохранилище – 4,3 км, на Иркутском – 0,53 км. По результатам мониторинга оползневых смещений на Братском водохранилище установлено, что всплеск оползневой активности характерен периоду высокого положения уровня воды в водоеме.

В зоне влияния водохранилищ развит карбонатный, сульфатный тип карста. В пределах Усть-Илимского и Богучанского водохранилищ распространен карбонатный тип, интенсивность которого слабее сульфатного. На юге Братского водохранилища активизацией карста затронуты сульфатно-карбонатные породы ангарской свиты кембрия. На основе анализа геолого-литологического строения

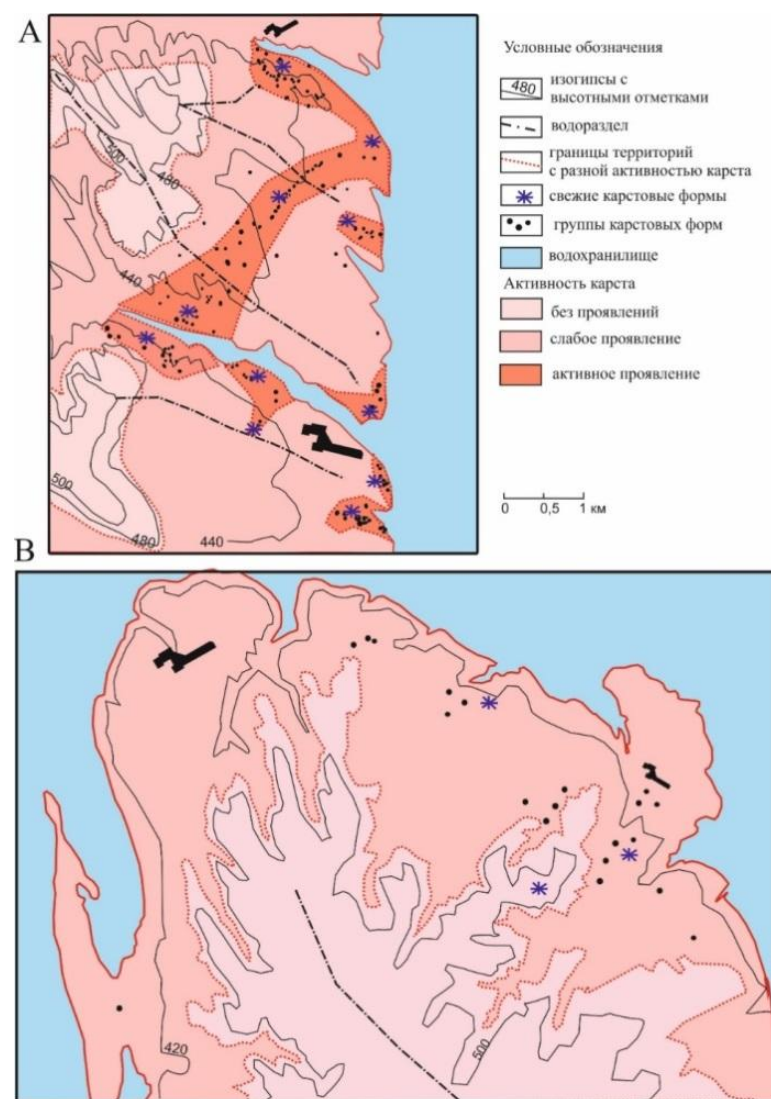


Рисунок 3. Активность карстового процесса Хадахано-Мельхитуйского массива (А) и участка «Рассвет» (В) (составлена с использованием материалов В.М. Литвина, карты Бохтайского отчета, ООО ИНЖГео и мониторинговых данных с 2000 г.

толщи горных пород зоны влияния водоема, по степени обнаженности карстующихся пород, составу покровных отложений в зоне влияния Братского водохранилища выделены территории с распространением бронированного, покрытого и открытого типа карста. За 15 лет мониторинга динамики сульфатного карста зафиксировано образование 14 новых карстовых воронок и обновление ранее существующих форм на Хадахано-Мельхитуйском массиве и на участке «Рассвет». Карстовые формы на дневной поверхности проявились в 2003, 2009 и 2011 гг., что соответствует периодам снижения уровня воды в водохранилище. Выделены три зоны активности современного карстового процесса (рис. 3). 1-я зона с активным проявлением карста – участки открытого типа карста, где установлены эпизоды обновления карстовых проявлений

и зафиксированы образования свежих карстовых полостей, провалов, гротов, и других карстовых форм на дневной поверхности. Карстовые формы имеют коррозионно-гравитационный, карстово-эрозионный и абразионно-карстовый генезис. 2-я зона слабого проявления карста – участки, расположенные в пределах покрытого морфогенетического типа карста с единичными и редкими случаями обновления карстовых проявлений на дневной поверхности. 3-я зона без проявления карстовых форм на дневной поверхности – это территории бронированного типа карста, расположенные гипсометрически выше 480–500 м.

Длительная эксплуатация водохранилищ Ангарского каскада ГЭС привела к эволюционным преобразованиям компонентов геологической среды, формированию современной экзогеодинамической обстановки зоны влияния водохранилищ, определяемой сочетанием унаследованных геолого-литологических и природно-климатических условий и циклическим режимом сезонного и многолетнего эксплуатационного регулирования уровня воды в водоемах. Произошли необратимые изменения в морфологии склонов, значительная переработка береговых склонов, развитие комплекса экзогенных геологических процессов активизация унаследованных и возникновение нового, несвойственного ранее для данной территории (абразия) процесса. Стабилизации абразионного процесса на берегах ангарских водохранилищ не выявлено. Оползневые процессы на берегах ангарских водохранилищ имеют локальное распространение. Общая протяженность оползневых участков не превышает 0,1 % от общей протяженности береговой линии водохранилищ, и в большинстве случаев оползни не угрожают жизни людей, но осложняют эксплуатацию прилегающих к водохранилищу территорий. Активность сульфатного карстового процесса остается высокой на протяжении всего периода эксплуатации водохранилищ, его локализация отмечена в зонах структурно-тектонической неоднородности горных пород, вдоль побережья водохранилища.

### **Глава 3. Береговая зона озера Байкал**

Озеро Байкал – уникальный природный объект, древнее озеро, существующее около 25 млн. лет [Флоренсов, 1978; Байкал. Атлас, 1993]. Озеро является водоемом горного типа, находится на высоте 455,5 м над уровнем моря. Со всех сторон окружено горными хребтами. Горные хребты, кряжи, межгорные и внутригорные впадины создают сложнопостроенный рельеф Байкальской рифтовой зоны и имеют выраженное северо-восточное простирание. Более половины (55 %) байкальских склонов имеют уклон круче 15°, свыше 33 % склонов круче 25° и только 26 % территории приходится на склоны менее 10° [Пармузин, 1975]. Естественное развитие береговой зоны оз. Байкал с выработкой положения профиля береговых склонов происходило длительное время, протекая в особых сейсмотектонических и геологических условиях со значительной амплитудой колебаний положения палеоуровней воды [Лут, 1964; Ламакин, 1968; Кононов, 2010; Мац, Ефимова, 2015].

В геологическом строении береговой зоны Байкала участвуют магматические, метаморфические и осадочные породы от архея до четвертичного возраста включительно. По периметру береговой линии озера Байкал преобладают трещиноватые, сильновыветрелые породы, рыхлые и слаболитифицированные отложения занимают меньшие по площади территории.

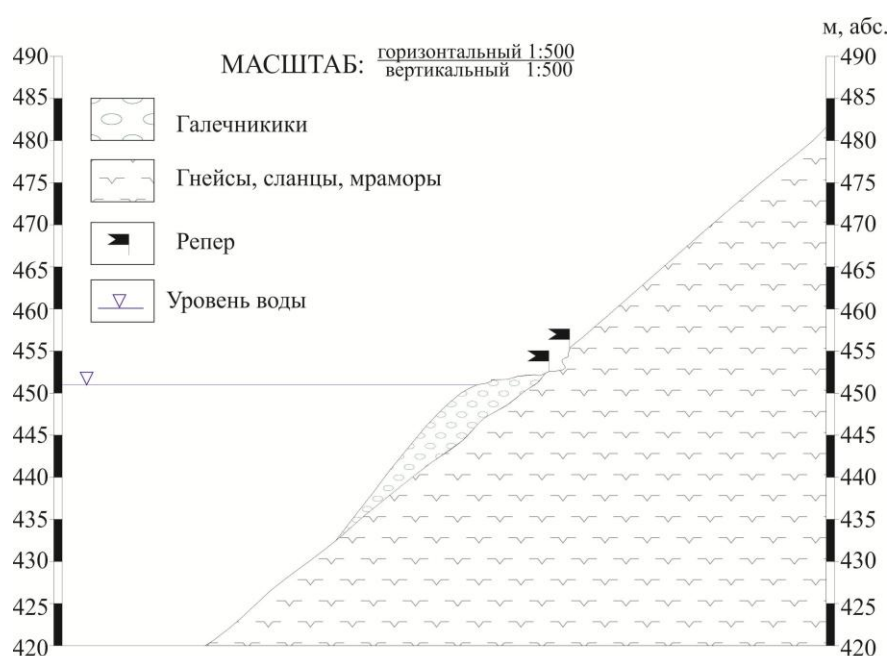
Главным и масштабным фактором, оказывающим значительное влияние на природную среду озера, стало включение котловины озера Байкал в Байкало-Ангарский гидроэнергетический комплекс. После создания Иркутского гидроузла произошло объединение резервуаров озера и долинного водохранилища в единый водный объект, что привело к искусственному повышению уровня воды в озере Байкал на 1,2 м и накоплению значительного объема водной массы. После технического повышения уровня воды в озере амплитуда годовых колебаний уровня уменьшилась, но в многолетнем цикле – увеличилась. Максимальные отметки уровня воды на Байкале при техническом регулировании достигаются в осенний период (сентябрь – октябрь), когда наступает штормовой период на озере. Минимальные уровни в озере после зимней сработки воды характерны для весеннего периода.

В очертаниях береговой линии и морфометрических характеристик надводных и подводных частей берегового склона современные экзогенные геологические процессы вызывают наиболее ощутимые изменения. В целях оценки современного состояния берегов принято использовать ранжирование, группировки, классификации с выделением условно однородных территориальных единиц (В.П. Зенкович, Л.А. Жиндарев, И.А. Печеркин, Ю.М. Матарзин, Е.К. Гречищев, П.Ф. Бровк, В.И. Лымарев и др), в основе которого лежит генетический подход [Леонтьев, 1963]. Оценка характера развития берегов включает в себя систематизацию данных, классификацию байкальских берегов с учетом выполненных ранее работ предшественников: А.В. Пинегина, А.А. Рогозина, Е.К. Гречищева, Н.П. Ладохина и др. На озере Байкал развиваются две основные генетические абразионно-аккумулятивные группы берегов, подразделяясь на типы и подтипы.

**Абразионная группа. Структурно-абразионный тип берега** характерен для побережья, где выражены геоструктурные элементы: зоны разломов, плоскости смещения, синклинали и антиклинали. История структурно-геологического развития побережья в совокупности с показателями высокой физико-механической прочности слагающих берег пород положена в основу выделения структурно-абразионного типа. Структурно-абразионный тип берега представлен в основном кристаллическими и метаморфическими горными породами (скальными грунтами), весьма устойчивыми к разрушающему воздействию волн и агентам выветривания. По степени сопротивляемости абразии кристаллические сланцы, мраморы, гнейсы раннепротерозойского возраста, слагающие байкальские



берега, относятся к практически неразмываемым и представляют собой крутые, субвертикальные клифы, достигающие высоты 190 м. В береговой зоне ведущая роль в разрушении коренных пород отводится механической работе волн и физико-химическому выветриванию. В рельефе склона это проявляется образованием волноприбойных ниш, гротов, козырьков и других отрицательных форм в береговой зоне. При анализе динамики берегов данного типа берега не выявлено сколько-нибудь заметного отступления бровки. При дешифрировании аэрофотоматериалов разных лет структурно-абразионных берегов Байкала (1953–1984 гг.) и сопоставлении их с космоснимками 2000-х годов установлено, что положение бровки склона не изменилось и сам береговой склон остался в прежних параметрах. Локальное обрушение пород возможно по плоскостям напластования и тектоническим трещинам. В пределах структурно-абразионных берегов на отдельных его участках отмечается возникновение обвалов и вывалов. Единичные, локальные проявления гравитационных процессов снимают возникшие напряжения на склоне и приводят к перераспределению сил внутри массива горных пород,



Наименование	Репер.1 Репер.2		
	Отметка устья, м	451,6	452,5
Глубина, м			
Расстояние, м	51,5	6,3	2,5
			30,4

Рисунок 4. Профиль структурно-абразионного склона (ключевой участок Святой Нос).

однако это не приводит к изменению параметров профиля склона и переходу в другой тип. Как правило, в профиле склона отсутствует пляж и от уреза начинается прислоненная аккумулятивная терраса, и практически сразу идет значительное увеличение глубины подводного берегового склона (рис. 4).

Подводный береговой склон не только сохраняет крутизну надводной части, но и нередко превышает ее, что объясняется относительной

геологической молодостью байкальских склонов и меньшей преобразованностью эрозионно-денудационными процессами под водой. Повышение уровня воды в водоеме и период гидротехнического использования водоема не оказали заметного влияния на профиль берега структурно-абразионного типа.

**Абразионный тип берега** на Байкале распространен широко. Абразионный тип берега присущ склонам с распространением унаследованных аккумулятивных шлейфов и террас, сложенных комплексом озерно-речных, делювиально-

пролювиальных и моренных отложений (рис. 5). Общими чертами при выделении абразионного типа берега являются: наличие абразионного уступа (клифа), следов

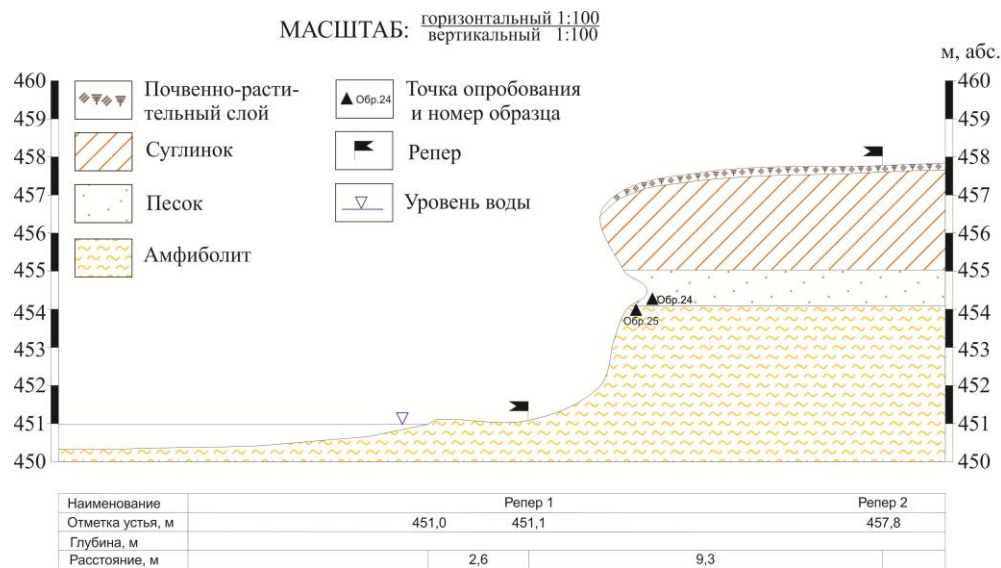


Рисунок 5. Профиль абразионного склона (участок «Максимиха»).

деформаций в пределах надводного склона, развитие сопутствующих экзогенных геологических процессов в пределах бровки уступа, пляжа и надводного берегового склона, приглубый подводный, широкая и нарастающая прислоненная аккумулятивная терраса, присутствие вторичных уступов на осушенном склоне.

В зависимости от особенностей геолого-литологического строения склона, положения и параметров водосборных бассейнов, локальной морфологии участков побережья, высоты и угла подхода волн, ветровых нагрузок, распределения вдольбереговых течений происходит формирование абразионных берегов при участии экзогенных геологических процессов. В зависимости от развития сопутствующих экзогенных геологических процессов при переработке склона выделяются: абразионно-оползневой, абразионно-обвальный, абразионно-осыпной, абразионно-эоловый, абразионно-аккумулятивный подтипы берега.

**Аккумулятивная группа. Аккумулятивный тип берега** на Байкале характерен для дельтовых участков рек. Наибольшим по протяженности аккумулятивным участком является Селенгинское побережье, окаймленное с одной стороны заливом Провал, а с другой – сором Истокским. Аккумулятивные берега расположены на юге озера между Култуком и Слюдянкой, в районе рек Голоустная, Бугульдейка, в Баргузинском и Чивыркуйском заливах, на севере озера Байкал – в районе рек Верхняя Ангара и Кичера. Повышение уровня в оз. Байкал в связи с созданием Иркутского водохранилища привело к перестройке гидрологических и экзогеодинамических условий в пределах дельтовых участков. Аккумулятивный тип берега в настоящее время продолжает испытывать деструктивные процессы с элементами перестройки и адаптации к новым природно-техногенным условиям. Количественные показатели протяженности аккумулятивных подтипов берега не постоянны во времени, их протяженность варьируются в зависимости от изменения объемов твердого материала, поступившего на участок аккумуляции за сезон, год и

цикл положения уровня воды в озере. **Биогенный тип берега** развивается на берегах озера в заливах и бухтах, где волнение не оказывает заметного влияния на перемещение водных масс и переформирование подводного берегового склона, где создаются условия для хорошей прогреваемости вод, роста растительности и ее накопления. Уклон профиля биогенного берега не превышает  $5^\circ$ , распространен в заливах и лагунах. Унаследованный биогенный тип берега представлен небольшими участками в заливах Провал, Чивыркуйский, Верхней Ангары; в основном это болотистые участки, торфяники. Формирование устойчивого биогенного типа берега – длительный процесс накопления постоянно присутствующей биомассы, потому протяженность выделенных биогенных берегов мала. Многие участки с унаследованным накоплением биогенного материала (торф, болотная растительность) подвержены размыву и в зависимости от положения уровня в сезонном и многолетнем ходе эксплуатации озера могут переходить в группу абразионных берегов, формируя абразионно-биогенный подтип.

**Техногенная группа.** К техногенному типу берега относятся берега, укрепленные активным или пассивным методом. Укрепление берегов на Байкале выполнялось методами: активными – направленными на снижение ветро-волновой нагрузки на склон (буны, волноломы), пассивными – волноотбойными стенками, ряжами, укрепленными пирсами.

На основе обобщения опубликованных и фактических данных за период эксплуатации резервуара выделено четыре этапа трансформации береговой зоны озера Байкал. Первый этап (1959–1974 гг.) связан с наполнением, высоким положением уровня воды в озере и первым циклом технической эксплуатации водоема и характеризуется нестабильным положением уровня. На этом этапе отмечены максимальные показатели абразионных размывов, интенсивное переформирование профиля равновесия склона (с безвозвратной потерей аккумулятивных форм на отдельных участках), активизация оползней, обвалов, солифлюкции, эоловых процессов. Второму этапу (1974–1995 гг.) свойственна активная адаптация геологической среды к заданным эксплуатационным параметрам природно-техногенной системы. Данный этап включает период многолетнего понижения уровня в озере и периоды эксплуатации водоема со значительной амплитудой колебания воды в резервуаре. Выделены годы высокого положения и годы с низким положением уровня. Именно колебание уровня определяло параметры динамики экзогенных процессов и скорость переработки береговых склонов на данном этапе. В ходе данного этапа были определены участки берега с проявлением наибольших абразионных размывов, проявления оползней, которые приурочены к местам с особыми геолого-литологическими, геоморфологическими и геокриологическими условиями береговой зоны. Третий этап (1995–2014 гг.) характеризуется относительной стабилизацией абразионного процесса в береговой зоне озера Байкал, что связано с положением уровня воды

озера на низких отметках и форсированием его изменения в пределах одного метра. В настоящее время береговая зона озера Байкал вступила в следующий цикл эволюционного развития, последние годы (с 2014 г.) характеризовались низкими положениями уровня. Далее принято решение о технической возможности форсировать уровни воды в озере в пределах 2,31 м до 2020 г. С учетом структурно-тектонического строения, геологии, параметров уклонов берегового склона, развития экзогенных геологических процессов в береговой зоне составлена электронная карта типов байкальских берегов масштаба 1:2 500 000 (рис. 6).

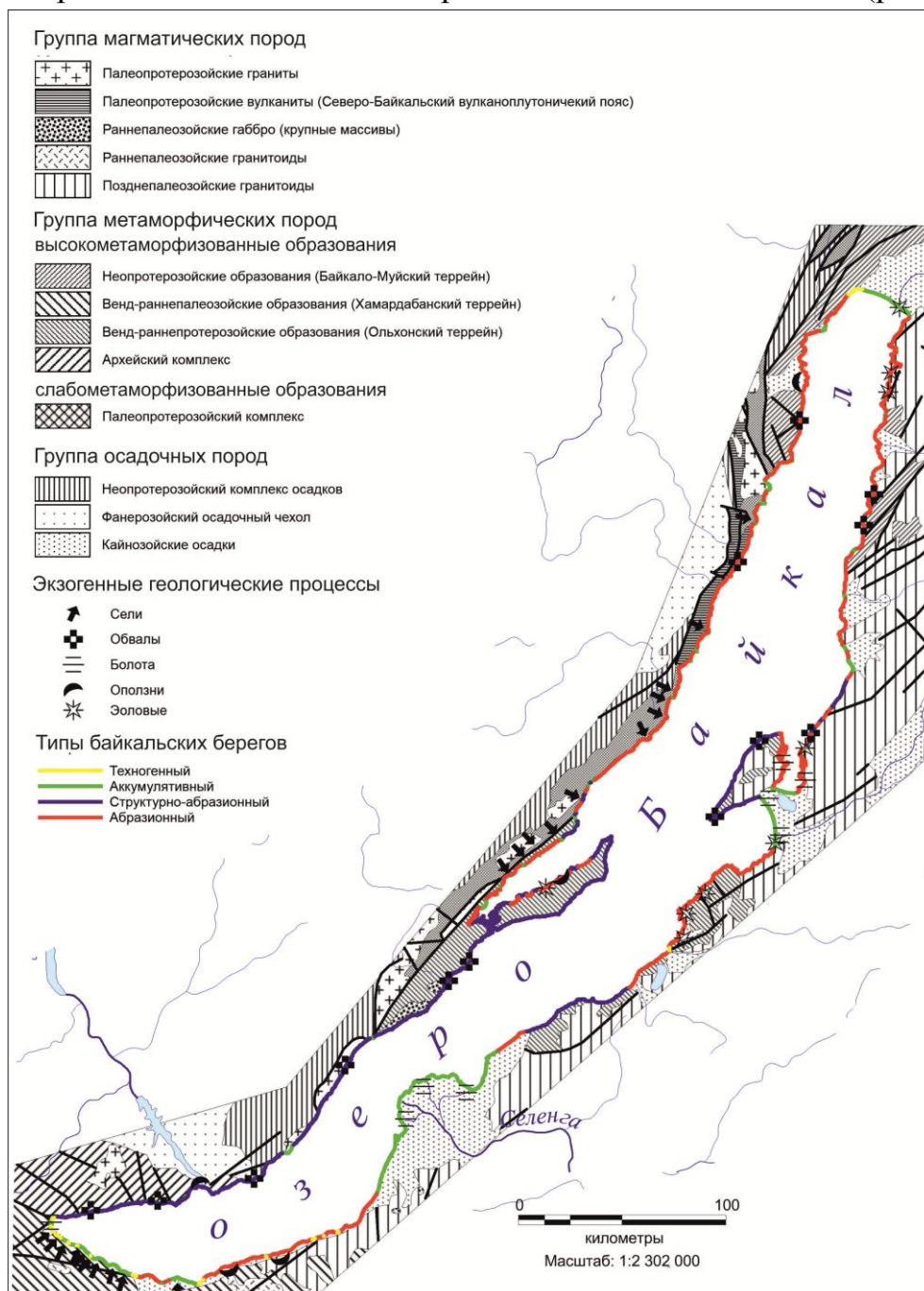


Рисунок 6. Карта типов берегов озера Байкал (составили Е.А. Козырева, А.А. Рыбченко).

Общая протяженность береговой линии озера составила 2 074,18 км, из них структурно-абразионных 717,95 км (34,6 %), абразионных 906,28 км (43,7 %),

аккумулятивных 421,78 км (20,3 %), техногенных 28,16 (1,4 % от общей протяженности берега).

#### **Глава 4. Алмазное месторождение (на примере кимберлитовой трубки Нюрбинской)**

Трубка Нюрбинская расположена на севере региона, в условиях сплошного распространения многолетнемерзлых пород. Месторождение приурочено к пересечению разноориентированных глубинных разломов Вилюйско-Мархинской зоны и локализовано в узле пересечения разломных зон субширотного, север-северо-восточного и северо-восточного направлений [Кошкарев и др., 2011]. В геологическом строении участка месторождения принимают участие верхнекембрийские и ордовикские терригенные, терригенно-карбонатные породы, являющиеся вмещающими для кимберлитовых трубок. Перекрывающие породы сложены триасовыми (дяхтарская толща), нижнеюрскими (орухтаская, тюнгская и сунтарская свиты) и среднеюрскими (якутская свита) терригенными отложениями. Общая мощность перекрывающих мезозойских пород колеблется от 56 до 102 м над трубкой Нюрбинской. В разрез перекрывающие породы представлены переслаиванием алевролитов, известняков, доломитов с подчиненным количеством песчаников, мергелей и аргиллитов (по данным Нюрбинского ГОКа). Вмещающая толща кимберлитовой трубки Нюрбинской характеризуется неравномерной и разноориентированной трещиноватостью, с повышенной плотностью (до 20–30 трещин на 1 пог.м) в околотрубочном пространстве по всем без исключения разностям.

В результате разработки месторождения карьерным способом на конструктивных элементах бортах карьера развиваются экзогенные геологические процессы. **Обвалы, осыпи.** В пределах вновь сформированных конструктивных элементов карьера происходит протаивание мерзлых пород, вскрытых бортами карьера, вытаивание льдистых включений, активное проникновение агентов выветривания в глубь массива и активно проявляются гравитационные процессы. При обследовании 2013 года осыпи на отдельных участках 220-го горизонта борта карьера перекрывали на 1/3 высоту откоса, а в дальнейшем высота осыпей выросла до 2/3 откоса. К обследованию 2018 года на юго-восточном сегменте борта карьера осыпи трех уступов горизонтов +200, +205 и +190-го горизонтов превратились в единую крупную осыпь. **Эрозия.** При проникновении в карьер поверхностных вод локально развиваются эрозионные процессы, формируя эрозионные промоины, борозды, конусы выноса тонкодисперсного материала. Поступающий с верхних горизонтов карьера поверхностный водный поток приводит к переувлажнению уступов карьера на нескольких горизонтах. Пик активности эрозионного процесса приходится на период снеготаяния и выпадения интенсивных жидких осадков – весну и первую декаду лета. **Оползни.** Активное проявление поверхностных оползней отмечено в северной части борта карьера. Дополнительное увлажнение

горных пород (аргиллиты, алевролиты и глины кор выветривания) приводит к развитию поверхностных оползневых смещений. Площадь оползневых деформаций на период 2018 года составила 1154 м<sup>2</sup>, объем сместившихся масс грунта – 1731 м<sup>3</sup>, отступление по поверхности бермы достигло 7 м. Наибольшую опасность для целостности борта карьера представляют глубокие оползни блочного типа. Подготовка смещений массы грунта крупных оползней занимает достаточно длительное время, а само смещение может стать катастрофическим событием. При формировании глубоких оползней в верхней части борта карьера в смещение могут быть вовлечены горные породы объемом свыше 1 млн м<sup>3</sup>.

**Температурное состояние грунтов (результаты геокриологического мониторинга).** Температурный мониторинг горного массива бортов карьера осуществлялся по четырем наблюдательным скважинам: ИГС-20, ИГС-21, ИГС-28 и ИГС-30. В результате анализа данных температурного режима многолетнемерзлых пород в районе месторождения (2014–2017 гг.) установлено, что мощность сезонного слоя промерзания – протаивания на площадке работ достигает более 2 м. Ниже горные породы остаются мерзлыми с температурой в интервале от –2 до –1 °С. По результатам наблюдений в термометрических скважинах не выявлены аномальные зоны растепления горной породы.

Анализ этапов эволюционного преобразования геологической среды месторождения (**циклы наблюдений 2014, 2015, 2016 и 2017 гг.**) показал высокую динамичность компонентов природно-технической системы, смену ситуационных состояний геологической среды от сезона к сезону. При анализе карт-схем плотности форм проявления экзогенных геологических процессов, например за 2016 год выявлено, что произошло повышение плотности форм деформаций конструктивных элементов борта в восточной части карьера в конце цикла наблюдений (рис. 7).

В зоне расположения структурно-тектонических неоднородностей плотность форм экзогенных процессов увеличилась и проявилась ярче, так на +175-м горизонте (увеличение форм в одном сегменте с 1–4 форм до 12–20 форм). +220-й горизонт сохранил идентичное состояние с весны до осени. Такие пространственно-временные закономерности развития экзогенных процессов на фоне структурно-тектонического рисунка участка связаны с накоплением деформаций в массиве горных пород за теплый период и с дополнительным увлажнением поверхностными водами. Повышенная плотность проявления форм экзогенных процессов в большей степени совпадает со структурно-тектоническими зонами дробления, как наиболее ослабленными зонами горных пород. Из сезона в сезон прослеживается подобная закономерность территориального наложения плотности форм и зон дробления – тектонической трещиноватости. В то же время влажностной режим горных пород от сезона к сезону меняет степень активности экзогенных процессов по периметру карьера. Устойчивость откосов карьеров зависит от естественных факторов –

геолого-литологического, структурно-тектонического, экзогенного (гипергенного) и мерзлотно-гидрогеологического.

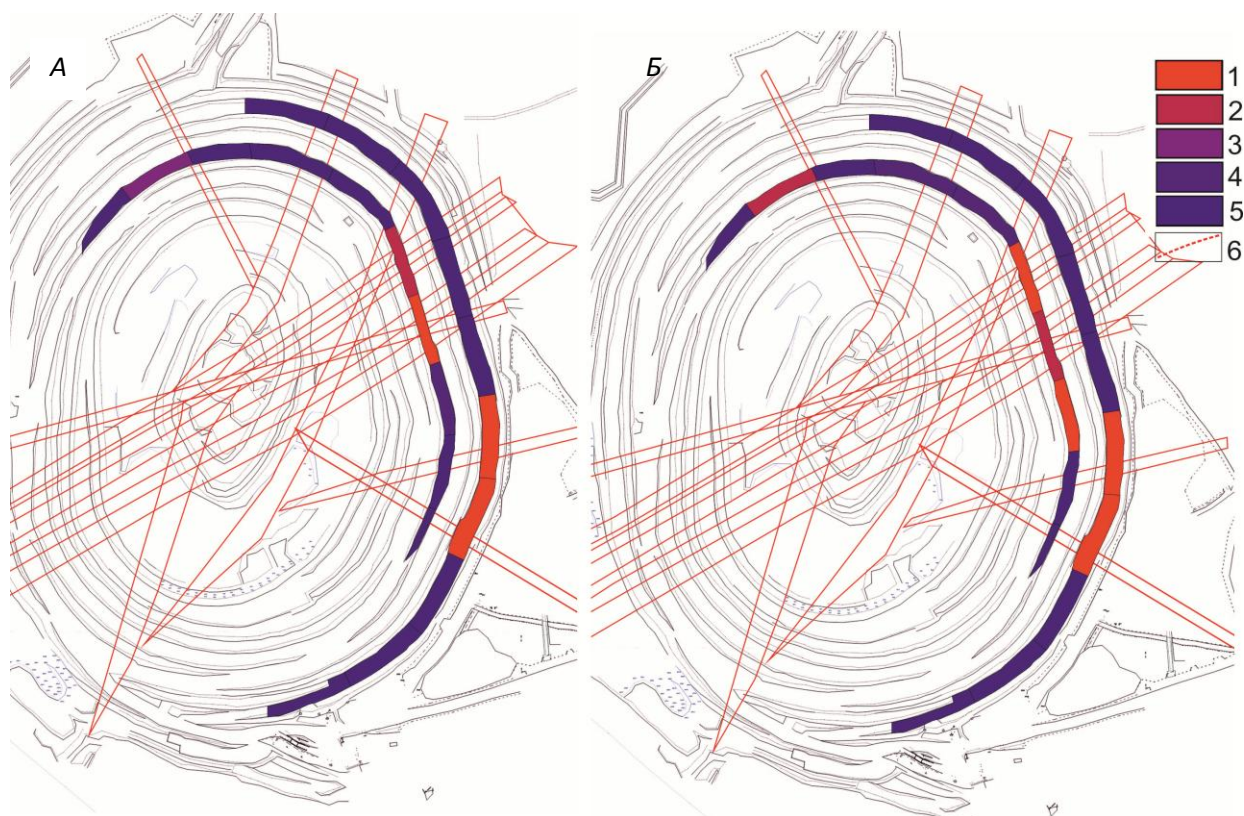


Рисунок 7. Сопоставление карт-схем плотности форм экзогенных геологических процессов +220, +175-ого горизонтов карьера Нюрбинский по циклам наблюдений 2016 г.: А – июнь; Б – сентябрь. Количество форм на сегмент: 1 – 12–20; 2 – 8–12; 3 – 4–8; 4 – 1–4; 5 – 0–1; 6 – разломные зоны.

Литологический и структурно-тектонический факторы являются основополагающими факторами устойчивости откосов. Показатели этих факторов практически не изменяются во времени и пространстве при разработке карьера. Структурно-тектонический фактор зависит от раздробленности горного массива разрывными нарушениями разного порядка, ориентации разломов и делимости породного массива на блоки. Экзогенный и мерзлотно-гидрогеологический факторы – факторы, влияние которых ослабляют устойчивость откосов, в отличие от литологического и структурно-тектонического факторов, являются быстро меняющимися и соответственно нуждаются в постоянном контроле. По результатам инженерно-геологического мониторинга состояния конструктивных элементов карьера, температурного режима грунтов, с учетом анализа ситуационных экзогеодинамических карт-схем распространения экзогенных геологических процессов и карт-схем плотности форм экзогенных геологических процессов по периметру карьера, выполнено инженерно-геологическое районирование бортов карьера по состоянию геологической среды месторождения: устойчивого, предельного равновесия, неустойчивого состояния (рис. 8).

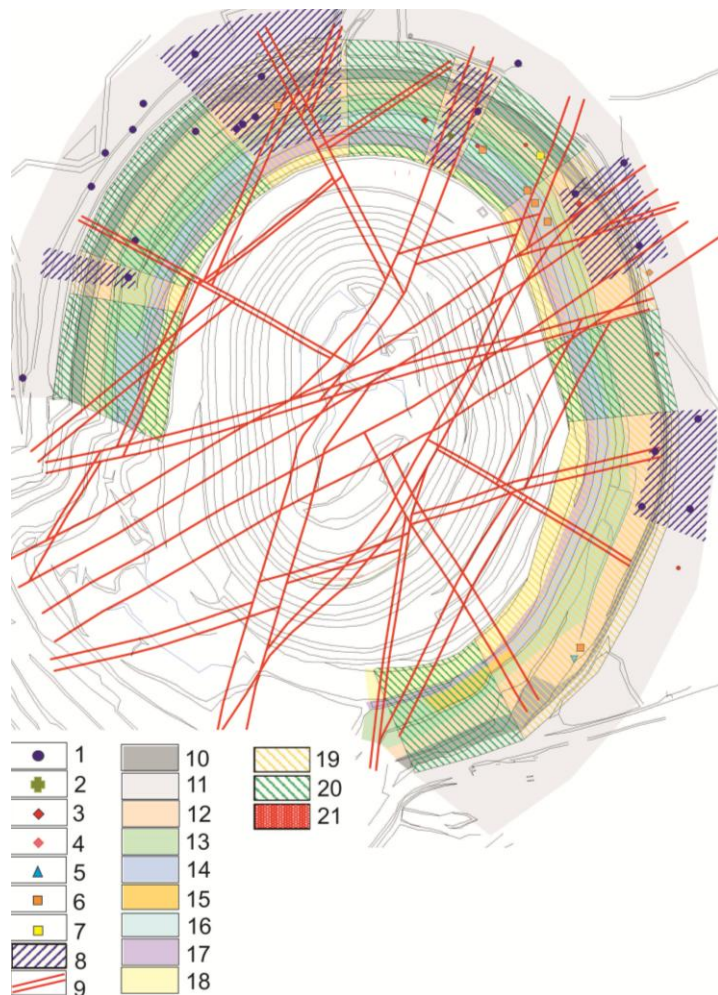


Рисунок 8. Инженерно-геологическое районирование верхних горизонтов бортов карьера «Нюрбинский» по состоянию геологической среды месторождения.

1 – разгрузка подземных вод; 2 – оползень; 3 – просадка; 4 – трещина; 5 – эрозия; 6 – обвал; 7 – осыпь; 8 – область увлажнения горных пород; 9 – зоны структурно-тектонической неоднородности. Геология: 10 – маломощные суглинки, супеси; 11 – алевролиты сунтарской свиты ( $J_1 sn^4$ ); 12 – алевролиты сунтарской свиты ( $J_1 sn^{2-3}$ ); 13 – аргиллиты сунтарской свиты ( $J_1 sn^1$ ); 14 – алевролиты, песчаники тюнской свиты ( $J_1 tn$ ); 15 – алевролиты укугутской свиты ( $J_1 uk^2$ ); 16 – алевролиты укугутской свиты ( $J_1 uk^1$ ); 17 – глины, алевролиты дяхтарской свиты ( $T_3-J_1 dh$ ); 18 – древесноволокнистый материал кор выветривания ( $T_{2-3}$ ). Инженерно-геологические районы состояния геологической среды: 19 – стабильного состояния, 20 – предельного равновесия, 21 – нестабильного состояния.

## Глава 5. Городская территория (на примере Улан-Баторской агломерации)

Город Улан-Батор – занимает площадь  $4704 \text{ км}^2$ , на которой проживает около 1 300 000 человек. Территория самого крупного города в регионе, расположена в Центрально-Хэнтэйской горно-складчатой области. Земли агломерации размещаются в межгорной впадине, занимая долинные комплексы р. Туул, ее крупных притоков и территории горного обрамления.

Климат территории резко континентальный. Количество осадков в среднем – 200–300 мм в год, но их распределение неравномерно как по площади, так и по сезонам года. На территорию проникают циклоны и дождевые фронты, сопровождающиеся аномально высокими значениями интенсивности и продолжительности атмосферных осадков. Проведенный анализ климатического фактора показал, что суточный максимум жидких осадков может достигать от 50 до 91 мм в сутки, что соответствует ливням и ливне-дождям высокой интенсивности. В то же время могут возникать периоды затяжных дождей продолжительностью 10–21 день с осадками не менее 10 мм в сутки, достигая 227 мм в месяц. Такое распределение дождевых осадков приводит к формированию временных водных потоков паводочного характера на локальной территории и формированию катастрофических экзогенных геологических процессов. На территории Улан-



Баторской агломерации по историческим и опубликованным данным зафиксированы чрезвычайные ситуации, возникшие в результате прохождения паводка, формирования водных потоков, селей и нанесшие значительный экономический ущерб, – 1778, 1915, 1966, 1982, 2000, 2003, 2004, 2009, 2015, 2016 гг.

В геологическом строении территории принимают участие магматические, метаморфические палеозойско-мезозойские комплексы горных пород и слабо сцементированные осадочные отложения кайнозоя. Горные сооружения с превышениями до 2000 м структурно-тектонического происхождения имеют современное денудационно-эрозионное развитие, что во многом предопределяет развитие склоновых экзогенных геологических процессов. На территории города эрозионные процессы имеют широкое распространение, повсеместно встречаются следы прохождения временных водных потоков. Почти каждый элементарный водосборный бассейн сохраняет активное эрозионное русло со следами периодического обновления форм. Мониторинговые работы в черте города показали неослабевающую динамику эрозионного процесса (рис. 9).

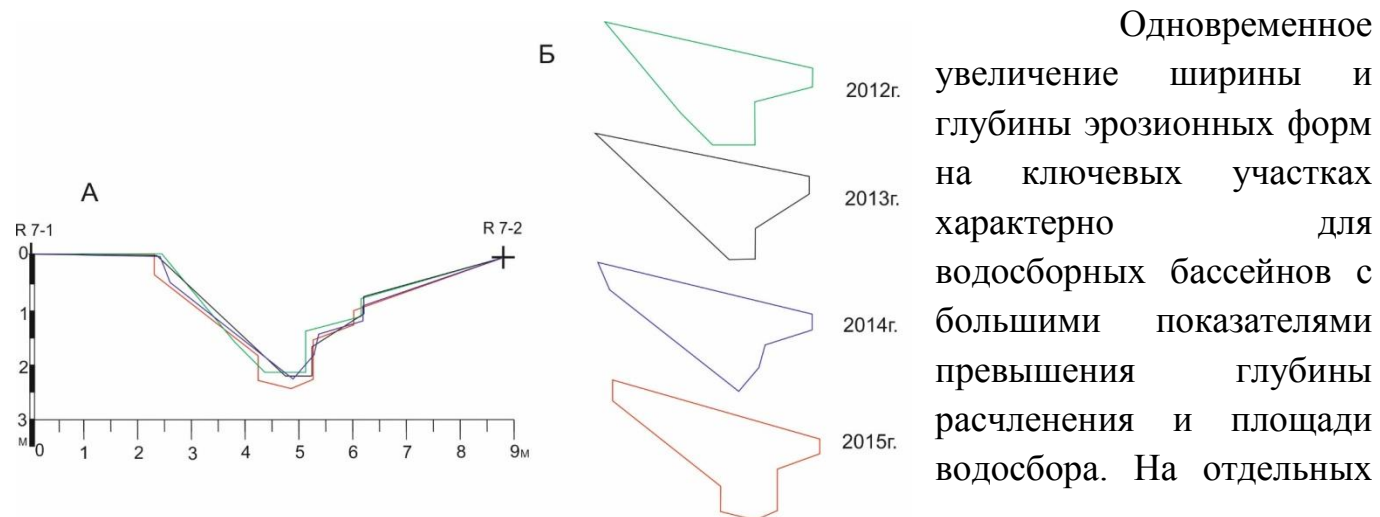


Рисунок 9. Профиль оврага: А – разновременные поперечные профили эрозионной формы; Б – изменение контуров и площадей створа эрозионной формы на участке Mng PR-7 за период 2012–2015 гг.

Одновременное увеличение ширины и глубины эрозионных форм на ключевых участках характерно для водосборных бассейнов с большими показателями превышения глубины расчленения и площади водосбора. На отдельных участках зафиксирована величина бокового приращения до 0,46

м/год. Величина линейного приращения оврагов составила максимально 1 м в год, не превысив эту цифру за весь период наблюдений (5 лет). Средний рост эрозионных форм в пределах агломерации составил 0,16 м в год.

Сочетание геологических и геоморфологических условий водосборных бассейнов оказывает определяющее влияние на формирование катастрофических экзогенных геологических процессов, вызванных временными водными потоками. Особенностью кайнозойских отложений, слагающих водоразделы и склоны, является преобладание крупнообломочных грунтов, в верхней части разреза которых залегают облессованные пески и лессовидные супеси. Мощность рыхлых отложений на склонах достигает 30 м, на высоких пойменных и надпойменных участках – 50 м [Рященко, 2011]. Грунтовые толщи обладают определённой физико-

химической активностью и предрасположены к эрозионному размыву, деформациям (набухаемость, пльвунность), что способствует вовлечению их в водный поток. Морфометрические факторы территории характеризуются особенностями распределения дренажной сети, рельефа и формы водосборных бассейнов. Для каждой группы морфометрических факторов по 305 водосборным бассейнам определены измеренные и расчетные количественные показатели. Составлена электронная база данных морфометрических параметров водосборных бассейнов Улан-Баторской агломерации [Рыбченко и др., 2017]. Расчетные и измеренные морфометрические показатели легли в основу построения комплекта аналитических карт, отражающих частоту водотоков, густоту дренажа, коэффициент рельефа, коэффициент Мелтона, коэффициент формы водосбора, коэффициент вытянутости. Аналитические карты демонстрируют особенности морфометрических условий территории города, которые способствуют формированию быстротекущих катастрофических процессов, связанных с прохождением паводочного стока в период ливневых осадков, как затяжных, так и кратковременных.

На основе обобщения данных о реальных катастрофических событиях, связанных с прохождением катастрофических водных потоков по конкретным водосборам территории города, были выделены 17 водосборных бассейнов и детально проанализированы их морфометрические показатели. Выделенные водосборы обладают определенным сочетанием количественных показателей морфометрии водосборов, которые способствуют формированию катастрофических процессов и рассматривались как эталонные. Данный диапазон значений принят как интервал показателей, при сочетании которых возможно формирование катастрофических событий в пределах оцениваемого водосбора. Каждому отдельному показателю оцениваемого водосбора, значения которого попадают в указанный диапазон, присваивался один оценочный балл. Показатели, значения которых не попадают в эталонный диапазон, принимаются как показатели, недостаточные и не способствующие формированию катастрофических процессов, связанных с ливневыми осадками в локальном водосборе, и им присваивается ноль баллов. Для определения степени предрасположенности к формированию катастрофических процессов на территории Улан-Баторской агломерации выполнен статистический анализ и сравнительная оценка таких морфометрических параметров оцениваемого и эталонного водосбора, как частота водотоков, густота дренажа, коэффициент рельефа, коэффициент Мелтона, коэффициент формы водосбора, коэффициент вытянутости. Оценка предрасположенности бассейна к формированию катастрофических процессов, вызванных интенсивными ливневыми осадками, выполнена путем комплексирования всех расчетных морфометрических показателей. Построена электронная аналитическая карта районирования территории Улан-Баторской агломерации по степени предрасположенности морфометрических условий к формированию катастрофических процессов

ливневого генезиса (рис. 10), на которой в результате количественной оценки морфометрических показателей выделены районы высокой, средней и низкой степени. Наибольшая степень предрасположенности к формированию катастрофических процессов паводочного генезиса характерна для коротких водосборов с большими превышениями. Районы с наибольшей степенью предрасположенности к формированию катастрофических процессов находятся по правому склону р. Туул и в западной части города по левому склону р. Тургэнийн, занимая 19,3 % от общей территории. Районы со средней степенью предрасположенности занимают большую часть левого и центральную часть правого склона р. Туул – 52,1 % от общей территории агломерации. Районы, в которых отмечена низкая степень предрасположенности и отсутствуют морфометрические условия, способствующие развитию катастрофических экзогенных процессов, связанных с паводочным стоком, соответствуют мелким бессточным бассейнам и бассейнам рек Холыйн, Налайхин, Элот в восточной части городской территории, занимая 28,5 % от общей оцениваемой площади городской агломерации.

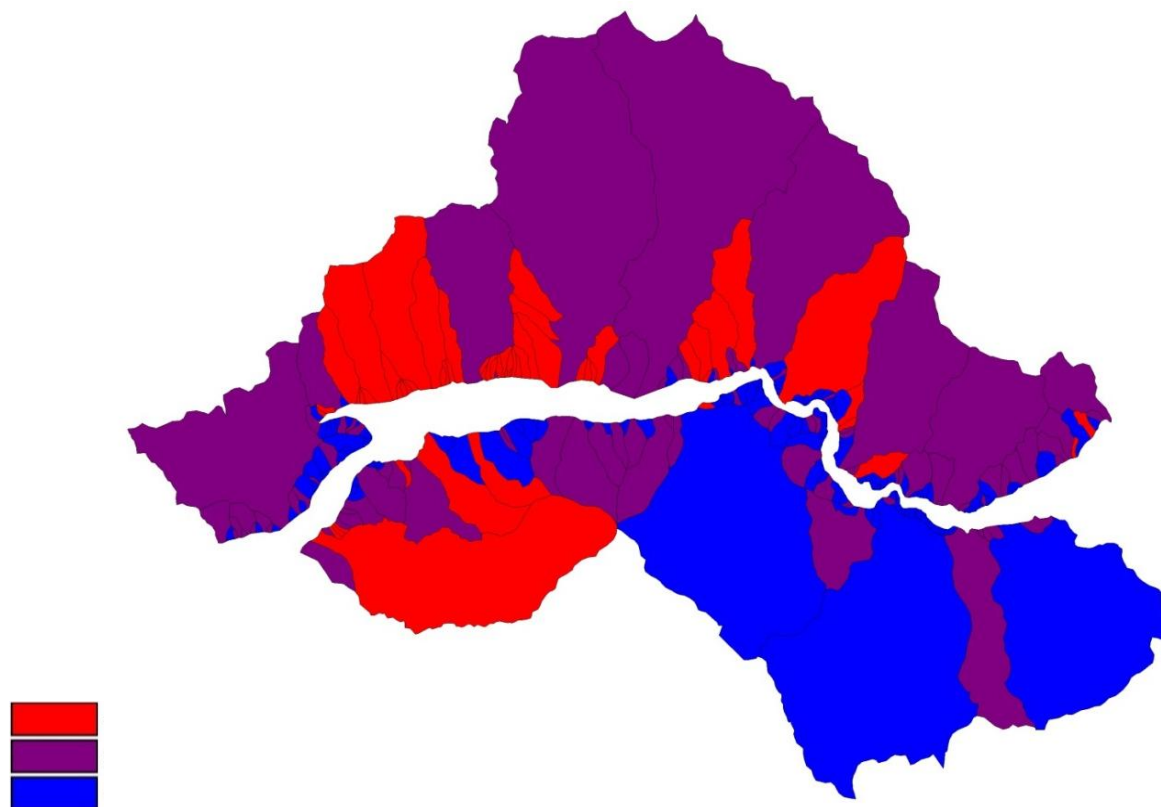


Рисунок 10. Карта районирования территории Улан-Баторской агломерации по степени предрасположенности водосборных бассейнов к формированию катастрофических процессов, связанных с дождевыми паводками.

Электронная карта составлена с использованием ГИС-программ, на топографической основе масштаба 1: 100 000 и может быть дополнена уточняющей инженерно-геологической информацией; с электронной карты по запросу могут быть получены специальные карты более крупного масштаба.

## Глава 6. Экзогеодинамическая безопасность геологической среды

Монголо-Сибирский регион – это динамично развивающиеся в социально-экономическом и хозяйственном отношении территории. К настоящему времени городские территории и промышленные центры, транспортные коридоры и технические водные объекты представляют собой сложные сети природно-технических систем, в которых на ограниченном пространстве взаимодействуют компоненты геологической среды и разнообразные техногенные факторы. В последние годы при реализации проектов по добыче углеводородов построены протяженные газонефтепроводы [Леви и др., 2006]. Совместно с железнодорожными линиями, автотрассами региона они представляют собой единую систему линейных сооружений. В относительно узких коридорах сформировалась зона влияния линейного технического объекта, ограничивающаяся областью распределения напряжений от веса сооружения, степенью преобразования вмещающих горных пород, а также пространственным воздействием динамических нагрузок на геологическую среду, развитием экзогенных геологических процессов [Лалердин, 2003; Тржцинский и др., 2004]. В пределах линейных сооружений преобладают техногенные нагрузки динамического характера, на фоне статических нагрузок от полотна трасс и опор отмечается развитие и проявление экзогенных геологических процессов [Козырева и др., 2006; 2007]. В Монголо-Сибирском регионе традиционно ведется добыча полезных ископаемых. В пределах Ангарской железорудной провинции насчитывается более 30 месторождений и рудопроявлений, что в результате разработки месторождений вызывает значительные изменения компонентов геологической среды. Зона влияния Коршуновского месторождения определяется размерами депрессионной воронки, радиус которой составил 6–7 км [Писарский и др., 1987]. В местах добычи россыпного золота как в Монголии, так и на территории Сибири отмечено перемещение значительных объёмов горной породы, происходит нарушение природного состояния компонентов геологической среды – техногенные преобразования русел рек, снижение уровня грунтовых вод, активизация экзогенных геологических процессов [Абалаков, Базарова, 2017]. Наиболее значимые преобразования компонентов геологической среды в регионе происходят в результате деятельности крупных горнодобывающих предприятий, где разработка сопровождается формированием глубоких карьеров, отвалов вскрышных пород, прокладкой транспортных путей. Производственная деятельность при добыче полезных ископаемых в плане отрицательного воздействия на геологическую среду характеризуется, прежде всего, нарушением морфометрических параметров поверхности земли и изменением напряженного состояния грунтов, развитием негативных экзогенных геологических процессов [Тржцинский и др., 2005].

В результате создания каскада ангарских водохранилищ увеличилась полоса с тесной взаимосвязью поверхностных и подземных вод, что связано с обводнением

интенсивно трещиноватой зоны выветривания и закарстованных пород бывшей зоны аэрации [Шенькман, 1993]. За период эксплуатации водохранилищ уровень подземных вод с различной степенью запаздывания повторяет изменения уровня водохранилищ [Павлов, 1983]. Обводненность горных пород приводит к повышению влажности, что в зоне подпора ведет к уменьшению содержания водорастворимых солей, разрушению пылеватых и формированию более крупных песчаных агрегатов в грунтах, развитию просадочности или набухаемости, общей деформации [Рященко и др., 2014]. Иногда более чем в 2,5–3,0 раза происходит уменьшение показателя уплотненности при обводнении, повышается способность к развитию пластических деформаций [Демьянович, 1976, 1993]. Ширина зоны влияния меняется в достаточно широких пределах в зависимости от особенностей залегания, распространения, фильтрационных свойств, степени анизотропности пород. Для Иркутского водохранилища ширина зоны влияния определена от 0,2–0,4 до 2–3 км, Братского – от 0,3–0,5 до 25 км, Усть-Илимского – до 4–6 км [Шенькман, 1993; Овчинников и др., 1999]. Геологическая среда при наполнении водохранилищ испытывает давление воды на ложе водоема. В дальнейшем при эксплуатации водоема формируется динамический тип техногенной нагрузки вследствие эксплуатационных колебаний уровня воды с регулярной перестройкой всех компонентов системы вслед за положением уровня, изменением состояния и свойств вмещающих горных пород при обводнении и осушении [Тржцинский и др., 2007].

Сельскохозяйственное использование земель региона затрагивает верхнюю часть геологического разреза, и основные преобразования геологической среды связаны с развитием эрозионно-денудационных процессов, истощением почв и химическим загрязнением [Писарский, 1993; Рыжов, 2015]. Процессы денудации чувствительны к изменению климатических факторов и техногенным нагрузкам, что отражается в динамике экзогенного рельефообразования с конца XX столетия [Баженова, 2011]. Территории сельских поселений по характеру воздействия имеют комбинированные виды статических и динамических техногенных нагрузок.

В Монголо-Сибирском регионе благодаря наличию уникальных природных объектов сформирован особый тип техногенной нагрузки – рекреационное использование территорий. Развитие рекреационной сферы услуг позволяет включить объекты природно-исторического наследия региона в систему экономических ценностей России [С.В. Рященко и др., 2008]. Этот особый вид использования природного потенциала геологической среды применяется в последние годы достаточно широко для удовлетворения потребностей человека в отдыхе и туризме, общении с природой. В подобных природно-технических системах следует максимально сохранять в неизменном виде компоненты природной среды и привносить минимум техногенного воздействия.

За 300-летний период техногенеза на территории Монголо-Сибирского региона сложилась определенная техногенная нагрузка на геологическую среду. На основе анализа видов использования природного потенциала региона, характера техногенной нагрузки на геологическую среду, обобщения результатов исследований предыдущих этапов эксплуатации технических объектов, анализа фондовых и опубликованных материалов предшественников, собственных многолетних исследований инженерно-геологических условий Восточной Сибири и Монголии выделено шесть основных типов природно-технических систем в регионе: месторождения полезных ископаемых, гидротехнические, линейные и туристическо-рекреационные объекты, городские агломерации, сельскохозяйственные земли. Каждый выделенный тип природно-технической системы характеризует определенный вид техногенной нагрузки и особенности характера воздействия на геологическую среду. Под видом воздействия на геологическую среду понимается весь комплекс сознательно осуществляемых мероприятий, необходимых для строительства и эксплуатации технического объекта и/или направленных на улучшение природной среды. На локальном уровне воздействия техногенных факторов степень преобразования компонентов геологической среды и направленность развития систем значительно превосходят естественные факторы воздействий. В зонах влияния природно-технических систем развитие экзогенных геологических процессов происходит в большей степени под влиянием техногенных факторов, формируются современные экзогеодинамические обстановки.

Накопившийся опыт эксплуатации природно-технических систем подсказывает, что на этапе современного развития общества акцент должен быть сделан на рациональном и безопасном использовании геологических ресурсов региона. Детальный анализ этапов развития ключевых природно-технических систем в регионе, рассмотрение экзогеодинамических обстановок, установление закономерностей и динамики развития экзогенных геологических процессов, несмотря на специфику и различия природно-технических систем при инженерно-геологических исследованиях, позволяют применить несколько единых принципов для обеспечения экзогеодинамической безопасности геологической среды. Предложенные принципы применимы для всех этапов хозяйственной деятельности – от предпроектного этапа исследований на вновь осваиваемых территориях до этапа длительной эксплуатации существующих технических объектов и не противоречат существующим законодательным актам.

**1-й принцип. Идентификация природной опасности** – процедура установления принципиальной возможности и условий образования опасного/катастрофического природного или природно-техногенного процесса в пределах определенной территории, определения его площадей и частоты (скорости) проявления, генезиса, истории, закономерностей и негативных

последствий [Природные опасности России, 2003]. Руководствуясь этим принципом, необходимо выполнить анализ структурно-тектонических условий, палеогеологических обстановок, пространственного положения инженерно-геологических формаций данной территории, экзогеодинамической истории развития территории и амплитуд тектонических движений в прошлом и современных движений земной коры, климатических особенностей. Важно понять природную предрасположенность к развитию экзогенных опасностей, эпизоды развития катастрофических процессов в прошлом. Необходим сбор и систематизация информации о геологической среде и существующих техногенных нагрузках.

В результате реализации этапа по идентификации природной/природно-техногенной опасности нужно понять исходный природный потенциал территории и оценить существующие/планируемые техногенные нагрузки, которые способны либо усилить природные особенности, либо сформировать техногенные аналоги экзогенных процессов. Завершением этапа идентификации опасности станет оценка геологических условий, исходного состояния геологической среды и выработка рекомендаций по дальнейшему плану исследований территории и организации работ.

**2-й принцип. Мониторинг геологической среды** – система постоянных наблюдений, предназначенная для оценки современного состояния, построения прогноза и, в конечном счете, управления природно-технической системой [Голодковская, Елисеев 1989; Королев, 2007; Осипов, 2013]. Мониторинг (и/или использование данных мониторинга) позволяет получить данные по динамике отдельных компонентов геологической среды: гидрогеологических, геокриологических, экзогеодинамических, составить базу данных о режиме функционирования системы на современном этапе эксплуатации. Изменения состояния геологической среды в пределах природно-технических систем происходят достаточно быстро и требуют непрерывного наблюдения за состоянием геологической среды и систематического контроля ситуации на принципах мониторинга. Мониторинг геологической среды направлен на контроль изменений параметров геологической среды, выявление современной динамики экзогенных геологических процессов и является важным научно-практическим аспектом в обеспечении безопасности объекта, сооружения, системы.

Полученные в ходе мониторинга данные по динамике региональных экзогенных процессов имеют долгосрочное применение. Высокая точность и репрезентативность рядов данных о развитии отдельных экзогенных геологических процессов в регионе используются для анализа текущей ситуации по запросам и построения разноуровневых и разновременных прогнозов. Результаты мониторинговых работ, на тех объектах, где они организованы и ведется их обработка и научное обобщение, обеспечивают информацией процесс управления

природно-техническими системами. На предприятиях, на которых организован мониторинг и научно-аналитическая обработка полученной информации, осуществляется своевременное управление состоянием системы, что повышает устойчивость системы и обеспечивает безопасность работы предприятия. Принятие обоснованных управленческих решений необходимо осуществлять на основе постоянных наблюдений и верификации с результатами региональных данных по динамике процесса.

**3-й принцип. Анализ эволюционных преобразований геологической среды.** Применение принципа анализа эволюционных преобразований геологической среды направлено на рассмотрение большого количества полученного фактического материала, обобщение и дальнейший системный подход к оценке состояния геологической среды, с тем чтобы понять «что было и что стало» с компонентами геологической среды природной или природно-технической системы в современных условиях. На данном этапе следует провести построение различных картографических моделей, выполнить районирование территории, провести расчеты опасности процессов и прогнозные построения, что, в конечном счете, покажет варианты возможного развития геологической среды в условиях техногенных нагрузок. В зависимости от поставленных задач и хозяйственных этапов следует выявить количественные показатели экзогеодинамического потенциала территории: активизацию экзогенных процессов, пораженность территории экзогенными геологическими процессами, провести расчеты опасности экзогенных геологических процессов и по возможности выполнить оценку геологического риска для хозяйственных объектов. Принцип рассмотрения и учета

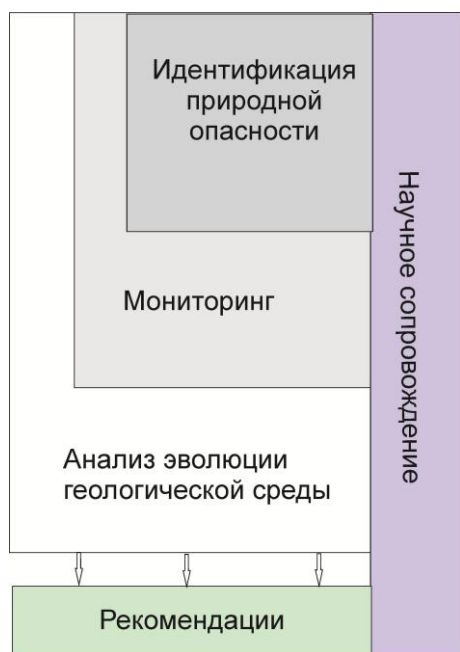


Рисунок 11. Принципы обеспечения экологической безопасности геологической среды.

эволюционных преобразований геологической среды природной или природно-технической системы – важный аспект современного взгляда на анализ состояния геологического пространства. Без анализа этапов эволюционных преобразований геологической среды, как природного генезиса, так и техногенного, в настоящее время невозможно уже оценить текущее состояние, понять динамику процессов, их характер, набор процессообразующих факторов и составить прогнозные представления о дальнейшем развитии геосистемы. Каждый из представленных принципов – это не отдельный блок работ, а комплексный подход к работам, которые выполняются на определенном этапе хозяйственного освоения или использования (рис. 11).

Эти взаимодополняющие и взаимосвязанные принципы предполагают последовательное решение



ряда вопросов, нацеленных на обеспечение экзогеодинамической безопасности геологической среды. Предлагается более широкое применение научного сопровождения при выполнении строительно-изыскательских работ, проектов или ведении производственных работ. Использование научного сопровождения при реализации проектов по оценке состояния природных и природно-технических систем увеличивает проработанность проектов, обоснованность разрабатываемых рекомендаций, принятие взвешенных управленческих решений. Представленные принципы обеспечения экзогеодинамической безопасности в конечном итоге приводят к выработке рекомендаций по предотвращению развития катастрофических экзогенных геологических процессов, которые способны нанести ощутимый экономический и социальный ущерб. На основе предложенных принципов исследования геологической среды региона формируется новый экологический подход к безопасному использованию природных ресурсов и сохранению экологических функций литосферы.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Основные результаты, отражающие научную значимость исследований, сводятся к следующим.

1. Переработка береговых склонов на протяжении всего периода эксплуатации долинных водохранилищ сезонного и многолетнего регулирования сохраняет высокую степень активности. Максимальные абразионные размывы приурочены к участкам, сложенным рыхлыми суглинисто-супесчаными отложениями, облессованными суглинками и супесями различного генезиса. На берегах водохранилищ отмечена активизация унаследованных оползней и возникновение свежих оползневых деформаций на ранее не деформируемых участках. В результате мониторинга установлено, что динамика оползневых смещений составила 1,7–3,0 см/год, что превышает величину смещений блочных оползней в естественных условиях. На юге Братского водохранилища выделены участки активного проявления сульфатного карста. Зафиксированные на дневной поверхности формы имеют коррозионно-гравитационный и карстово-эрозионный генезис. Периоды всплеска карстовой активности отмечены в 2003, 2009 и 2011 гг., что тесно связано с периодами понижения уровня воды в водоеме, а современная активность карстового процесса соответствует 14 новым карстовым формам за 15 лет.

2. Естественное развитие береговой зоны озера Байкал происходило на протяжении миллионов лет, протекая в особых сеймотектонических и геологических условиях Байкальского региона со значительной амплитудой колебаний палеоуровней воды в водоеме. Длительная геологическая история естественного формирования профиля берегового склона отразилась на последующей относительно быстрой адаптации побережья к техническому регулированию уровня воды.

За период эксплуатации резервуара выделено четыре этапа смены экзогеодинамической обстановки береговой зоны озера Байкал. На основе обобщения опубликованных и фондовых материалов показано, что первый этап (1959–1974 гг.) связан с наполнением, высоким положением уровня воды и первым циклом технической эксплуатации. Второй этап (1974–1995 гг.) – активная адаптация берегов. Третий этап (1995–2014 гг.) – относительная стабилизация, что связано с фиксированным положением уровня воды в диапазоне одного метра. Четвертый этап (с 2014 г.) – текущее положение уровня (преимущественно низкое). За период эксплуатации унаследованные аккумулятивные формы подверглись интенсивным динамическим преобразованиям. Динамика абразионного процесса при прочих равных условиях контролируется уровнем режимом водоема. На основе обобщения и фактических данных составлена карта типов берегов озера Байкал М. 1:2 500 000. Основные типы берегов имеют протяженность: структурно-абразионные – 717,95 км; абразионные – 906,28 км; аккумулятивные – 421,78 км; техногенные – 28,16 км.

3. Современное состояние геологической среды алмазоносных месторождений обусловлено особенностями структурно-тектонического строения территории, литолого-геологическим и физико-механическими свойствами вмещающих и перекрывающих горных пород, а также характером техногенных нагрузок. Разработка месторождений ведется в условиях криолитозоны с температурой горных пород в диапазоне от  $-2$  до  $-1$  °С, где высокотемпературные горные породы чувствительны к дополнительным техногенным нагрузкам. Организация и проведение мониторинговых инженерно-геологических работ позволяют осуществлять контроль за состоянием геологической среды и управление системой. Устойчивость конструктивных элементов бортов карьеров при длительной эксплуатации алмазоносного месторождения определяется степенью реакции природных факторов на различные виды и масштабы техногенных воздействий.

4. Территории городских агломераций, расположенные в горных областях и межгорных впадинах, имеют выраженное современное эрозионно-денудационное развитие. Горное обрамление с превышениями до 2000 м обладает высоким показателем энергии рельефа. Геолого-геоморфологические условия в сочетании с особенностями резко континентального климата территории способствуют формированию экзогенных геологических процессов, связанных с воздействием временных водных потоков. С учетом особенностей распределения количества осадков в сезонном и многолетнем режимах, характера водосборов и дренажной сети территории, проведенный детальный морфометрический анализ показал природную предрасположенность к формированию катастрофических экзогенных процессов. На основе измеренных и расчетных морфометрических показателей построены серии электронных аналитических карт и выполнено районирование

городских территорий. В пределах городских агломераций выделены районы с низкой (28,5 % площади города), средней (52,1 %) и высокой (19,3 %) степенью предрасположенности водосборных бассейнов к формированию катастрофических процессов, связанных с ливневыми осадками.

5. На основе обобщения данных по динамике экзогенных геологических процессов при эксплуатации крупных природно-технических систем показаны основные шесть типов природно-технических систем, оказавших наиболее существенное влияние на формирование современной экзогеодинамической обстановки в Монголо-Сибирском регионе. Разработаны единые принципы обеспечения экзогеодинамической безопасности геологической среды: идентификация опасности, мониторинг или использование данных по динамике компонентов геологической среды, анализ эволюции геологической среды. Применение принципов экзогеодинамической безопасности формирует современный экологический подход к сохранению экологических функций литосферы.

6. Полученные в ходе изучения современной экзогеодинамики крупных природно-технических систем Монголо-Сибирского региона новые данные, обобщения и выявленные закономерности являются основой для дальнейшего построения теоретических моделей современной экзогеодинамики и позволяют составить более четкое представление об эволюции литосферы Земли в условиях техногенеза.

## **ОСНОВНЫЕ РАБОТЫ, ОПУБЛИКОВАННЫЕ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

### **Разделы в монографиях**

1. Хабидов А.Ш., Кусковский В.С., Жиндарев Л.А., Хайнс Д.М. и др. Берега морей и внутренних водоемов. Актуальные проблемы геологии, геоморфологии и динамики. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1999. 272 с.

2. Trzheinsky Y.B., Kozireva E.A., Tys A., Fedorovsky V.S., Sklarova O.A., Sklarov E.V.. Human impact and karst ecosystem of eastern Siberia. Guidebook for excursions.. Sosnowiec – Irkutsk: Department of Geomorphology, University of Silesia Institute of Earth's Crust, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch, 2003. 48 pp.

3. Kozyreva E., Mazaeva O., Molenda T., Rzetala M. A., Rzetala M., Trzheinsky Yu. Geomorphological processes in conditions of human impact. Lake Baikal, Southern part of the Angara valley, Silesian Upland. Sosnowiec: University of Silesia: Faculty of Earth Sciences, 2004. 102 p.

4. Тржцинский Ю.Б., Козырева Е.А., Верховин И.И. Инженерно-геологические особенности Иркутского амфитеатра. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2005. 124 с.

5. Станислав Вика, Елена Козырева, Юрий Тржцинский, Тадеуш Щипек Остров Ярки на Байкале – пример современного преобразования ландшафтов. Иркутск – Сосновец: ИЗК СО РАН, Силезского университет – факультет наук о земле, 2006. 69 с.

6. Тржцинский Ю.Б., Козырева Е.А., Мазаева О.А., Хак В.А. Современная экзогеодинамика юга Сибирского региона. Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2007. 155 с.

7. Экзогенные процессы в геологической среде. Оценка природных опасностей. Иркутск – Сосновец: Институт земной коры СО РАН, Силезский университет, Факультет наук о Земле, 2008. 107 с.

8. Jurij Trzcinski, Tadeusz Szczypek, Elena Kozyriewa, Stanislaw Wika Bajkal Wybrane problemy Geoekologiczne. Sosnowiec: Uniwersytet Slaski. Wydział Nauk o Ziemi. 2009. 48 с.

9. Szczypek T., Kozyriewa E.A., Rybczenko A.A., Chak W.A., Mazajewa O.A., Wika S. Wyspa Olchon na Bajkale. WNoZ UŚ, ISZ SO RAN: Sosnowiec – Irkuck, 2011, 54 s.

10. Szczypek T., Wika S., Snytko W.A., Chak W.A., Kozyriewa E.A. Obszary piaszczyste na Olchonie (Bajkał). WNoZ UŚ, ISZ SO RAN: Sosnowiec – Irkuck. 2012. 69 s.

11. Леви К.Г., Мирошниченко А.И., Воронин В.И., Козырева Е.А., Александрова А.К. Гелиогеодинамика: Природные аспекты глобальных солнечных минимумов. В трех томах. Т. 2, книга. 1: Иркутск: Изд-во ИГУ, 2017. 547 с.

12. Семинский К.Ж., Леви К.Г., Джурик В.И., Козырева Е.А. и др. Опасные геологические процессы и прогнозирование чрезвычайных ситуаций природного характера на территории Центральной Монголии. Иркутск: ИГУ, 2017. 325 с.

#### **Статьи в рецензируемых журналах**

1. Тржцинский Ю.Б., Козырева Е.А., Мазаева О.А. Изменение природных условий Приангарья под воздействием водохранилищ // География и природные ресурсы. 1997. № 1. С. 40–47.

2. Kuskovskii V.S., Ovchinnikov G.I., Pavlov S.Kh., Trzhtsinskii Yu.B., Orekhova E.S., Kozyreva E.A. Geologic processes on the shores of large water reservoirs of Siberia // Russian Geology and Geophysics. 1999. V. 40, №1. P. 1–16.

3. Кусковский В.С., Овчинников Г.И., Павлов С.Х., Тржцинский Ю.Б., Орехова Е.С., Козырева Е.А. Экологические изменения геологической среды под влиянием крупных водохранилищ Сибири // Сибирский экологический журнал. 2000. № 2. С. 135–148.

4. Тржцинский Ю.Б., Павлов С.Х., Козырева Е.А. Оползни в карстующихся породах Верхнего Приангарья // География и природные ресурсы. 2003. № 1. С. 87–93.

5. Тржцинский Ю.Б., Козырева Е.А. Региональная встреча рабочей группы международного проекта IGCP 448 «Корреляция мировых карстовых экосистем» // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2004. № 1. С. 92–93.

6. Мазаева О.А., Козырева Е.А., Тржцинский Ю.Б. Оценка взаимодействия процессов локальных береговых геосистем крупных водохранилищ // География и природные ресурсы. 2006. № 3. С. 81–86.

7. Тржцинский Ю.Б., Козырева Е.А., Радзиминович Я.Б. Влияние сейсмических событий на оползневые деформации берегов Братского водохранилища // Геология и геофизика. 2007. Т. 48. С. 795–797.
8. Козырева Е.А., Тржцинский Ю.Б., Мазаева О.А. Карстово-оползневые и карстово-эрозионные процессы в локальных геосистемах береговых зон Братского водохранилища // Геоморфология. 2008. № 1. С. 36–42.
9. Тржцинский Ю.Б., Козырева Е.А., Щипек Т., Вика С. Техногенез и развитие берегов северного Байкала // Геоэкология. 2008. № 2. С.158–167.
10. Trzhtsinsky Y., Kozyreva E., Rzetala M.A. The influence of man-made reservoirs of Silesia and East Siberia upon the shore evolution // Limnological Review. 2005. № 5. P. 237–243.
11. Козырева Е.А., Радзиминович Я.Б. Оползневые деформации побережья острова Ольхон и способы их изучения // Геоинформатика. 2008. № 3. С. 29–36.
12. Гутарева О.С., Козырева Е.А., Тржцинский Ю.Б. Карст в природных и техногенно измененных условиях на юге Восточной Сибири // География и природные ресурсы. 2009. № 1. С. 96–103.
13. Мазаева О.А., Хак В.А., Козырева Е.А. Оценка основных процессообразующих факторов развития экзогенных геологических процессов в локальных природно-технических геосистемах (на примере участка Быково, Братское водохранилище) // Вестник ИрГТУ. 2011. № 2. С. 41–47.
14. Козырева Е.А., Рыбченко А.А., Щипек Т., Пеллинен В.А. Солифлюкционные оползни побережья острова Ольхон // Вестник ИрГТУ. 2011. № 4. С. 41–49.
15. Козырева Е.А., Рыбченко А.А., Тарасова Ю.С., Жентала М., Ягус А. Трансформации береговых зон водохранилищ в ходе эксплуатационного периода (Южное Приангарье, Верхнесилезский регион) // Вестник ИрГТУ. 2012. № 3. С. 42–50.
16. Рыбченко А.А., Кадетова А.В., Козырева Е.А. Результаты использования трехмерных моделей при мониторинге абразионного участка «Солнечный» (Иркутское водохранилище) // Вестник ИрГТУ. 2012. № 4. С. 61–67.
17. Мазаева О.А., Хак В.А., Козырева Е.А. Эрозионно-оползневой тип взаимодействия в локальных береговых геосистемах (на примере Братского водохранилища) // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о Земле». 2012. Т. 1. С. 205–223.
18. Козырева Е.А., Рыбченко А.А., Мазаева О.А., Хак В.А., Кадетова А.В. Опасные инженерно-геологические процессы зоны влияния байкало-ангарской гидротехнической системы // ГеоРиск. 2012. № 3. С. 46–55.
19. Rahmonov O., Rzetala M.A., Rahmonov M., Kozyreva E., Jagus A., Rzetala M. The formation of soil chemistry and the development of fertility islands under plant canopies in sandy areas // J. of Chemistry and Environment. 2011. V. 15 (2). P. 823–829.

20. Khak V.A., Kozyreva E.A. Changes of geological environment under the influence of anthropogenesis (by the example of south of East Siberia, Russia) // *Zeitschrift für Geomorphologie*. 2012. V. 56 (2). P. 183–199.
21. Levi K.G., Kozyreva E.A., Zadonina N.V., Chechelitsky V.V., Gilyova N.A. Problems of induced seismicity and engineering geological protection of reservoirs of the Baikal Angara cascade // *Geodynamics & Tectonophysics*. 2013. № 4. P. 13–36.
22. Кадетова А.В., Козырева Е.А. Потенциальные природные опасности при проектировании и эксплуатации подвесной канатной дороги на горнолыжном курорте «Гора Соболиная», Южное Прибайкалье // *География и природные ресурсы*. 2013. № 1. С. 50–55.
23. Mazaeva O., Khak V., Kozyreva E. Model of erosion-landslide interaction in the context of the reservoir water level variations (East Siberia, Russia): factors, environment and mechanisms // *J. Earth System Science*. 2013. V. 122, № 6. P. 1515–1533.
24. Мазаева О.А., Хак В.А., Козырева Е.А. Мониторинг локальных береговых геосистем Братского водохранилища // *Геоморфология*. 2014. № 1. С. 75–80.
25. Козырева Е.А., Пеллинен В.А., Мазаева О.А., Хабидов А.Ш. Типы берегов острова Ольхон на озере Байкал // *Геоморфология*. 2014. № 3. С. 74–84.
26. Светлаков А.А., Козырева Е.А., Рыбченко А.А. Предварительный анализ температурного состояния грунтов острова Ольхон (по данным мониторинга) // *Вестник Иркутского технического университета*. 2014. № 4. С. 81–84.
27. Козырева Е.А. Влияние техногенеза на геологическую среду: особенности развития экзогенных геологических процессов юга Восточной Сибири // *Отечественная геология*. 2014. № 4. С. 41–50.
28. Alekseev S.V., Kozyreva E.A. Geological medium and underground hydrosphere // *Geodynamics & Tectonophysics*. 2014. № 5. P. 201–221.
29. Tyszkowski S., Kaczmarek H., Słowiński M., Kozyreva E., Brykała D., Rybchenko A., Babicheva V. Geology, permafrost, and lake level changes as factors initiating landslides on Olkhon Island (Lake Baikal, Siberia) // *Landslides*. 2015. V. 12 (3). P. 573–583.
30. Васильчук Ю.К., Алексеев С.В., Аржанников С.Г., Алексеева Л.П., Буданцева Н.А., Чижова Ю.Н., Аржанникова А.В., Васильчук А.К., Козырева Е.А., Рыбченко А.А., Светлаков А.А. Изотопный состав ледогрунтового ядра минеральных бугров пучения в долине реки Сенца, Восточный Саян // *Криосфера Земли*. 2015. Т. XIX, № 2. С. 52–66.
31. Козырева Е.А., Рыбченко А.А., Хабидов А.Ш., Фёдорова Е.А. Экзогенные геологические процессы в береговой зоне Красноярского водохранилища // *География и природные ресурсы*. 2015. № 2. С. 83–91.
32. Леви К.Г., Мирошниченко А.И., Козырева Е.А., Кадетова А.В. Модели эволюции озерных бассейнов Восточной Сибири в позднем плейстоцене и голоцене // *Известия Иркутского государственного университета*. 2015. Т. 11. С. 36–65.

33.Хименков А.Н., Власов А.Н., Сергеев Д.О., Козырева Е.А., Рыбченко А.А., Пеллинен В.А. Влияние криогенеза на развитие склоновых процессов степных территорий Прибайкалья // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология, геоэкология. 2015. № 6. С. 535–543.

34.Tyszkowski S., Kaczmarek H., Słowiński M., Kozyreva E., Brykała D., Rybchenko A., Babicheva V. Ruchy masowe na obszarze wieloletniej zmarzliny wyspowej w dobie zmian klimatu (Olchon, wschodnia Syberia) (Mass movements in an isolated area of permafrost in the era of climate change (Olkhon, East Siberia) // Przegląd Geograficzny. 2015. V. 87 (3). P. 457–476.

35.Хименков А.Н., Сергеев Д.О., Власов А.Н., Козырева Е.А., Рыбченко А.А., Светлаков А.А. Криогенные и посткриогенные образования на острове Ольхон // Криосфера Земли. 2015. Т. XIX. № 4. С. 54–63.

36.Алексеев С.В., Алексеева Л.П., Васильчук Ю.К., Козырева Е.А., Светлаков А.А., Рыбченко А.А. Бугры пучения в долине реки Сенца, Окинское плоскогорье, Восточный Саян // Успехи современного естествознания. 2016. № 3. С. 121–126.

37. Kadetova A. V., Rybchenko A. A., Kozireva E. A., Pellinen V. A. Debris flows of 28 June 2014 near the Arshan village (Siberia, Republic of Buryatia, Russia) // Landslides. 2016. V.13. Issue 1. P.129–140.

38.Мазаева О.А., Рыбченко А.А., Козырева Е.А., Пеллинен В.А., Светлаков А.А., Тарасова Ю.С. Реконструкция развития долинно-балочной системы Мамонтов-Бараний (Братское водохранилище): первые результаты // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о Земле». 2016. Т. 16. С. 67–78.

39.Kaczmarek H., Mazaeva O.A., Kozyreva E.A., Babicheva V.A., Tyszkowski S., Rybchenko A.A., Brykała D., Bartczak A., Słowiński M. Impact of large water level fluctuations on geomorphological processes and their interactions in the shore zone of a dam reservoir // J. of Great Lakes Research. 2016. V. 42 (5). P. 926–941.

40.Леви К.Г., Козырева Е.А., Мирошниченко А.И. Моделирование инженерно-геологических и погодно-климатических изменений на территории Монголии// География и природные ресурсы. 2016. № 6. С. 9–15.

41.Алексеев С.В., Алексеева Л.П., Светлаков А.А., Козырева Е.А., Васильчук Ю.К. Литология и строение бугров пучения в долине р. Сенца (Окинское плоскогорье, Восточные Саяны) // Арктика и Антарктика. 2017. № 2. С. 136–149.

42. Козырева Е.А., Бабичева В.А., Мазаева О.А. Трансформация геологической среды в зоне влияния водохранилищ Ангарского каскада ГЭС // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о Земле». 2018. Т. 25. С. 66–87.

43.Рыбченко А.А., Кадетова А.В., Козырева Е.А. Особенности формирования селей и селевая опасность Тункинских гольцов (Республика Бурятия, Россия) // ГеоРиск. 2018. Т. XII, № 3. С. 24–32.

44. Rybchenko A.A., Kadetova A.V., Kozireva E.A. Relation between basin morphometric features and dynamic characteristics of debris flows—a case study in Siberia, Russia // *J. of Mountain Science*. 2018. V. 15, № 3. C. 618–630.

45. Tyszkowski S., Kaczmarek H., Linowski S., Marszelewski W., Kozireva E.A. Analysis of river bank erosion by combined airborne and long-range terrestrial laser scanning: Preliminary results on the Vistula river // *Geodynamics and Tectonophysics*. 2018. V. 9, № 1. P. 249–261.