

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт земной коры  
Сибирского отделения Российской академии наук

---

На правах рукописи



**Пеллинен Вадим Александрович**

**ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ  
ОСТРОВА ОЛЬХОН**

25.00.08. Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение

**ДИССЕРТАЦИЯ**

на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук

Научный руководитель:  
заведующий лабораторией инженерной  
геологии и геоэкологии ИЗК СО РАН  
к.г.-м.н., доцент **Козырева Елена Александровна**

Иркутск – 2018

## Оглавление

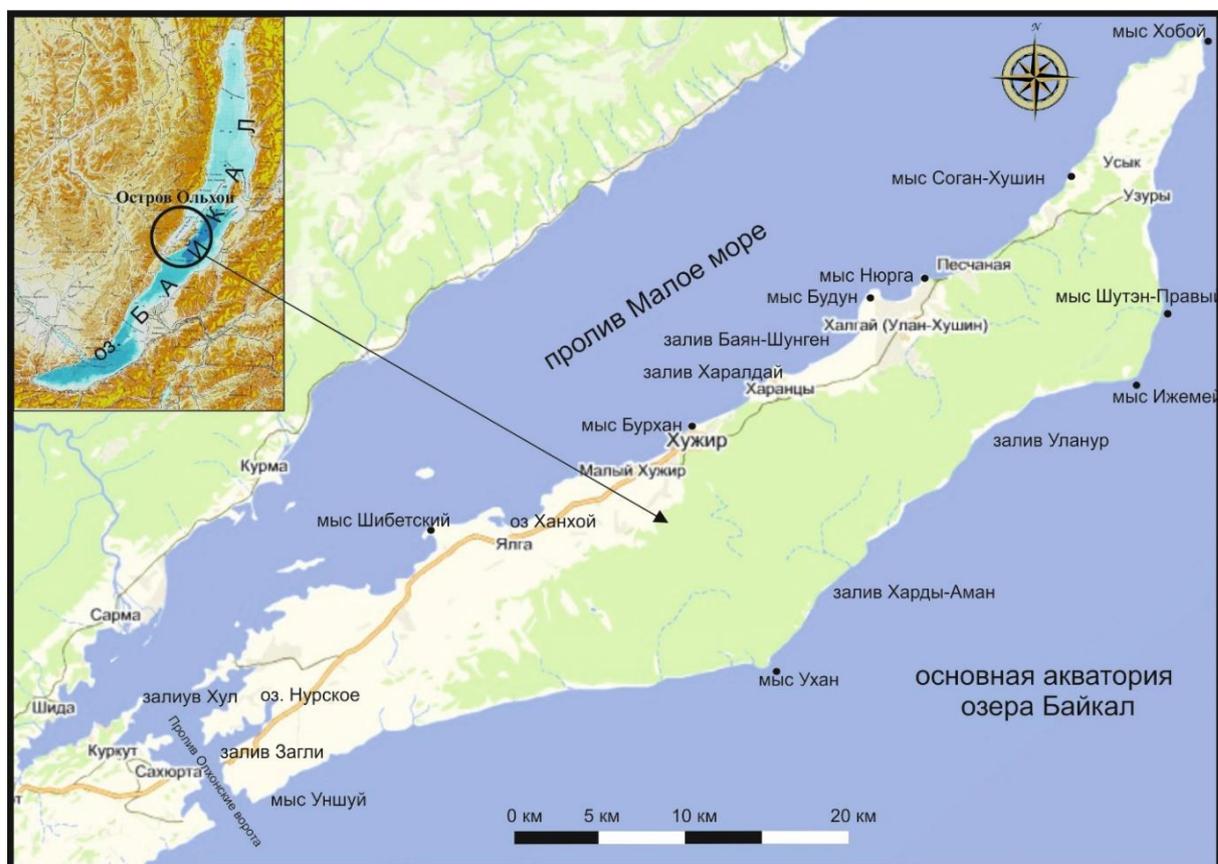
ВВЕДЕНИЕ .....	3
ГЛАВА 1. АКТУАЛЬНОСТЬ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ ТЕРРИТОРИИ О. ОЛЬХОН .....	12
1.1. Современные подходы к оценке устойчивости геологической среды	12
1.2. Изученность геологической среды исследуемой территории.....	14
ГЛАВА 2. КОМПОНЕНТЫ СОСТОЯНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ОСТРОВА ОЛЬХОН.....	19
2.1. Климатические условия района исследований .....	19
2.2. Грунты и их инженерно-геологическая характеристика .....	24
2.3. Гидрогеологические и геокриологические характеристики.....	32
2.4. Структурно-тектонические и геоморфологические условия территории .....	35
ГЛАВА 3. ВНЕШНИЕ ФАКТОРЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ГЕОЛОГИЧЕСКУЮ СРЕДУ ОСТРОВА ОЛЬХОН.....	42
3.1. Природно-техногенное воздействие .....	42
3.2. Прямые туристско-рекреационные нагрузки .....	62
ГЛАВА 4. ЭКЗОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ КАК ПОКАЗАТЕЛИ УСТОЙЧИВОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ОСТРОВА ОЛЬХОН.....	69
4.1. Выветривание горных пород .....	69
4.2. Гравитационные процессы и формы их проявления на природных склонах .....	73
4.2.1. Среда развития оползневых деформаций.....	81
4.3. Эрозионные процессы .....	92
4.4. Проявления карстообразования.....	96
4.5. Подтопление и заболачивание территории .....	102
4.6. Эоловые процессы.....	103
ГЛАВА 5. ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ОСТРОВА ОЛЬХОН.....	109
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	120
Литература .....	122

## ВВЕДЕНИЕ

### Актуальность работы

Сохранение уникальных природных объектов является общемировой задачей, которая прописана в конвенции ЮНЕСКО об охране Всемирного культурного и природного наследия.

Исследуемый район административно входит в состав Ольхонского района Иркутской области и расположен в южной части его площади. Остров Ольхон — самый крупный остров оз. Байкала — расположен в средней его части и является объектом Всемирного наследия ЮНЕСКО (рисунок 1). Северо-западное побережье острова омывается водами



**Рис. 1. Обзорная карта района исследования**

пролива малое Море, юго-восточное взаимодействует с основной акваторией Байкала. Длина береговой линии около 225 км. Район исследования сложен различными в литологическом отношении породами, представлен разнообразной морфологией склонов и характеризуется климатическими, инженерно-геологическими, структурно-тектоническими

условиями, определяющими современное состояние геологической среды. Учет всех этих условий необходим при грамотном территориальном планировании, ведении хозяйственной деятельности, строительстве инфраструктуры.

Остров Ольхон является развивающейся в туристско-рекреационном отношении территорией Иркутской области. В последние годы потребность выявления особенностей состояния геологической среды и допустимых нагрузок на геологическое пространство без ущерба для ее компонентов, требует детального исследования. Оценка устойчивости геологической среды является актуальной темой исследований, направленных на изучение современного состояния, выявления степени устойчивости территории о. Ольхон к техногенным воздействиям для разработки основ рационального природопользования.

### **Степень разработанности темы**

Первые краткие сведения по изучению геологии острова приведены в работах И.Г. Георги (1755), Н.А. Щукина и Н. Риттера (1879), И.Д. Черского (1880) и В.А. Обручева (1890). После длительного перерыва, в 1921–1922 гг., в районе побывал Б.И. Артемьев, которым было изучено геологическое и геоморфологическое строение западного Прибайкалья. Сделанные им выводы во многом совпали с мнениями И.Д. Черского и В.А. Обручева. Детальное исследование геологического пространства объекта было начато в 1948 г. и направлено на изучение геологического строения, уточнение геологических границ, ярусов и отделов, проведение поисково-разведочных работ по обнаружению новых месторождений марганца, титана, ильменита и рутила и построение геологических карт.

Изучением геологических основ комплексного освоения Прибайкалья занимался коллектив Института земной коры СО АН СССР под руководством В.Г. Беличенко. Одним из результатов этих работ стала монография «Инженерная геология Прибайкалья» изданная в 1968 г. под редакцией

Г.Б. Пальшина, в которой Ольхон представлен как один из ключевых объектов инженерно-геологических исследований. В монографии приведена инженерно-геологическая характеристика комплексов горных пород, описаны процессы и формы их проявления, выполнено инженерно-геологическое районирование территории Прибайкалья и представлена карта масштаба 1:1 500 000.

Отдельные сведения по инженерной геологии острова обобщаются в ряде статей, а также книгах и сводных отчетах следующих авторов:

Т.П. Вологодского (1962), В.П. Солоненко (1962), Р.Ф. Иваниловой (1968), Б.Ф. Лута (1964), О.В. Павлова (1965), О.Л. Рыбака (1967), Ф.Н. Лещикова (1975), А.В. Пинегина (1975), Т.Г. Рященко (1992). Исследования по изучению гравитационных процессов, динамики экзогенных геологических процессов выполнены Ю.Б. Тржицинским (2007), Ф.Н. Лещиковым (1984), Н.И. Демьянович (1980), В.К. Лапердиным (2010), Е.А. Козыревой (2007), А.А. Рыбченко (2011). Анализ состава и механизма формирования эоловых отложений приведен в работах Т. Szczypek и В.А. Снытко (2001, 2011), Б.П. Агафонова и Н.И. Акулова (2001). Работы по изучению рельефа острова и его гидрогеологических особенностей связаны с исследованиями

А.С. Кульчицкого (1963), А.Б. Котова (2004), Н.А. Логачева (1964), Г.Ф. Уфимцева (2009), Б.М. Шенькмана (2009), Д.В. Лопатина (2015), Т.М. Сквитиной (2009, 2015). В настоящее время проводимые исследования и изыскательские работы на острове носят точечный и разрозненный характер, подчиненный узконаправленным задачам.

## **Цель исследований**

Целью данной диссертационной работы является комплексный анализ и оценка природно-техногенных компонентов, определяющих устойчивость геологической среды территорий о. Ольхон.

## **Задачи исследования:**

- установить роль природно-техногенных компонентов, определяющих устойчивость геологической среды;
- получить новую информацию о современном состоянии и особенностях формирования береговой зоны о. Ольхон и детализировать ее на основе учета экзогеодинамической обстановки побережья, выделив подтипы в абразионных и аккумулятивных генетических типах берега;
- оконтурить и установить значение площади развития современных экзогенных геологических процессов (ЭГП);
- определить вклад физико-механических свойств неогеновых глин в формирование оползневых деформаций на западном побережье о. Ольхон;
- выполнить оценку устойчивости геологической среды о. Ольхон на основе комплексного анализа ее геолого-морфологических компонентов, характера развития экзогенных геологических процессов и техногенных воздействий.

## **Научная новизна:**

- получена информация о современном состоянии береговой зоны, установлена протяженность основных генетических типов берегов, выделены их подтипы с учетом развития современных экзогенных геологических процессов;

- изучены особенности состава и физико-механических свойств неогеновых глин о. Ольхон. Получены показатели состава и свойств глин, влияющие на устойчивость берегового склона и динамику оползневых смещений;
- определен набор геологических и геоморфологических компонентов в совокупности с экзогенными геологическими процессами и техногенными нагрузками, которые определяют степень устойчивости геологической среды на локальном уровне;
- выполнена оценка устойчивости геологической среды с выделением территорий высокой, средней и низкой степени устойчивости.

### **Практическая значимость**

Полученные результаты позволили выполнить комплексную оценку устойчивости геологической среды на локальном уровне. Разработанный алгоритм может быть использован для определения допустимых нагрузок при туристско-рекреационном или ином виде использования территории.

### **Теоретическая значимость**

Полученные данные о современном состоянии геологической среды о. Ольхон могут быть использованы в различных исследованиях, направленных на выявление природных опасностей и рисков и востребованы в смежных научных отраслях, как основа для детализации дополнения знаний наук о Земле.

### **Методы и методология исследований**

Для решения поставленных задач применялись теоретические, экспериментальные, лабораторные и полевые исследования.

При детализации аккумулятивных и абразионных берегов использована методика выделения подтипов в зависимости от экзогеодинамической обстановки, предложенная В.П. Зенковичем.

Полевые исследования включали сбор первичных данных с использованием инструментальных измерений: тахеометрической, нивелирной съемок, эхолотирования. На расчистках работы выполнялись с поинтервальным опробованием.

В ходе лабораторных исследований были использованы методы определения основных показателей свойств грунтов. Во время эксперимента использовалась методика В.В. Акуловой, учитывающая механические свойства глинистых отложений и основанная на проведении серии стандартных сдвиговых испытаний образцов-дубликатов естественного и увлажненного состояния до и после вибрационных воздействий.

Оценка состояния геологической среды о. Ольхон и построение специализированного картографического материала основаны на принципах, разработанных И.В. Поповым, Г.А. Голодковской, А.И. Шеко, В.М. Литвиным, И.П. Ивановым и Ю.Б. Тржцинским, В.К. Лапердиным, К.Г. Леви и Е.А. Козыревой. Для оценки устойчивости геологической среды острова использован принцип комплексного анализа ее геолого-геоморфологических компонентов: распространения мощности и характера залегания грунтов, обладающих различными физико-химическими и деформационными свойствами; особенности геоморфологического строения территории острова (крутизна склонов, тип рельефа); пораженности территории экзогенными геологическими процессами (плотность распространения процессов).

В работе использованы следующие программные средства: MS Office, SASGIS, QGIS, MapInfo, Surfer, CorelDraw.

### **Защищаемые положения:**

1. Анализ геолого-морфоструктурных особенностей и характера развития экзогенных геологических процессов позволил детализировать строение берегов абразионного и аккумулятивного типа. Выделены абразионно-оползневой, абразионно-обвальный, абразионно-осыпной, абразионно-эоловый и аккумулятивно-биогеогенный подтипы.

2. Формированию оползней на западном побережье о. Ольхон способствует наличие отложений глинистого состава, обладающих повышенной пластичностью и существенным потенциалом проявления пльвунности при увлажнении.

3. Составленная карта устойчивости геологической среды острова Ольхон отражает взаимодействие природных (морфометрическое строение, характер распространения скальных и дисперсных грунтов, гидрогеологические особенности и пораженность экзогенными геологическими процессами) и техногенных (линейные сооружения, жилая застройка, рекреационно-туристический комплекс, сельскохозяйственные угодья и др.) факторов. Установлено, что наименьшей устойчивостью характеризуется геологическая среда западного побережья, а наиболее устойчивой центральная часть о. Ольхон.

### **Степень достоверности и апробация результатов**

Работа выполнена на основе фактического материала, полученного автором в результате лабораторных и натурных исследований на острове Ольхон в период с 2007 по 2017 г. Автор являлся исполнителем: государственного контракта Иркутской области № 2014.384750 (2014 г.); проектов РФФИ: № 16-35-00533\_мол\_а (2016–2017 гг.) и № 16-05-00115\_а (2016–2018 гг.). За время учебы в аспирантуре автором успешно пройдены две стажировки в Польше: а именно, в Институте наук о Земле университета им. Марии Кюри-Склодовской, г. Люблин, (апрель – май

2011 г.) и в Силезском университете, г. Катовице, (сентябрь 2012 г.) по специальности «геотехника, геоморфология».

Результаты исследований по защищаемой теме опубликованы автором лично или в соавторстве в 20 работах, из них три в изданиях, входящих в научную базу Scopus, и шесть работ в журналах, входящих в список ВАК.

Основные результаты диссертации докладывались и обсуждались на 17 международных, всероссийских, региональных симпозиумах, конференциях, семинарах, в том числе: Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Геонауки» (Иркутск, 2010, 2013, 2014, 2015, 2016); Всероссийском совещании и молодежной школе «Современная геодинамика Центральной Азии и опасные природные процессы: результаты исследований на количественной основе» (Иркутск, 2012, 2016); Международной лимнологической конференции «Антропогенная и природная трансформация озер» (Польша, Познань, 2012); IX Международной школе по наукам о Земле им. проф. Л.Л. Перчука (Украина, Одесса, 2013); Всероссийской молодежной конференции «Строение литосферы и геодинамика» (Иркутск, 2013, 2015, 2017); Международной конференции «Сергеевские чтения» (Москва, 2014); XXV Международной береговой конференции «Береговая зона – взгляд в будущее» (Сочи, 2014); Всероссийском совещании «Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту)» (Иркутск, 2016), VIII Международной Сибирской конференции молодых ученых по наукам о Земле (Новосибирск, 2016); V Международной конференции молодых ученых и специалистов памяти ак. А.П. Карпинского (Санкт-Петербург, 2017).

### **Благодарности**

Автор искренне благодарен за постоянное внимание, обсуждение работы и всестороннюю поддержку научному руководителю кандидату

геол.-мин. наук, доценту Е.А. Козыревой. Автор глубоко признателен идейному вдохновителю темы диссертации доктору геол.-мин. наук, профессору Ю.Б.Тржцинскому. Огромную помощь в написании работы и проведении эксперимента оказала кандидат геол.-мин. наук В.В. Акулова. Отдельную признательность автор выражает коллективу лаборатории инженерной геологии и геоэкологии за помощь в экспедиционных работах, сборе и обработке материалов. Признателен А.В. Коптевой и кандидату геол.-мин. наук Т.Ю. Черкашиной за помощь в оформлении работы. Доброжелательное отношение и ценные советы сотрудников других подразделений ИЗК СО РАН, учреждений РАН, а также отдельных зарубежных организаций содействовали написанию работы, за что всем большое спасибо.

#### **Структура и объем работы.**

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав и заключения общим объемом 136 страниц печатного текста, включающего 43 рисунка, 12 таблиц. Список использованной литературы представлен 145 наименованиями.

# ГЛАВА 1. АКТУАЛЬНОСТЬ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ ТЕРРИТОРИИ О. ОЛЬХОН

## 1.1. Современные подходы к оценке устойчивости геологической среды

В настоящее время термин «устойчивость» наиболее широко используется в исследованиях, посвященных экологии, географическим системам (геосистемам) и инженерной геологии. В содержание понятия «устойчивость» в разных дисциплинах вкладывается определенная смысловая нагрузка. В инженерной геологии большинство исследователей придерживаются такого направления, как исследование устойчивости геосистем в связи с антропогенным воздействием. В 1976 г. одними из первых, кто попытался дать определение термину «устойчивость» в инженерной геологии, были Г.А. Голодковская и Л.М. Деменюк [Голодковская и др., 1976]. Они рассматривали устойчивость как комплекс свойств геологической среды, определяющий характер и интенсивность реакции среды на техногенные воздействия. Сходное понимание этого определения можно найти в работах В.С. Преображенского (1983), З.В. Дашкевич (1984), М. Одум (1986), М.А. Глазовской (1988), В.Ф. Котлова (1978), Г.И. Рудько (1988), Г.К. Бондарика (1984), В.К. Епишина (1985), Ю.Б. Елисеева (1989), В.Т. Трофимова (1995), Ю.Б. Тржцинского (2007), Л.А. Ярг (2008). В зарубежной литературе, а именно в работе Holling (1973), под устойчивостью понимается способность объекта адаптироваться к изменившимся условиям и переходить в новое состояние равновесия. Здесь автор подчеркивает, что термин устойчивость противоположен понятию стабильности геологической среды [Holling, 1973]. Однако стабильность предполагает постоянство параметров среды, определяемое постоянством внешних условий. Согласно Ю.Г. Пузаченко (1983), стабильность – это, в известной мере, качество пассивных геосистем, а устойчивость предполагает

активную реакцию среды на внешнее возмущение [Пузаченко, 1983]. Также важным свойством геосистемы является ее инвариантность. Различие между устойчивостью и инвариантностью состоит в том, что устойчивая система изменяется под воздействием возмущения и возвращается к состоянию, близкому к исходному, в то время как инвариантная система в тех же условиях вообще не изменяется. Таким образом, интерпретация термина «устойчивость» сводится к трем направлениям: 1) способность сохранять определенные параметры; 2) способность изменяться в пределах определенных допустимых норм; 3) способность компенсировать возмущение и возвращаться в исходное состояние.

В данной работе мы придерживаемся определения, сформулированного В.Т. Трофимовым (1994), который под устойчивостью геологической среды предлагает понимать ее способность в условиях влияния техногенного воздействия определенного типа и интенсивности сохранять неизменным состав, структуру и состояние или изменять их в таких пределах, которые не приводят к вредным экологическим последствиям. Такая формулировка дает четкое представление о том, что устойчивость определяется, с одной стороны, составом, структурой и состоянием геологической среды, с другой – типом и интенсивностью техногенного воздействия. Из вышесказанного можно сделать вывод о том, что устойчивость геологической среды (ГС) определяется группой природных (характеризующих саму геологическую среду) и техногенных (характеризующих техногенное воздействие на геологическую среду) факторов [Трофимов, 1994, 1997, 2002, 2011, 2012; Голодковская, Елисеев, 1989; Голодковская, Деменюк, 1976; Гордеева и др., 1989; Бондарик, 1984, 2008; Куприянова, 1983].

Важным средством получения информации о свойствах горных пород, геологических процессах и других показателях ГС являются натурные и аналитические методы. Аналитические методики в основном

используются с целью выяснения причин и закономерностей, лежащих в основе изучения геологической среды.

Натурные исследования заключаются в фиксации конкретных показателей ГС, происходящих в течение заданного периода времени. Такие исследования являются единственным способом получения достоверной информации о состоянии ГС и позволяют дать точную характеристику происходящих изменений, а также оценить ее современное состояние.

## **1.2. Изученность геологической среды исследуемой территории**

Геологическая среда территории о. Ольхон представляет собой сложную природную систему, постоянно изменяющуюся под действием как природных, так и техногенных факторов. Остров входит в границы Байкальской экологической зоны и является частью Прибайкальского национального парка, где предусмотрен особый тип освоения и использования земель. Территория острова привлекательна своей уединенностью и первозданностью. На острове развиваются широкий сектор экзогенных процессов, создающих уникальные виды байкальских берегов, пляжей, песчаных полей, каменных россыпей, озер и заболоченностей. Относительно небольшой по площади остров представляет целый спектр географических ландшафтов и последовательную смену природных зон – степей, лесостепей, тайги, а также локально полупустыни.

Первые краткие сведения о геологии острова приведены в работах И.Г. Георги (1755), Н.А. Щукина и Н. Риттера (1879).

С 1870 по 1880 гг. изучением побережья оз. Байкал занимался И.Д. Черский. Он считал, что Ольхон сложен архейскими породами верхнего яруса Лаврентьевской системы, представляющей собой чередование кристаллических известняков, гнейсов, гранитов, диоритов, байкалитовых и хлоритовых пород [Черский, 1880]. Также он подчеркивал,

что значительную роль в строении берегового рисунка острова играют структурно-тектонические процессы. Эти же выводы о стратиграфическом делении и геологическом строении подтверждал В.А. Обручев (1890). Однако используя достижения петрографии, он более детально останавливался на расчленении архейской толщи и подчеркивал большую роль изверженных пород – гранитов, сиенитов, диоритов. На геологической карте о. Ольхон В.А. Обручевым выделен ряд складок с вертикальными осевыми плоскостями, вытянутыми в северо-восточном направлении.

После длительного перерыва, в 1921–1922 гг., в районе побывал Б.И. Артемьев. Он изучил геологию и геоморфологию западного Прибайкалья, и полученные выводы совпали с мнениями И.Д. Черского и В.А. Обручева.

В 1930 г. А.А. Демин от ВСРГТ в прибрежной части района занимался поисками и разведкой марганцевых месторождений; впоследствии этими же работами занимались Н.С. Яковленко, Б.Л. Степанов (1932) и М.М. Лавров (1934).

В 1931 г. Л.Г. Котельников и А.С. Кульчицкий проводили геологическую съемку прибрежной полосы оз. Байкал масштаба 1:100000. Все породы исследованной территории были разделены на два комплекса: нижний, слагающий Приморский хребет, и верхний, слагающий прибрежную полосу оз. Байкал и о. Ольхон.

Более подробный геолого-петрографический очерк и геологическая карта прибрежной полосы Байкала масштаба 1:200000 составлена в результате геологического изучения Ангино-Бугульдейского водораздела Е.В. Павловским и А.И. Цветковым в 1935 г.

В 1939–1941 гг. на Ольхоне исследуют месторождения марганца с целью оценки их генезиса и промышленного значения [Антипов, 1940; Кадеш, 1941].

По итогам работ 1948 г. поисково-разведочная Сосновская экспедиция дала отрицательную оценку ураноносности ольхонских пегматитов.

С 1948 по 1958 г. С.В. Обручевым, Г.А. Покатиловым, Г.А. Дымским, А.А. Малышевым, В.Д. Мацем, Д.А. Великославинским, Е.В. Павловским, Г.П. Вологодским, А.В. Сорокиным, В.С. Исаковой, А.С. Кульчицким, А.С. Ескиным, А.Ф. Китайниковым активно изучалось геологическое строение Ольхона с сопутствующим уточнением геологических границ, выделением новых ярусов и отделов, проведением поисково-разведочных работ на обнаружение новых месторождений марганца, титана, ильменита и рутила, а также построением новых геологических карт. В эти же годы появляются первые работы по изучению мел-палеогеновых кор выветривания и озерных глин миоцена.

Летом 1958 г. на Ольхон была снаряжена палеонтологическая группа, возглавляемая О.В. Скаловым, для раскопок третичной фауны. Общее руководство работами осуществлял Н.А. Логачев, при этом совместно с Т.К. Ломоносовой изучал коры выветривания и третичные отложения острова.

В 1960 г. под руководством В.Г. Рыбакова Хужирская партия в пределах Халагайской котловины занималась поисками высокоглиноземистого сырья. Результаты поисков бокситов дали отрицательный результат. Однако были выявлены крупные проявления керамических глин и изучен разрез неогеновых отложений с помощью скважин колонкового бурения, а также подтверждена титаноносность прибрежных песчаных отложений Ольхона в районе урочища Песчанка.

Крупной сводной работой по Саяно-Байкальской складчатой области стал отчет металлогенетической партии КТЭ. В этой работе, законченной в 1963 г., сделано обобщение и систематизация большого фактического материала по полезным ископаемым, собранного исследователями западного Прибайкалья. В этом же году была издана геологическая карта

масштаба 1:200000 листа М-48-XXX. [Кульчицкий, 1963]. Позднее, в 1965 г., после работ по геологическому доизучению острова А.С. Кульчицким составлена геоморфологическая карта острова масштаба 1:50 000 [Устинов и др., 1965].

В 1957–1979 гг. А.А. Рогозиным проводилась аэрофотосъемка береговой части острова с целью мониторинга последствий поднятия уровня Байкала, спровоцированного созданием Иркутского водохранилища. Примерно с этого же времени начаты работы по классификации и картографированию берегов Байкала. В итоге составлены специализированные карты: «Геоморфология и динамика берегов» для Атласа Иркутской области и «Морфология и динамика берегов Байкала» для Атласа Байкала [Гречищев и др., 1962; Лут, 1964; Пинегин, 1975]. В основу выделения типов берегов на этих картах положена динамическая классификация В.П. Зенковича [Зенкович, 1954]. Выделены основные типы берегов: абразионные и аккумулятивные. В дальнейшем по классификации Б.Ф. Лута (1964), берега западного побережья острова Ольхон более подробно классифицированы в зависимости от высоты берегового клифа, в котором выделены три типа берегов: высокие абразионно-тектонические и абразионные со слабым развитием бухт; низкие абразионные в аллювиально-пролювиальных отложениях; низкие абразионно-аккумулятивные с эоловой обработкой [Пинегин, 1975]. В 1975 г. О.К. Леонтьев и А.В. Пинегин, взяв за основу генетическую классификацию морских берегов, предложили дополнительно выделить структурно-абразионный тип берегов с учетом сеймотектонических особенностей формирования Байкальской рифовой впадины. Они отмечали, что контур береговой линии о. Ольхон предопределен разрывными и складчатыми структурами, а тектонические структуры, в свою очередь, определяют морфологический облик и характер разрушения клифа [Пинегин, 1975].

Т.Г. Рященко (1992) с соавторами опубликовала монографию по комплексному исследованию отложений мезо-кайнозойского возраста и их инженерно-геологической оценке. В работе проведено инженерно-

геологическое классифицирование отложений на основе выделения региональных типов их литогенеза, литологических групп и видов, геологических комплексов; выявлена система вторичных гипергенных воздействий; даны рекомендации для номенклатурного выделения видов грунтов.

Исследования по изучению гравитационных процессов, их динамики и факторов выполнены Ю.Б. Тржицинским (2007), Ф.Н. Лещиковым (1984), Н.И. Демьянович (1980), В.К. Лапердиным (2010), Е.А. Козыревой (2007), А.А. Рыбченко (2011). Морфология, состав и механизм формирования эоловых отложений изучены Т. Szczupek и В.А. Снытко (2001, 2011), Б.П. Агафоновым и Н.И. Акуловым (2001). Работы по изучению рельефа острова и гидрогеологических особенностей связаны с исследованиями А.С. Кульчицкого (1963), А.Б. Котова (2004), Н.А. Логачева (1964), Г.Ф. Уфимцева (2009), Б.М. Шенькмана (2009), Д.В. Лопатина (2015), Т.М. Сковитиной (2009, 2015). В дальнейшем все проводимые изыскательские и научные работы, направленные на изучение геологической среды, носили локальный и узконаправленный характер.

В основу диссертационной работы положен комплексный подход к изучению природной геосистемы острова, направленный на оценку устойчивости геологической среды.

## **ГЛАВА 2. КОМПОНЕНТЫ СОСТОЯНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ОСТРОВА ОЛЬХОН.**

### **2.1. Климатические условия района исследований**

Основным фактором формирования климатического фона территории района, как и всего Прибайкалья, является четко выраженная смена системы циркуляции атмосферы в теплый и холодный периоды, а также повышенный приток солнечной радиации к деятельной поверхности [Гос. доклад ..., 2008].

В теплый период года температура воздуха в прибрежной зоне озера и в его горной части понижена, а осенью и зимой, наоборот, повышена; абсолютный годовой минимум температуры воздуха изменяется на территории района в пределах от  $-40$  до  $-55$  °С, абсолютный максимум – в пределах от  $+30$  до  $+40$  °С. Безморозный период составляет 4.0–4.5 месяца на побережье Малого моря. Вегетационный период (со средней суточной температурой воздуха выше  $+5$  °С) на большей части района продолжается 4.0–4.5 месяца [Гос. доклад ..., 2011].

Большая часть территории района отличается недостаточным атмосферным увлажнением. По данным метеорологических станций Узур, Ольхон и Хужир, расположенных в разных частях острова, за год выпадает от 197 до 278 мм осадков, а годовой коэффициент увлажнения равен 0.34. Большая их часть (83–90 %) приходится на апрель – октябрь (Рисунок 2), что является абсолютным годовым минимумом осадков для всего побережья Байкала. Около 2/3 этой суммы влаги выпадает за три летних месяца (июнь – август). В январе – марте месячное количество осадков не превышает 5 мм, поэтому снежный покров в этих районах обычно составляет 10–15 см [Галазий, 1978; Вотинцев, 1978].

Ветроволновой режим Байкала имеет свои характерные особенности. Поле ветра на территории района формируется в результате взаимодействия преобладающего в тропосфере северо-западного переноса

воздуха и потоков местной горно-долинной, а на берегах Байкала, бризовой циркуляции. В период открытой воды в озере отмечаются два ветровых режима, совершенно не схожих между собой: летний (июль – август) – самый тихий, и осенний (октябрь – декабрь) – наиболее бурный. Сентябрь – переходный период между этими двумя сезонами [Гречищев, Мамонтов, 1964]. Скорость ветра максимальна в ноябре и декабре и достигает в среднем 6–10 м/с в течение месяца. Число дней с сильным ветром (более 15 м/с) в среднем за год изменяется от 20 до 40. Максимальное в году количество ветреных дней приходится на ноябрь и декабрь (9–13 за месяц), а максимальная скорость ветра может достигать 30–40 м/с. В летний период в прибрежной полосе характерны частые бризовые потоки, наиболее выраженные в дневные часы. На территории за пределами котловины Байкала зимой преобладают северо-западные ветры, летом – восточные и юго-восточные [Галазий, 1978; Вотинцев, 1978]. В таблице 1 приведены данные о повторяемости ветра по направлениям и скоростям. Повторяемость выражена в процентах от всех случаев наблюдений, включая и те, когда регистрировались затишье или штилевая погода. Волнение на озере, связанное со скоростью ветра, оказывает значительное влияние на устойчивость побережья о. Ольхон, являясь одним из основных видов нагрузки. Так, при скорости ветра менее 1 м/с на поверхности озера образуются волны ряби, называемые капиллярными волнами. При усилении ветра до 4–5 м/с они увеличиваются и преобразуются в гравитационные волны с более крупными и заметными колебаниями водных частиц. С ростом скорости ветра до 7–8 м/с на вершинах волн начинают появляться «барашки», при более сильном ветре (10–12 м/с и более) происходит опрокидывание волн – забурунивание. Возле берегов забурунивание начинается там, где глубины оказываются близкими к половине длины волн наката. Особенность волнения воды вокруг острова заключается в том, что ветер со скоростью менее 7 м/с не оказывает влияния на береговую зону, поскольку высота возбуждаемых

волн не превышает 1.5 м даже при наибольших разгонах [Гречищев, Мамонтов, 1964].

**Таблица 1**

**Повторяемость ветра по направлениям и скоростям  
за 60 лет наблюдений по ст. Узуры**

ст. Узуры	Румбы							
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
8–9 м/с	–	–	0.4	0.1	–	0.1	8.8	0.2
10–14 м/с	–	–	–	–	–	–	1.8	0.1
15–19 м/с	–	–	–	–	–	–	0.2	–
более 20 м/с	–	–	–	–	–	–	–	–

Кинетическая энергия волн огромна. В различных районах острова она составляет от 5–6 до 20 млн тонно-метров на погонный метр берега в год. При ударе о берег волны высотой 1 м на одну милю побережья с периодом 10 с развивают мощность более 35000 л/с, или на 1 м берега – около 19000 л/с. [Волошин, 2009]. Например, береговые валы в пределах восточного побережья острова достигают высоты 2 м и сложены мелкими валунами до 20–25 см в поперечнике. Это свидетельствует о том, что байкальские волны могут не только перемещать, но и поднимать валуны такого размера.

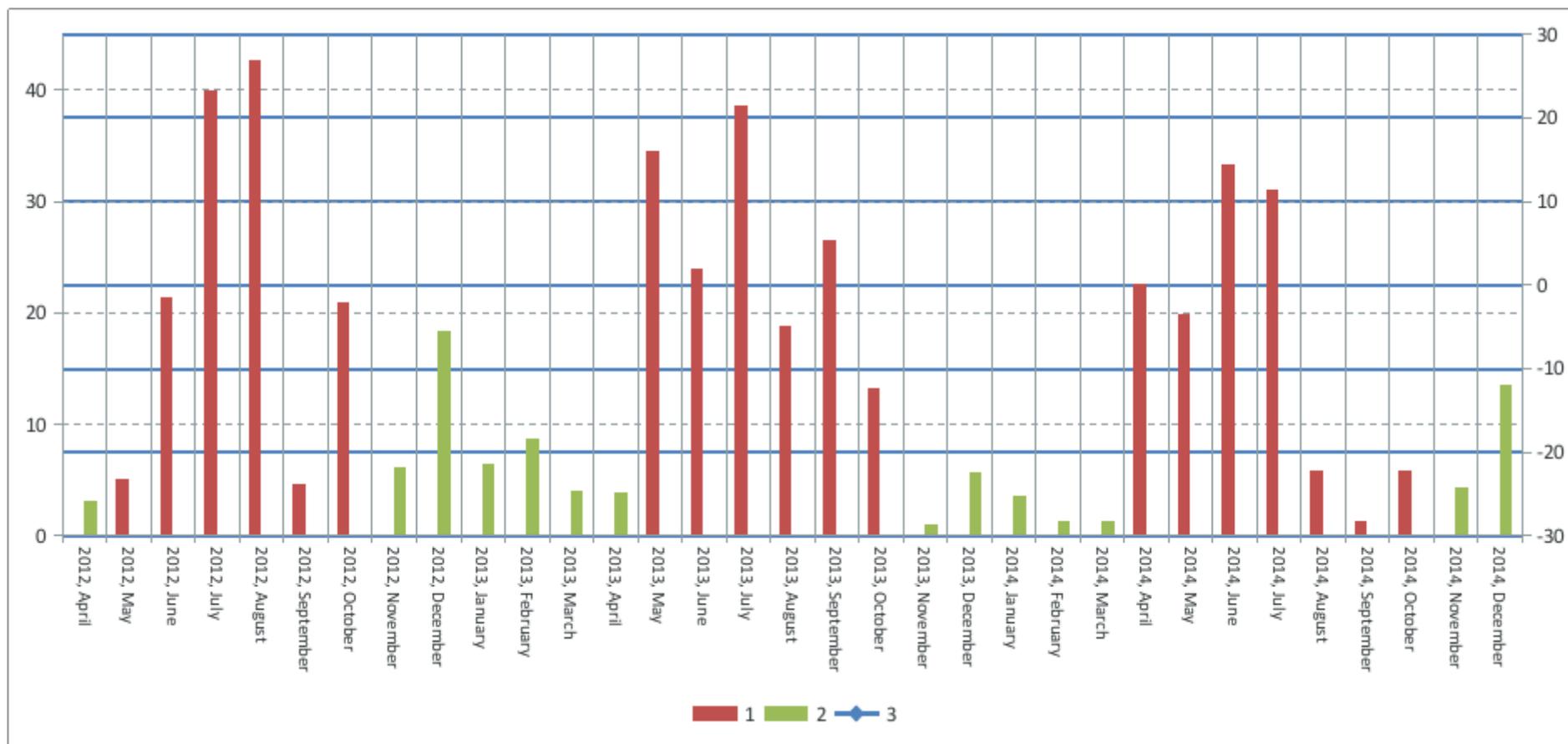
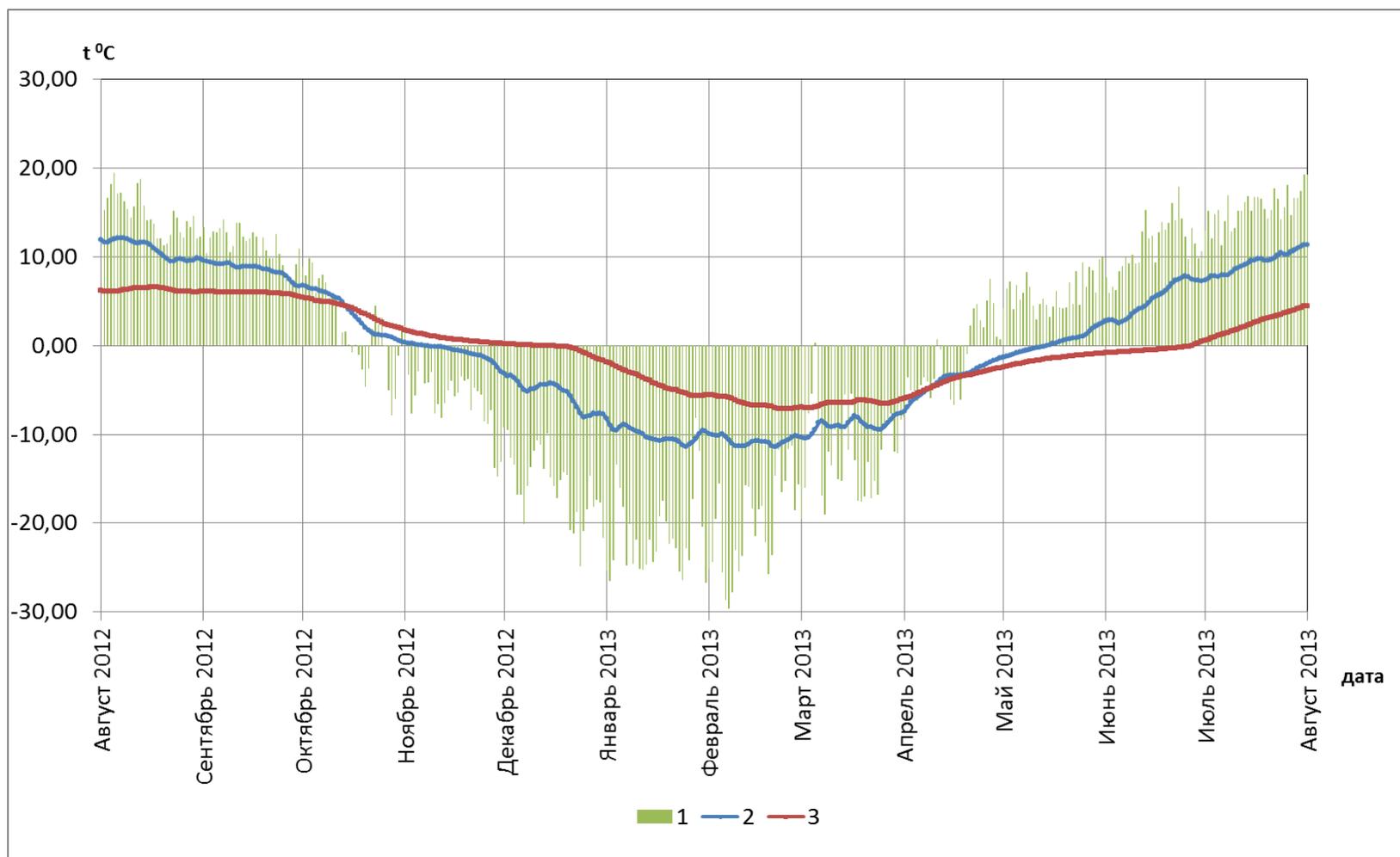


Рис. 2. Распределение осадков и температуры с 2012 по 2014 г. (по данным [gis.ncdc.noaa.gov](http://gis.ncdc.noaa.gov))

1 – жидкие осадки, 2 – твердые осадки, 3 – среднемесячная температура



**Рис. 3. Распределение температуры воздуха и грунтов в пределах ключевого участка «Харалдай», расположенного на северной экспозиции склона (данные логгеров НОВО U12)**

1 – температура воздуха (логгер расположен в двух метрах от поверхности); 2, 3 – температура грунтов (логгер расположен на глубине 0.1 и 0.6 м)

По данным мониторинга температурных колебаний грунтов на острове промерзание начинается в ноябре и продолжается до начала мая. Протаивание мерзлых грунтов на склонах южной экспозиции начинается в апреле, на северных склонах – в середине мая. Наиболее интенсивное протаивание грунтов происходит в июле – августе (Рисунок 3).

## 2.2. Грунты и их инженерно-геологическая характеристика

В геологическом отношении территория о. Ольхон сложена, главным образом, кристаллическими и метаморфическими породами раннепалеозойского возраста, лишь на незначительных по площади участках обнажаются континентальные неогеновые отложения. Широко распространены различные по генезису четвертичные отложения, особенно в прибрежной зоне западного берега и в днищах котловин. На острове распространены древние коры выветривания, выходящие на поверхность в прибрежной зоне западного берега [Геологическая карта..., 1959; Логачев и др., 1964].

*Класс природных скальных грунтов. Интрузивная формация* представлена гранитами, пегматитами, габбро-пироксенитами. Граниты образуют вытянутые на северо-восток тела, инъецируя вмещающие образования. Наиболее крупные массивы располагаются в середине острова и у южного берега, где они занимают площадь до 55–75 км<sup>2</sup>. Граниты раннепалеозойского комплекса обладают в основном мелко- или среднезернистой структурой, массивной однородной текстурой. Плотность грунта – 2.86–2.87 г/см<sup>3</sup>, коэффициент пористости не превышает 3.9–5.9 %. В зоне сезонного промерзания сопротивление сжатию крупнозернистых гранитов варьируется в пределах 63.7–78.4 МПа, для среднезернистых – 102.9–167.7 МПа, мелкозернистых – 152–196.1 МПа. Устойчивость гранитоидов к выветриванию снижается по причине многократного воздействия на них тектонических сил, в результате действия которых гранитоиды разбиты многочисленными разнонаправленными трещинами [Пальшин и др., 1968]. Как показали данные физико-механических испытаний, основные и ультраосновные

породы раннего палеозоя в общей своей массе характеризуются очень высокой механической прочностью и устойчивостью к различным агентам выветривания. Временное сопротивление сжатию у большинства их разновидностей колеблется от 221.6 до 176.5 МПа, а снижение их прочности после 25 циклов замораживания и оттаивания составляет всего 10–15 %. Значительно снижается лишь прочность пород, находящихся в водонасыщенном состоянии. В связи с такими особенностями ультраосновные и основные породы очень часто образуют положительные формы рельефа – гряды, гребни, купола, а продукты их выветривания – глыбовый материал [Пальшин и др., 1968].

*Метаморфическая формация* по возрасту также относится к раннему палеозою, представлена кварцитами, широко распространенными по западному побережью Малого моря в районе Замы-Зундука; они слагают пласты мощностью от 9 до 350 м [Геологическая карта..., 1965]. Сильнослюдистым серым разновидностям свойственна тонкая рассланцовка, а слабослюдистым – толсто- или грубоплитчатая отдельность. Для кварцитов характерна гранобластовая структура, при увеличении содержания слюды переходящая в лепидобластовую. В составе преобладает кварц, содержание которого может достигать 97.9 %. Кварциты слюдянской серии являются наиболее прочными и устойчивыми к процессам выветривания – обычно ими сложены положительные формы рельефа и многочисленные скальные уступы.

Терригенно-карбонатная метаморфическая формация представлена биотитовыми мигматизированными гнейсами и мраморами. Гнейсы обладают сланцеватой структурой и подвержены выветриванию в большей степени, чем граниты, однако, в целом, породы являются устойчивыми к процессам выветривания. В пределах обводненных участков гнейсы подвергаются химическому и криогенному выветриванию с каолинизацией полевых шпатов и слюд. Физическое выветривание проявляется в распаде породы на отдельные неправильные глыбы, щебенку с заполнителем из дресвы. Коэффициент трещинной пустотности для гнейсов составляет 0.5–1.5 %, редко 2.0 %. Мрамора – крупнокристаллические, кальцит-доломитовые и доломитовые,

часто с примесью графита. Степень раскрытости трещин в мраморах изменяется от 4 до 8 %. Среднее значение плотности грунта – 2.80 г/см<sup>3</sup>, водопоглощение – 1.25 %, временное сопротивление сжатию – 49.0–137.3 МПа. Их прочность в насыщенном водой состоянии и после замораживания резко снижается. Для мраморов, характеризующихся более мелкозернистой структурой, отмечаются повышенные значения временного сопротивления сжатию. Наблюдается значительная трещиноватость мраморов. На глубинах 86.9–87.5 м встречаются карстовые полости, залеченные и заполненные песчано-глинистым материалом. Карстовые каверны располагаются на глубине от 80 до 300 м от дневной поверхности. Размеры пустот – от 1.5 до 2.2 м при глубине до 6 м [Пальшин и др., 1968].

**Класс природных дисперсных грунтов.** На острове эти грунты представлены группой нормально осадочных отложений неоген-четвертичного возраста и отложениями кор выветривания мел-палеогенового возраста.

*Коры выветривания.* В результате глубокого химического выветривания сформированы разнообразные глинистые продукты. Ольхонскую кору выветривания по степени переработки исходных пород рассматривают как досреднеэоценовую [Логачев и др., 1964; Флоренсов, 1964; Кайнозойские коры ..., 1976]. Характер распространения ольхонской коры – линейный. Это связано с избирательным выветриванием по наиболее ослабленным пластам и тектоническим зонам дробления, а также с режимом неотектонических движений. Самые мощные коры выветривания сохранились в опущенных тектонических блоках и достигают на острове первых десятков метров, а в линейных зонах – 100–150 м [Домбровская, 1973]. Наибольший интерес, с точки зрения экзогеодинамики, представляют коры выветривания, обнаженные в береговой зоне западного побережья, а также представленные в мысовых частях заливов Баян-Шунген, Саса и Уларья губа. На этих участках развиваются различные гравитационные, эрозионные и абразионные процессы (Рисунок 4).



**Рис. 4. Выход древних кор выветривания в заливе Баян-Шунген.**

В условиях засушливого континентального климата, структурно-денудационного рельефа и преобладающего физического выветривания современная кора выветривания на о. Ольхон отличается небольшой мощностью до 30–40 м и слабым химическим изменением материнских пород. Такая кора выветривания, в отличие от мел-палеогеновой, на острове не способствует проявлению оползневых процессов на склонах, однако благоприятна проявлению обвально-осыпных процессов на склонах выше угла естественного откоса [Емельянова, 1972].

*Неогеновые отложения* распространены на северо-западном побережье о. Ольхон и занимают около 2 % от общей площади территории [Геологическая карта ..., 1965]. На сложнодислоцированном фундаменте, представленном метаморфическими и изверженными породами раннего палеозоя, процесс накопления осадков занимал длительный промежуток времени и происходил в

условиях сложного взаимодействия озерно-болотной и речной аккумуляции. Такие отложения формировались в обстановках сглаженного рельефа, медленного и неравномерного прогибания впадин, теплого и жаркого климата. Мощность неоген-четвертичных отложений колеблется от нескольких десятков до двух и менее метров [Логачев и др., 1964]. Структурно-тектонические особенности территории острова обуславливают залегание пород с углом наклона 5–10° в направлении Малого моря. Грунты исследуемой территории по генезису относятся к озерным, озерно-болотным, делювиально-пролювиальным отложениям, которые часто выступают в качестве среды развития различных ЭГП [Пальшин и др., 1968].

Мощность глинистых осадков по отдельным изолированным бухтам изменяется от нескольких десятков до 100–150 м [Салоп, 1964]. По юго-восточному побережью Байкала наблюдаются резко выраженные оползневые смещения, которые вскрывают неогеновые отложения мощностью до 70–80 м.

В заливе Баян-Шунген вскрыты отложения, представленные глинами синевато-серого цвета с рассеченными тонкими извилистыми трещинами закрытого типа. Также в толще глин повсеместно наблюдаются мелкие линзовидные прослои тонкозернистого, слюдистого и сильно ожелезненного песка.

Возраст этих отложений установлен по остаткам мелких млекопитающих и моллюсков, а также с помощью интерпретации палеомагнитных данных. Общий разрез кайнозойских отложений острова представлен на рисунке 5 [Mats et al, 2010].

В разрезе неогена различают халагайскую свиту в составе нижней (тагайской) подсвиты среднего – верхнего миоцена и верхней (сасинская толща) подсвиты нижнего и среднего плиоцена, а также верхнеплиоценовую харанцинскую свиту [Рященко и др., 1992].

Общая мощность халагайской свиты составляет 100 м. Характерная черта этой свиты – преобладание глин в разрезе на глубине 2–5 м под современными делювиальными дресвяно-щелочистыми образованиями. Глины светло-серые,

слюдистые, с пятнами ожелезнения и единичными макропорами-кавернами [Рященко и др., 1992].

Тагайская подсвита халагайской свиты сложена известковыми, существенно смектитовыми глинами зеленых тонов с прослоями песка и линз. В естественных выходах тагайская подсвита прослеживается в стенках оползневых цирков залива Тагай, Харалдай, Баян-Шунген и Улан-Хушин. Стратотип свиты – разрез в бухте Тагай [Mats et all, 2010], (Рисунок 5).

Сасинская свита (верхний миоцен – нижний плиоцен) выделена в объеме верхнего горизонта халагайской свиты и части красноцветной формации Н.А. Логачевым. Стратотип свиты – разрез в оползневом цирке у мыса Саса на Ольхоне [Мац и др., 2001]. Свита залегает на кристаллическом фундаменте, а также на отложениях мел-палеогеновой коры выветривания и тагайской свиты. В разрезе ритмично чередуются слои бескарбонатных синих глин, алевролитов, песка, дресвяников мощностью от 1 до 2 м с включениями железомарганцевыми конкреций. В основании свиты в северной части о. Ольхон прослеживается базальный пласт красноцветных песчано-гравийно-щебнисто-галечных озерных и озерно-пролювиальных отложений. Мощность свиты 80 м.

Свита с угловым азимутальным несогласием залегает на древних образованиях. У мыса Харанцинского базальный пласт сменяют лагунные пепельно-серые глины, переходящие вверх по разрезу в субаэральные красноватые глины с остатками харовых водорослей. Разрез демонстрирует переход от озерных фаций к лагунным и субаэральным [Мац, 2013].

Наиболее интересный разрез Сасинской толщи находится в стенках оползневого цирка у мыса Саса, замыкающего Нюрганскую бухту с северо-востока. Здесь, в результате схода большого объема оползневых масс, вскрыта аккумулятивная поверхность высотой до 80 м над урезом. Даная толща представлена переслаиванием озерных глин, алевролитов, песков, часто насыщенных железомарганцевыми конкрециями и крупными скоплениями окислов марганца.



**Рис. 5. Геолого-литологическая колонка кайнозойских отложений острова Ольхон, построенная с использованием данных В.Д. Маца (2010), А.С. Кульчицкого (1959), В.И. Устинова (1965), Т.Г. Рященко (1992).**

Харанцинская свита выделена из красноцветной формации [Мац и др., 1982]. Свита сложена глинами: делювиально-пролювиальными, делювиально-почвенными (педоседименты) красновато-шоколадными, грязно-бурыми с прослоями и линзами светло-серых песков с гравием и мелким щебнем в верхней половине разреза. Харанцинская свита с перерывом и несогласием залегает на подстилающих отложениях неогена и породах фундамента. В понижениях рельефа фундамента она перекрывает разные элементы дохаранцинских отложений, а на поднятиях залегает на породах фундамента [Мац, 2013].

*Четвертичные отложения.* Преимущественно глинистые осадки неогена вверх по разрезу сменяются толщиной, в составе которой господствуют песчаные отложения эоплейстоцена. В Байкальской впадине на о. Ольхон впервые установлен эоплейстоцен, охарактеризованный фаунистически [Покатилов, 1985; Мац, 1987; Мац и др., 1985]. В его составе выделены почвенно-лессовая толща нижнего эоплейстоцена и заглийские слои верхнего эоплейстоцена, а также верхняя часть Шанхаихинской и нижняя часть нюрганской свит.

Почвенно-лессовая толща (нижний эоплейстоцен) описана в верхней части склона бухты Тагай [Мац, 1987; Мац и др., 1985, 2001]. Почвенно-лессовая толща включает ритмы: красноватый делювиально-эоловый лессовидный суглинок – примитивная окарбоначенная почва. Общая мощность толщи составляет 7–8 м и интенсивно деформированы солифлюкцией.

Заглийские суглинки (верхний эоплейстоцен) распространены по обнажениям, опоясывающим берег бухты Загли на о. Ольхон [Покатилов, 1985]. Заглийский разрез сложен делювиально-пролювиальными песками, супесями, суглинками с примесью мелкого щебня и плохо обработанной гальки. Встречены псевдоморфозы по крупным ледяным жилам и щебень со следами эоловой обработки. Мощность разреза достигает 13 м.

Нюрганская свита (верхний эоплейстоцен – неоплейстоцен) представлена песчаными отложениями, повсеместно распространенными в Прибайкалье. Стратотип свиты – обнажения в абразионном уступе бухты Нюрганская на

западном побережье о. Ольхон [Мац и др., 1982, 2001, 2013]. Здесь основание свиты скрыто водами Байкала. Базальная часть разреза задокументирована в стенке оползневого цирка в бухте Харалдай. Свита сложена делювиально-пролювиальными и озерными песками, а также глыбово-валунными отложениями, фациально замещающими друг друга. Видимая мощность свиты, вскрытая в обнажениях, достигает 20 м, а полная мощность может превышать 100 м.

### **2.3. Гидрогеологические и геокриологические характеристики**

Обеспеченность поверхностными и подземными водами разных районов острова различна. В основном местные жители используют в целях водоснабжения подземные воды и редко воды из озера Байкал.

На острове Ольхон в зависимости от состава и проницаемости пород выделяются несколько водоносных горизонтов.

Водоносный горизонт в эоловых песках современных четвертичных отложений прослеживается на северо-восточном побережье острова и непосредственно связан с эоловыми полями – Песчанка, Улан-Хушин, Харанцы, Большой Хужир, Малый Хужир, Маломорск, Ялга, Семь Сосен. Водообильность песков незначительна – 0.1 дм<sup>3</sup>/см, уровень минерализации и химический состав подземных вод мало отличаются от воды озера, что говорит об активной гидравлической связи [Гос. доклад..., 2008].

Водоносный горизонт в песчано-гравийно-галечниковых четвертичных отложениях в основном распространен по берегам заливов Малого моря и падей, выходящих к водам Байкала. Горизонт встречен на глубине 20–30 м от поверхности. Удельный дебит близок к 0.1 дм<sup>3</sup>/с. Минерализация находится в пределах 1.5–2.0 г/л. Следует отметить, что на территориях интенсивной застройки и сельскохозяйственного назначения за последние 30–50 лет произошло увеличение минерализации подземных вод этого горизонта с 0.30 до 1.54 г/л; в составе появились хлор, сульфаты и нитриты, практически

отсутствовавшие ранее. Увеличение количества баз отдыха и их неконтролируемые сбросы жидких отходов со временем могут привести к непригодности этого горизонта целям водоснабжения. [Гос. доклад ..., 2009]

Водоносный горизонт песчано-дресвяных четвертичных отложений на острове распространен вдоль северо-западного побережья. По данным бурения скважин, глины преобладают до глубины 15–20 м, а ниже – песчано-дресвяные отложения. Горизонт является слабонапорным, подъем пьезометрического уровня воды составляет 2–3 м. Общая мощность отложений не превышает 40–50 м. На долю водонасыщенных грунтов приходится всего 10–20 м от всей мощности отложений. Относительно вышележащего водоносного горизонта минерализация равна 0.2–0.4 г/л. В местах, где данные отложения перекрыты маломощным делювием, происходит разгрузка на поверхность в виде источников с небольшим осенним дебитом, приуроченных к оползневым амфитеатрам и оврагам [Гос. доклад ..., 2009].

Водоносный горизонт элювиальных образований раннего палеозоя, представленный выветрелыми гранитами и, в меньшей степени, гнейсами и мраморами, является основным и единственным эксплуатационным водоносным горизонтом. С поверхности горизонт перекрыт неогеновыми отложениями. Мощность вмещающих пород различна и зависит от множества факторов, влияющих на процесс выветривания. Максимальные мощности 37–50 м вскрыты скважинами в населенных пунктах Ялга, Хужир, Харанцы. Водоносный горизонт обладает значительным по размеру водосбором с хорошо проницаемой зоной аэрации и относительно обильным увлажнением. Все это обеспечивает существенные естественные ресурсы подземных вод. Восполнение ресурсов происходит двояким путем: в виде инфильтрации (особенно обильных в залесенной горной части территории) и поглощения поверхностного стока – все ручьи на выходе из предгорий полностью теряются в поле распространения водоносного горизонта. На хорошее восполнение указывает также мгновенное восстановление уровня при откачке воды из скважины. В качестве примера можно привести скважину, расположенную в

поселке Хужир – при водоотборе с производительностью 175 м<sup>3</sup>/сутки восстановление уровня после отключения насоса происходит мгновенно. Водоносный горизонт отличается высоким качеством воды – ее минерализация в условиях естественного режима стока не превышает 0.4 г/дм<sup>3</sup>, что очень близко к оптимуму, рекомендуемому ВОЗ. По отношению к этому элементу гидрогеологического разреза залегающие выше горизонты можно рассматривать как буферные, воспринимающие первыми техногенную нагрузку и до определенного предела защищающие этот водоносный горизонт [Гос. доклад ..., 2009].

Трещинные, трещинно-жильные воды раннего палеозоя связаны с амфиболитами и метаморфическими сланцами, которые нарушены трещинами, часто совпадающими с первоначальной слоистостью этих пород. Разгрузка данного горизонта проявляется в долинах в виде источников с дебитом 1–3 л/с (падь Ташкиней и Идиба) [Гос. доклад ..., 2009].

Трещинно-карстовые воды изучены слабо. Согласно данным И.К. Зайцева (1967), на окружающей территории эти воды в известняках мало минерализованы (сухой остаток от 0.4 до 0.9 г/дм<sup>3</sup>). Они относятся к гидрокарбонатному кальциевому типу. Дебит источников колеблется от 0.4 до 4.2 л/с.

В геокриологическом отношении территория о. Ольхон относится к зоне, характеризующейся повсеместным глубоким сезонным промерзанием грунтов, островным распространением высокотемпературных многолетнемерзлых пород, а также линз-перелетков. Согласно геокриологическому районированию, исследуемая территория относится к южной зоне распространения многолетнемерзлых и сезонно-мерзлых пород в Восточной Сибири [Лещиков, 2004].

На поверхности земли теплообмен характеризуется большой динамичностью, поэтому многолетняя мерзлота на большей части исследуемой территории находится в термически неустойчивом состоянии [Хименков и др., 2015]. По своим геокриологическим условиям территория о. Ольхон относится

к области редкоостровного и островного распространения многолетнемерзлых пород криолитозоны; в местах распространения многолетнемерзлых грунтов температура массива ниже деятельного слоя и составляет от  $-0.1$  до  $-0.5$  °С [Лешиков, 1978].

#### **2.4. Структурно-тектонические и геоморфологические условия территории**

Поверхность о. Ольхон имеет длительную историю формирования. Некоторые части рельефа Ольхона возникли задолго до того, как он стал островом. Как и в Приольхонье, его рельеф определяется сложным сочетанием форм, различных в морфологическом, генетическом и возрастном отношении [Кульчицкий, 1972].

Современная поверхность острова обязана своим происхождением воздействию различных внешних факторов. Ее формирование связано с разновременной эрозионно-денудационной, аккумулятивной, эрозионно-абразионной, гравитационно-тектонической деятельностью. Наиболее широко распространен эрозионный рельеф, нередко в сочетании с денудационным и аккумулятивным. В связи с эпейрогеническим поднятием острова рельеф получил два периода формирования эрозионной поверхности: первый – древний добайкальский и второй – молодой байкальский [Кульчицкий, 1972].

Древний добайкальский рельеф сохранился в наиболее возвышенной – «осевой» части Ольхона. Его фрагменты фиксируются в интервале абсолютных высот 930–1276 м (мыс Ижимей, Хара-Хушин и Ухан). Здесь они представлены горами-останцами, седлами, водоразделами и склонами, сочетающимися с долинами и котловинами, большую часть года безводными. В районе горы Ижимей обширные древние понижения нередко закарстованы. Время появления системы линейных разрывов и гравитационно-тектонических уступов в Прибайкалье определяется как верхненеогеновое и нижнечетвертичное. Различные сочетания элементарных форм наблюдаемого древнего рельефа свидетельствуют о сложности строения добайкальской поверхности. По взаимоотношениям долин на карте выделяются восемь стадий

развития древнего рельефа. Период формирования молодого (байкальского) рельефа начинается в верхнем неогене и заканчивается в конце среднего плейстоцена. Формирование рельефа в этот период подразделяется на три этапа: первый – начало заложения еще мелководных Байкальских котловин – Северной и Центральной; второй – их углубление; третий – слияние котловин и присоединение к ним Южной котловины [Адаменко, Кульчицкий, 1972; Флоренсов, 1964].

Поверхность, образовавшаяся в первый этап, сохранилась на острове в пределах интервала высот 789–960 м и прослеживается вдоль водораздела Ольхонского хребта от пади Ташкиней до залива Улхун. Она представлена водоразделами с вершинами и седлами, склонами, котловинами и долинами. Изучение области водораздела Ольхонского хребта позволяет в ряде мест выявить взаимоотношения древней поверхности с «молодыми» долинами первого этапа. После слияния вод Северной и Центральной котловин (и присоединения к ним Южной) в один общий для них бассейн, возникший уровень их вод стал базисом эрозии для гидросети некоторой части Западного Прибайкалья. Развивающаяся новая речная система первого этапа, врезааясь на глубину 170 м в «выпиравшую» вверх литосферу, почти повсеместно уничтожила более древний рельеф. Местами развитие новой гидросети сопровождалось перехватом вод, протекавших по древним долинам, особенно северо-восточной ориентировки. Участками молодые потоки следовали по плоским (или морским) долинам и врезались в их днища. Таким образом, на более или менее значительных пространствах возникал долинный рельеф первого этапа [Устинов и др., 1965].

Со вторым эрозионным этапом, особенно с его завершением, связано четкое разделение речной сети по направлению ее стока на Маломорское и Байкальское. Некоторыми потоками в направлении на юго-восток прорезается высокая часть Ольхонского хребта. Как следствие этого, возникает новый водораздел, отстоящий на 4–6 км от берега Байкала. Ранее возникший рельеф на втором этапе был уничтожен, а местами только омоложен. Новая молодая

поверхность распространялась на юго-восточную часть острова (здесь она лучше сохранилась). Она создавалась по мере врезания водно-долинной сети на глубину до 100 м, т. е. с отметок 765 м и до отметок 680 м. Судя по многочисленным остаткам долин, расположенных одна выше другой и ориентированных в крест простирания острова, формирование поверхности было сложным. Наметилось не менее шести стадий становления долин второго этапа рельефообразования [Кульчицкий, 1972].

Рельеф, созданный в течение третьего этапа, сохранился на острове в пределах интервала высот 454–660 м и широко представлен в северо-западной части острова. Он окаймляет ранее возникшую поверхность и представлен водоразделами, долинами, седлами и вершинами. Между селениями Бол. Хужир – Песчанка находится своеобразный педимент, приуроченный к неогеновым отложениям и превращенный в широкие пологие увалы. Он плавно повышается на юго-восток и является здесь своеобразным подножьем ольхонского хребта (шириной до 4–6 км). В юго-западной и северной части острова нередко наблюдаются незамкнутые котловины. Наличие озерного песка в разрезе низких террас (окрестность с. Хадай и др.) свидетельствует о недавнем пребывании маломорских вод на северо-западном побережье острова. Заливы и бухты заходили вглубь Ольхона на 1–2 км, а местами и более. Признаки менее четко выраженных террас намечаются и в других местах северо-западной части острова. Ширина террас, иногда врезающихся одна в другую на коротких расстояниях, определяется величиной от десятка до нескольких сот метров. Видимая мощность отложений устанавливается склонами этих террас и не превышает десятка метров. В некоторых древних высоких долинах второго этапа рельефообразования отмечаются «сдвоенные» и «одиочные» террасы незначительной высоты (2–4 м). Эти террасы, образованные дисперсными отложениями, обнаружены в 4-х км к юго-востоку от с. Мал. Хужир и в правой верхней части Семисосенской долины. Подобные долины часто имеют сухие тальвеги в рыхлых отложениях и указывают на большую древность склонов хорошо выраженных долин. Наличие комплекса

низких и высокорасположенных террас свидетельствует о том, что при господствующем общем поднятии острова в его истории были относительно кратковременные стадии стационарного положения и даже некоторого погружения [Кульчицкий, 1972].

Остров, как составная часть Приольхонья, представляет собой тектонический блок, заключенный между Приморской и Приольхонской ветвями Обручевского сброса, внутреннее строение которого осложнено многочисленными разрывными нарушениями нескольких этапов кайнозойской активизации. Широкое распространение кайнозойских осадочных образований позволяет выделять коррелятные отложения, датировать возраст форм рельефа и время активизации разломов [Плешанов, Ромазина, 1975].

Складчатые дислокации (Уншуйская антиклиналь), представленные на острове Ольхон породами Тажеранской свиты, простираются на северо-восток под углом 50–75° и падают в разные стороны под углами от 50 до 70°. Пологое падение пород в юго-восточном направлении у с. Загли (вблизи пролива Ольхонские Ворота) и в других местах свидетельствует о наличии второстепенных складок, осложняющих северо-западное крыло большой Уншуйской антиклинали. Шарнир последней прослеживается от мыса Увшуй к верховьям Семисосенной пади; южнее с. Хадай он погружается на северо-восток под углом 10° и уходит в область распространения вод Байкала [Геологическая карта..., 1959].

Длительное формирование рельефа подтверждается наличием ярусности. Всего выделяют три яруса маломорский 350-600 м, хужирский 600-800 м, ольхонский 800-1200 м. Первый ярус занимает дно пролива Малое Море, а хужирски и ольхонский ярус образуют наклонное к западу плоскогорье. Слабый наклон ярусов в сторону склона Приморского хребта и крутой, местами отвесный, вдоль восточного побережья острова указывает и предопределяет также большое количество асимметричных форм рельефа [Лопатин и Сквитина, 2008]. Что сказывается на динамике ряда современных экзогенных геологических процессов.

В тектоническом отношении о. Ольхон является частью структуры – серии террейнов, прослеживающихся вдоль юго-западного фланга Сибирского кратона и представленных метаморфизованными осадочно-вулканогенными породами и офиолитами, разделенными раннепалеозойскими надвигами и сдвигами, причлененных к Сибирской плите в процессе каледонского тектоногенеза [Диденко, Моссаковский, 1994; Федоровский, 1997; Скляр, 2010; Гладкочуб, Донская, 2010]. Тектонические разрывы раннепалеозойского возраста имеют северо-восточное простирание разломов и зон дробления. Менее распространенными на острове являются нарушения северо-западной ориентировки, местами отклоняющейся к широтной, а кое-где и к меридиональной. На описываемой территории проявляются нарушения почти широтного направления.

Тектонические особенности строения острова отражаются в конфигурации береговой линии северо-западной части Ольхона – чередование широких прямоугольных бухт, неглубоко вдающихся в сушу, а также разделяющих их достаточно широких полуостровных или мысовых выступов, которые иногда надстраиваются островами, например, Харанцы, Модото или Едор. Береговая линия имеет характерные прямоугольные очертания или рубцы. Такого рода морские берега называются шермовыми. Они распространены на берегах Красного, Эгейского и Адриатического морей. Северо-восточное окончание Ольхона представляет собой плосковершинную ступень рельефа, возвышающуюся над озером на 100 м и более и ограниченную скальными абразионными уступами, которые имеют обычно подводные основания. Эта окраинная ступень Ольхона обрывается на северо-востоке мысом Хобой, имеющим очень примечательные черты [Русинек и др., 2009].

Рассматриваемый район прилегает с севера к территории, известной своей сейсмичностью, выражающейся частыми землетрясениями, иногда силой в 6–8 баллов по шкале MSK-64. Землетрясения, распространяющиеся на описываемой площади, свидетельствуют о продолжении тектонической деятельности, начавшейся в кайнозой. На Ольхоне она выразилась разрывами и

смещениями крупных блоков земной коры. Явления современного медленного опускания одних берегов Байкала и поднятия других отмечаются многими исследователями [Шерман и Леви, 2005].

## **Выводы**

Климат о. Ольхон относится к типу зональных степей. Среднегодовое количество осадков составляет не более 300 мм, из них 30 % – доля твердых, которые выдуваются сильными ветрами. Средняя многолетняя температура воздуха за год, по данным ст. Хужир, составляет  $-1.4$  °С, однако на ст. Узурь, расположенной в северной оконечности острова, зафиксировано более низкое значение  $-2.2$  °С. Средняя температура июля (самого теплого месяца по данным вышеуказанных станций) составляет  $14.7$  и  $12.2$ °, соответственно. Безморозный период имеет продолжительность 105–134 дня. Относительная влажность воздуха за год, по данным разных станций, составляет 66–67 %, в летние месяцы – 65–78 %. Температурные колебания грунтовых толщ изменяются от  $+12$  до  $-13$  °С. Приведенные климатические характеристики района влияют, в первую очередь, на процессы криогенеза и выветривания, тем самым снижая устойчивость геологической среды к внешним воздействиям.

Ветровой режим имеет свои особенности и влияет в различные времена года на скорость абразионно-аккумулятивных процессов. Так, зимой и осенью преобладают ветра северо-западного направления, летом и весной преимущественно доминируют ветра северо-восточного направления, которые формируют шторма. Высота нагонных волн может превышать 2 м, имея сильную разрушающую силу.

С инженерно-геологических позиций в пределах острова выделяются два класса грунтов: природные скальные (интрузивная и метаморфическая формации раннепалеозойского возраста); природные дисперсные, представленные осадочными неогеновыми и четвертичными отложениями и слабо литифицированными выветрелыми корами выветривания.

По гидрогеологическому строению на острове выделяются шесть водоносных горизонтов, распространенных как в скальных, так и в дисперсных грунтах. Подземные воды, как компонент геологической среды, способствуют на острове развитию ряда современных ЭГП. Воды техногенного генезиса проявляются в виде подтопления пониженных участков освоенной территории.

Многолетнемерзлые породы на острове локальны и влияют на устойчивость геологической среды в основном в местах проявления криогенных процессов, ведущих к изменению физических показателей устойчивости грунтов, являющихся средой развития ЭГП.

Структурно-геоморфологические условия, ярусное строение и асимметрия Ольхонского блока способствуют формированию определенной конфигурации поверхности склонов берега и определяют устойчивость ГС территории. Наиболее уязвимо к природно-техногенным или техногенным воздействиям западное побережье, на котором крутизна склонов составляет мене  $35^\circ$  и благоприятна для организации инфраструктуры.

### **ГЛАВА 3. ВНЕШНИЕ ФАКТОРЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ГЕОЛОГИЧЕСКУЮ СРЕДУ ОСТРОВА ОЛЬХОН**

В настоящее время можно выделить два вида антропогенного воздействия на геологическую среду острова – *природно-техногенное*, вызванное созданием Иркутской ГЭС и регулировкой уровня Байкала, и *прямое туристско-рекреационное*, связанное с расширением инфраструктуры в результате электрификации острова [Шалин и др., 2006], начавшейся в 2005 г.

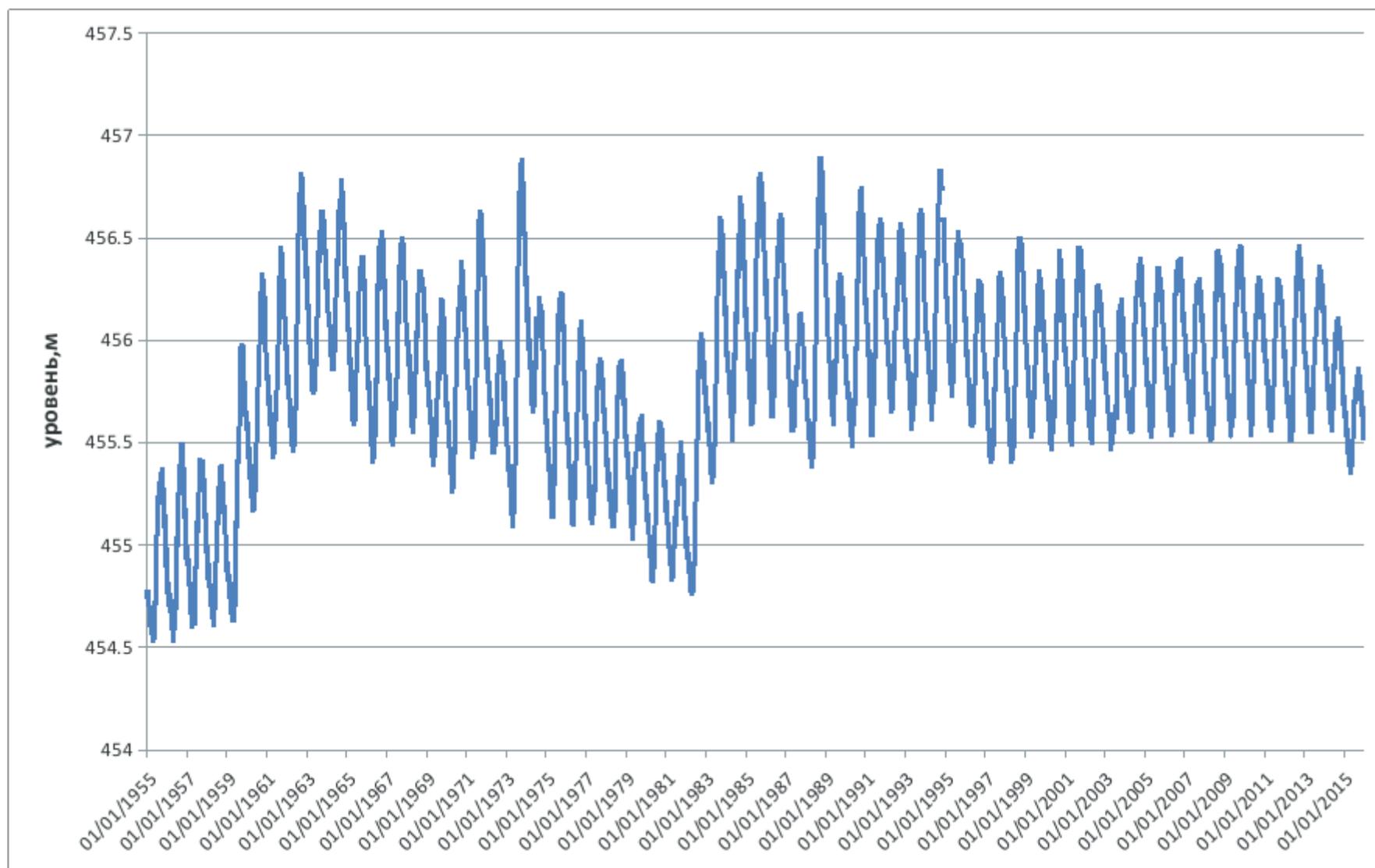
Каждый вид воздействия характеризуется развитием и активизацией экзогенных геологических процессов на острове. В результате природно-техногенного воздействия активизировались береговые процессы, связанные с переформированием береговой зоны и образованием нового профиля равновесия склона. Туристско-рекреационные нагрузки характеризуются главным образом освоением территории, что приводит к прямому воздействию на геологическую среду и развитию ЭГП, распространенных на острове.

#### **1.1. Природно-техногенное воздействие**

Остров Ольхон омывается водами озера Байкал. Ветро-волновая нагрузка на береговые склоны острова зависит от пространственного положения локальных участков, силы волнения и положения отметки уровня воды в водоеме. Одним из ведущих факторов, влияющих на формирование современного облика берегов острова, является уречный режим озера Байкал. С августа 1959 г. наполнение Иркутского водохранилища привело к повышению уровня воды в озере на 1.2 м. С повышением уровня площадь водного зеркала увеличилась примерно на 500 км<sup>2</sup>, что составило 1.6 % от площади всей акватории. Это привело к целому ряду геоэкологических осложнений во время первого периода эксплуатации водоема, особенно в береговой зоне озера. Усилились абразия и экзогеодинамические процессы, произошло затопление и заболачивание отдельных низменных участков, деформация и разрушение причальных сооружений [Потемкина, 2009]. За

период инструментальных наблюдений 1900–1958 гг. максимальная разность среднегодовых уровней Байкала не превышала 0.8 см в естественных условиях. В период 1959–1997 гг. после сооружения Иркутского водохранилища уровень воды варьировался в пределах 2.1 м – от 456.2 м (октябрь 1962 г.) до 454.2 м (май 1982 г.). С 2001 г. определены предельные значения положения уровня воды в озере Байкал: минимальный составил 456 м, максимальный – 457 м в Тихоокеанской системе координат (ТО) [Гос. доклад..., 2010]. По данным мониторинга побережья, выполняемого в последние годы, выявлено, что при уровне озера, не превышающем НПУ 457 м, наблюдается некоторая стабилизация различных ЭГП и более плавная перестройка профиля берегового склона. Однако наступление периода высокой водности вновь может принести с собой активизацию береговых процессов и значительно повлиять на устойчивость геологической среды прибрежной территории острова [Иметхенов, 2009].

В 2014 г. годовой ход уровня воды в озере Байкал соответствовал экстремально низким условиям водности [Гос. доклад..., 2015]. В связи со сложной гидрометеорологической обстановкой наблюдался повышенный фон температуры воздуха при существенном дефиците осадков. В результате этого приток к озеру Байкал в течение стокообразующего периода постоянно снижался. По состоянию на 01.01.2014 средний уровень воды озера Байкал составил 456.55 м ТО, что на 0.09 м выше, чем в предыдущем году и на 0.12 м выше среднемноголетнего значения уровня (ср. мн. значение равно 456.43 м ТО). Уровненный режим озера Байкал – комбинация природных условий колебания водоема и технических условий эксплуатации Иркутского водохранилища. В 2014 г. предполоводная сработка озера завершилась к 12–13 апреля на отметке в 456.12 м, что было ниже на 0.03 м предусмотренной правилами отметки в 456.15 м ТО. Вскрытие Байкала от ледового покрова происходило в сроки с 23 апреля по 12 мая, что на 4–14 дней раньше нормы и, как следствие, увеличение притока в озеро произошло раньше обычного.



**Рис. 6. Ежедневные уровни воды за период 1955-2015 гг. на р.п. Байкал**

Наполнение озера началось в ранние сроки – с 14 апреля (+1 см). Далее, в связи с резким спадом водности в середине мая наполнение прекратилось и продолжилось с 26 мая по 09 сентября, достигнув максимального значения, равного 456.57 м ТО, что является минимальным уровнем наполнения после принятия постановления № 234 (см. Рисунок 6) [Гос. доклад..., 2015].

Колебание уровня воды в озере, особенно его понижение, приводит к переформированию подводного профиля береговой зоны, а также к изменениям в надводной части. Формирование профиля берегового склона определяет степень устойчивости ГС острова и развитие абразионно-аккумулятивных процессов. Сами процессы являются одним из основных природных факторов, определяющих эволюцию береговой зоны (БЗ). Перенос отложений в пределах БЗ обусловлен в основном действием волн и течений. Актуальность изучения береговой зоны и ЭГП, развивающихся в ее пределах, продиктована нарастающей техногенной нагрузкой. Для более рационального использования береговой зоны в туристско-рекреационных целях важен анализ условий развития береговых склонов, выявляющий участки с развитием современных экзогенных геологических процессов, влияющих на формирование типа и подтипа берегов.

Формирование берега происходит под влиянием ветро-волновых, геолого-структурных, геоморфологических, климатических условий, экзогенных геологических процессов и колебаний уровня воды озера. Ведущий берегоформирующий фактор – волны. Интенсивность воздействия на береговую зону волн и связанных с ними волновых течений зависит, с одной стороны, от ветрового и уровня режима, с другой – от геологического строения, конфигурации береговой линии, величины уклонов подводного берегового склона, степени насыщения береговой зоны обломочным материалом [Пинегин и др., 1976].

Анализ и систематизация картографических материалов, литературных и фондовых данных о структурно-тектоническом строении, геоморфологии, сейсмических особенностях, современных преобразованиях геологической

среды береговой зоны позволили типизировать берега острова Ольхон. С учетом классификаций О.К. Леонтьева (1961), Б.Ф. Лута (1964), А.В. Пинегина (1976), выполненных ранее для всего побережья Байкала, на острове выделены три генетических типа берега: структурно-абразионный, абразионный и аккумулятивный (Рисунок 7).

*Абразионный тип берега* имеет протяженность 124.22 км, что составляет 55.21 % от общей длины берегов о. Ольхон. Склоны развиваются в скальных грунтах раннепалеозойского возраста (рисунок 13) (граниты, пегматиты и амфиболиты, известняки и доломиты) и в рыхлых отложениях неоген-четвертичного возраста (глины, супеси, суглинки, пески). Береговой уступ осложняют неглубокие оползни, крип, солифлюкционные деформации, осыпи и обвалы. Крутизна берегов данного типа составляет от 8 до 70°. Ширина пляжа зависит от литологических и структурно-тектонических условий побережья [Козырева, Пеллинен и др., 2014].

В зависимости от механизма деформаций и проявления экзогенных процессов в пределах абразионного типа берега выделяются несколько подтипов: а) абразионно-оползневой (Рисунок 8); б) абразионно-обвальный (Рисунок 9); в) абразионно-осыпной (Рисунок 10); г) абразионно-эоловый (Рисунок 11). Под влиянием доминирующего вклада фактора или экзогенного процесса наблюдаются их переходные разновидности.

*Абразионно-оползневой* подтип берега распространен, главным образом, в северо-западной части острова. Береговые склоны осложнены оползнями пластического типа, смещение которых происходит по кругло-цилиндрической или наклонной поверхностям скольжения в рыхлых отложениях, представленных глинами, песками, суглинками различного генезиса. Мощности оползневых масс различны, отдельные достигают 50–70 м. Протяженность абразионно-оползневых склонов о. Ольхон около 7 км. Оползни, деформируя берега, образуют специфические формы: цирки, потоки, гряды, террасы. В заливах Харалдай и Баян-Шунген протяженные участки

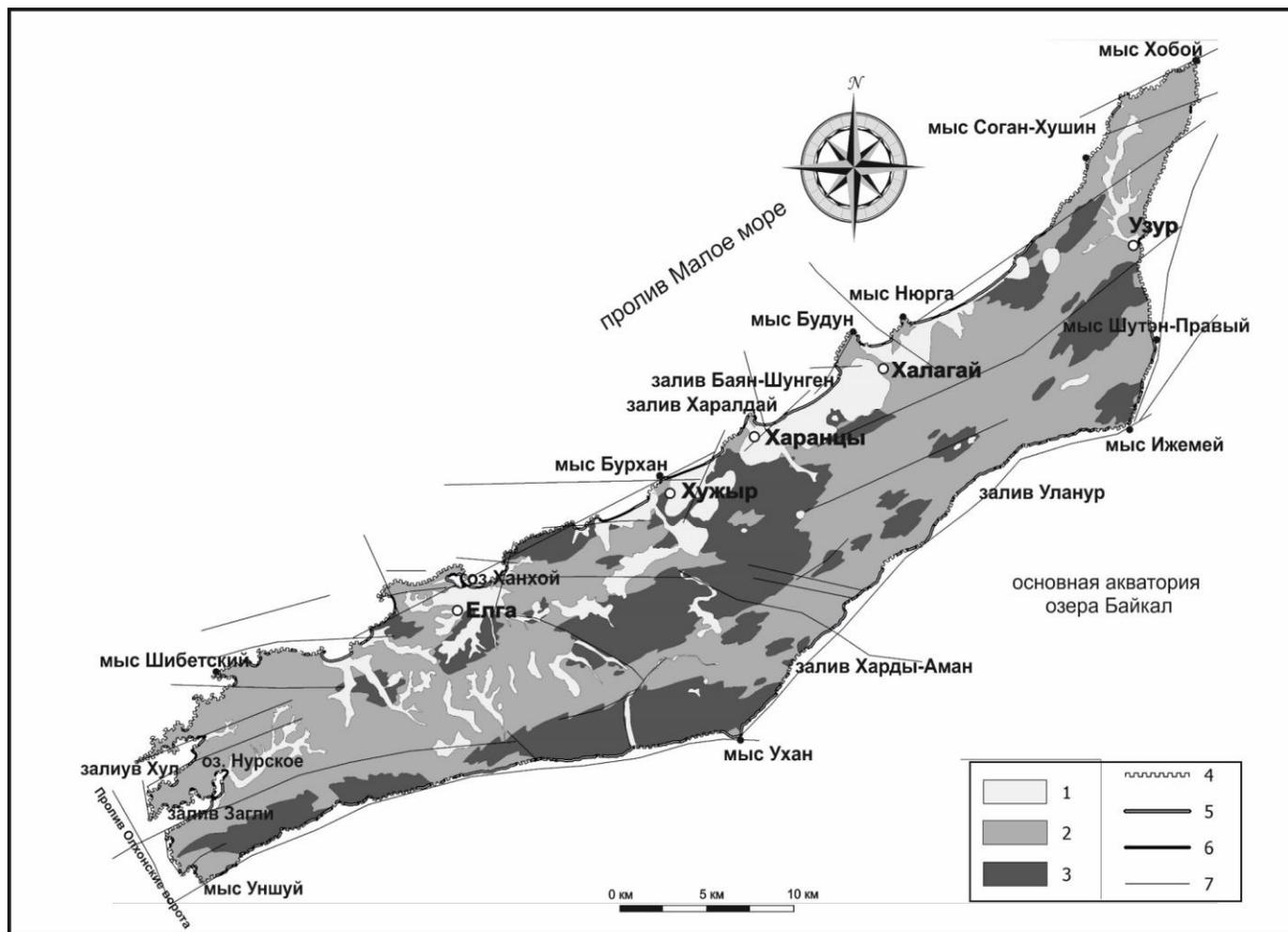


Рис. 7. Карта-схема типов берегов острова Ольхон: 1 - дисперсные грунты разного генезиса (глины, суглинки, пески, щебенистый, валунно-галечный грунт и т.п.); 2 – скальные грунты метаморфической формации (кристаллические известняки, гнейсы, кварциты, амфиболиты); 3 – скальные грунты интрузивной формации (амфиболитизированные габбро, граниты, сиениты, пегматиты); 4 – абразионный тип; 5 – структурно-абразионный тип; 6 – аккумулятивный тип.

берега поражены солифлюкционными оползнями. Оползни медленного пластического течения распространены на склонах, сложенных толщей неогеновых озерно-аллювиальных отложений, залегающих на кристаллическом фундаменте. Неогеновые отложения представлены переслаивающимися глинами, суглинками, супесями и песком. Инженерно-геологические исследования и мониторинг солифлюкционных оползней на участке Харалдай показали, что в современных условиях склон находится в активной стадии развития [Козырева и др., 2011].



**Рис. 8. Абразионно-оползневой подтип берега в заливе Харалдай.**



**Рис. 9. Абразионно-обвальный подтип берега вблизи от устья пади Ташкиней.**



**Рис. 10. Абразионно-осыпной подтип берега в заливе Баян-Шунген.**



**Рис. 11. Абразионно-эоловый подтип берега в заливе Нюрганская Губа.**



**Рис. 12.** Переработка сместившихся оползневых отложений в береговой зоне залива Харалдайский (желтой стрелкой показано перемещение материала и его аккумуляция).

На формирование оползневых деформаций в пределах абразионного типа берега большое влияние оказывают особенности состава, свойств и структуры грунта. Совокупность этих свойств и определяет основные механизмы формирования оползневых деформаций в пределах абразионно-оползневых склонов. Так, в пределах побережья острова развиты крип, солифлюкционные оползни, имеющие плоскостной или глубинный механизм смещения, а также встречаются крупные блоковые оползни глубинного заложения. Места проявления всех оползневых смещений сосредоточены на западном побережье Ольхона в местах залегания глин неогенового и четвертичного возраста. Оползни способствуют поступлению на пляж внушительного объема рыхлых масс, перерабатываемых водами озера в пределах абразионного склона (Рисунок 12).

*Абразионно-осыпной* подтип берега формируется на склонах, сформированных разными по генезису дисперсными грунтами. Размыты подвержены две группы грунтов, различающихся по генезису. Первая группа – это аллювиально-озерные и делювиальные неогеновые отложения, представленные глинами, суглинками, супесями, песками. Вторая – склоновые четвертичные делювиальные отложения, представленные дресвой,

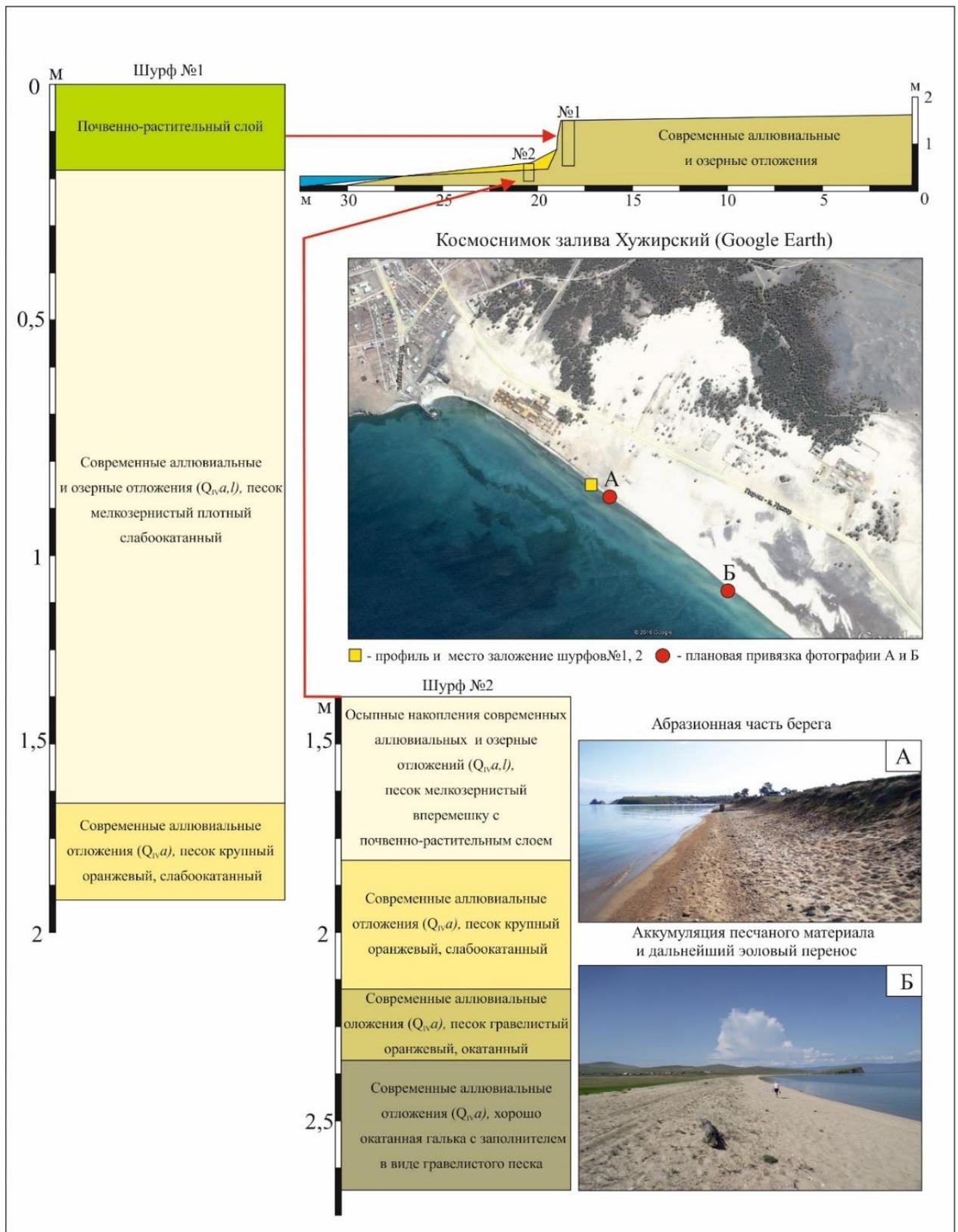
щебнем, супесью; их мощность увеличивается к подножию склона. Уклоны склона колеблются от 8 до 45°, высота уступов не превышает 10 м на протяжении всей береговой линии острова. Однако механизм развития берега у обеих групп одинаков – это осыпание уступов, происходящее почти одновременно с абразионным подмывом их основания. Такие берега встречаются в заливах северо-западного и юго-восточного побережья: бухты Харалдай и Уланур [Козырева, Пеллинен и др., 2014].

*Абразионно-обвальный* подтип берега приурочен к таким мысам, как Ухан, Хаара-Хушун, а также встречается в южной и северной частях острова. Уклоны склона от 40° и более обусловлены плоскостями напластования коренных горных пород, участвующих в геологическом строении Ольхонского массива. Ведущая роль в подготовке процесса обрушения горной породы принадлежит морозному и температурному выветриванию. По унаследованной тектонической раздробленности массивов в местах выхода гранитов, кварцитов и кристаллических сланцев выветривание приводит к образованию крупных обломков, блоков и глыб. На известняках, мраморах и доломитах образуются щебенисто-глыбовые отложения. Обвальным материалом перерабатывается в валунно-глыбовые отложения с небольшим количеством гальки, слагает пляж и прибрежное мелководье до глубин 2–5 м [Рогозин, 1992; 1993]. Отмечаются переходные разности абразионно-обвального и абразионно-осыпного типа берега. Дополнительное внешнее воздействие или сейсмическое событие, смещение крупно-раздробленного материала (вывалы, обрушения, осыпание щебенистого материала) в пределах локальных исследуемых участков создают один из видов природной опасности [Козырева, Пеллинен и др., 2014, ].

*На абразионно-эоловых* берегах ветер переносит песчаный материал с абразионного уступа (Рисунок 13) вглубь суши и переотлагает его в виде эоловых скоплений песка: дюн, гряд, холмов. Такой тип берега развивается в четвертичных отложениях и имеет локальное распространение в центральной части западного побережья острова. В первый период поднятия уровня и

эксплуатации водохранилища отмечался всплеск активизации эолового переноса. Скорость выдувания песка в 70-х г. прошлого века достигала 8.8 см в год [Абалаков и др., 1989]. В бухте Песчаная (Нюрганская Губа) из-за интенсивной дефляции и явлений заноса песком зданий и хозяйственных построек прекратил свое существование рыбацкий поселок [Галазий, 1978]. Современная интенсивность эолового процесса на берегах острова определяется гранулометрическим составом песчаных отмелей в области питания, а именно мелкопесчаной фракцией, также интенсивностью переработки отложений, служащих источником питания. В ходе ежегодных обследований берега автором отмечено, что в последние годы произошла стабилизация абразионного процесса и, как следствие, истощение песчаного субстрата в существующей области осушки, что отразилось на затухании процесса эолового переноса с пляжа на побережье. На отдельных участках отмечены заросшие мелкой растительностью зоны. Ориентация эоловых полей демонстрирует направление преобладающих ветров: западных, восточных и юго-восточных румбов [Сайт: <https://world-weather.ru>, Пеллинен, 2017].

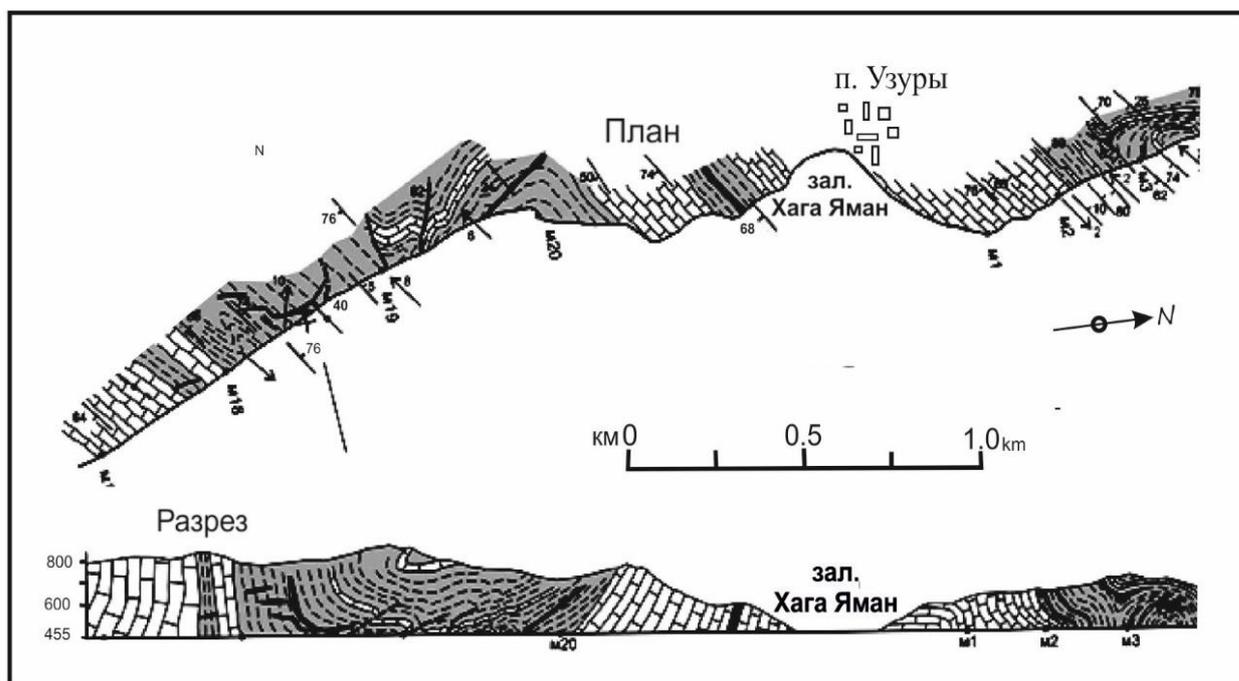
*Структурно-абразионный тип берега* характерен для побережья острова, где выражены геоструктурные элементы: зоны разломов, синклинальные и антиклинальные складки. Берега представляют собой очень крутые, вертикальные клифы, достигающие высоты 190 м. Этот тип берегов преобладает на восточном берегу острова и частично представлен на западном. Клифы и скалистые берега ориентированы вдоль разломных систем [Лунина и др., 2010]. Морфология клифов связана с литологией и тектоническими движениями, которые характеризуются как поднятием, так и опусканием тектонических блоков. Абразия лицевой стороны клифа может привести к формированию в основании клифа берега, состоящего из обломков пород. Горные породы, слагающие склон, претерпели значительные преобразования в земной коре под воздействием давления,



**Рис. 13. Абразионно-эоловый подтип берегов в заливе Хужирский.**

температуры и далее под воздействием пликативной и дизъюнктивной тектоники. Следовательно, разломная система и литология,

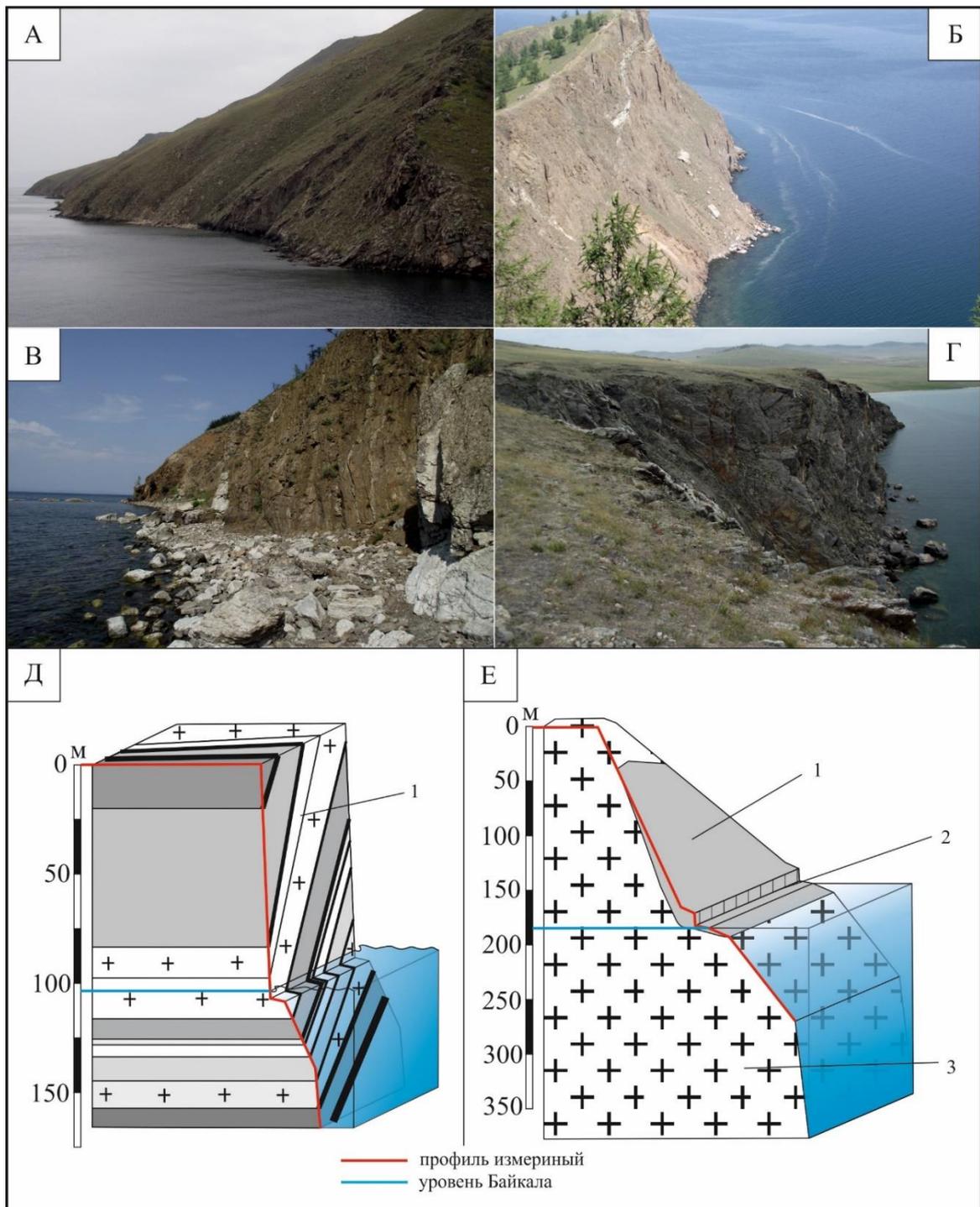
характеризующаяся метаморфическими и магматическими породами, являются факторами, способствующими формированию клифов такого типа (Рисунок 14) [Козырева, Пеллинен и др., 2014].



**Рис. 14. План и разрез интервала Хобой-Узур на острове Ольхон (составили: А.Б. Котов, А.В. Лавренчук, А.М. Мазукабзов, Е.В. Скляр и В.С. Федоровский).**

Берега, состоящие из карбонатных пород, распространены по выступающим в акваторию озера узким частям южной оконечности Ольхона в районе от мыса Шунтэ-Правый до Соган-Хушин, а также на мысах: Ижемей, Будун, Нюрга, Скала Шаманка, Шибетский. Морфологически они представлены более пологим уклоном на прилежащих участках суши. В этих областях основной тенденцией тектонических движений является поднятие.

Наиболее ярким примером структурно-абразионной морфологии береговой линии служит Ангинское обнажение – отрезок берега от мыса Хобой до мыса Ижемей протяженностью 25 км. На отвесной скале Ангинского геологического разреза ярко виден комплекс субвертикальных складок. Присутствует большое число комбинированных даек.



**Рис. 15. Структурно-абразионный тип берега: А – в районе устья пади Хурай-Хыз; Б – в районе мыса Хобой; В – в районе мыса Саган-Хушин; Г – в районе мыса Тоданский; Д - принципиальная модель берега как на фото В и Г: 1 – коренные породы (граниты, мрамора, кристаллические сланцы) с субвертикальными зонами напластования и дробления; Е - принципиальная модель берега фото А и Б: 1 - делювиально-пролювиальные отложения (супеси, щебнистый грунт, дресвяный грунт), 2 - абразионный уступ, 3 - коренные породы (граниты).**

Метаморфическая толща представлена сложным переслаиванием кристаллических сланцев и мраморов [Fedorovsky, Sklyarov, 2010]. Наличие в разрезе берегового клифа синклинальной складки и ее селективной денудации предопределило форму залива Хага Яман по восточному побережью острова, ограниченного с двух сторон более прочными горными породами.

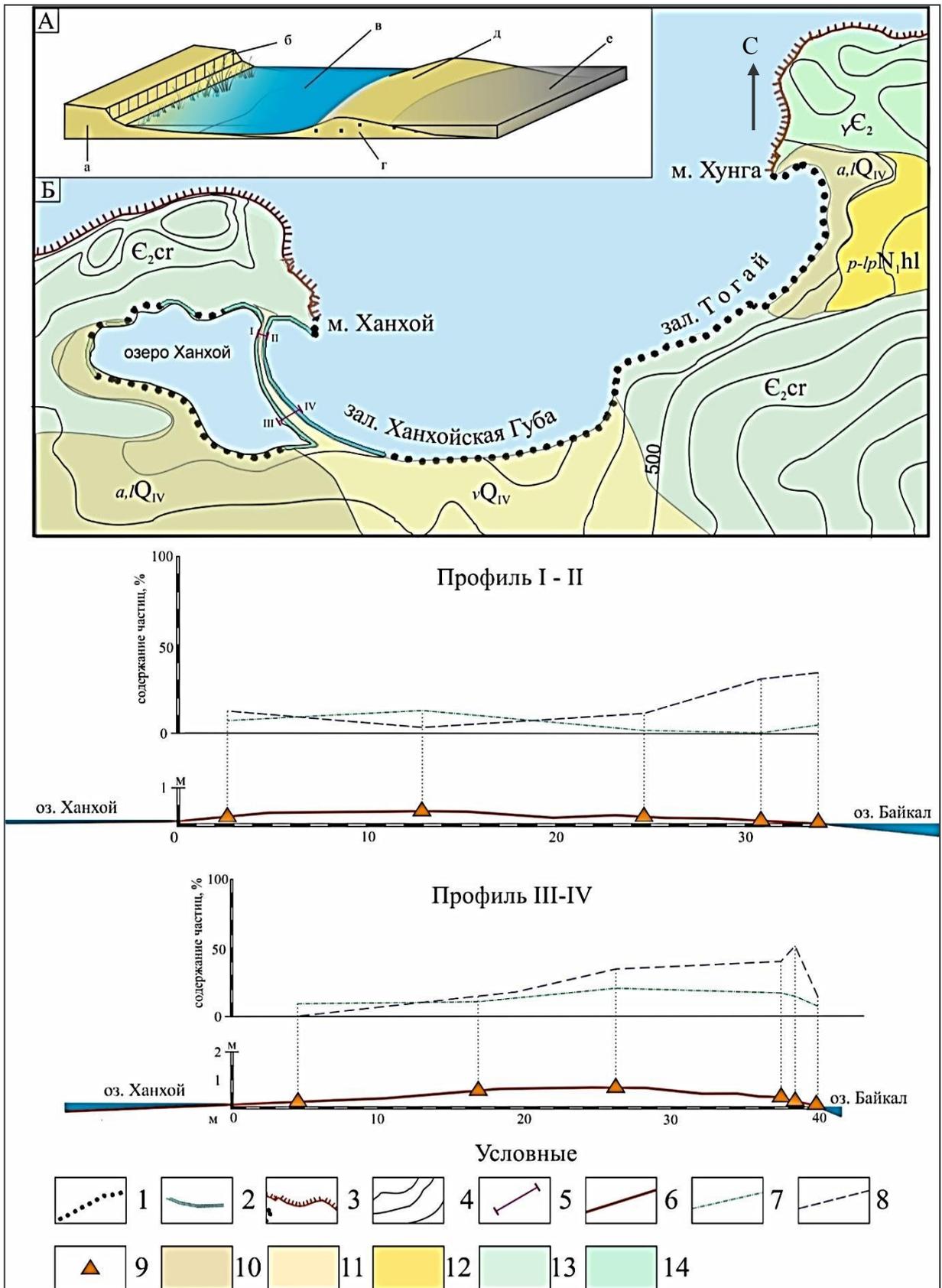
Общая протяженность структурно-абразионного типа берега на Ольхоне составляет 93.58 км. В пределах данного типа (Рисунок 15) абразионное обрушение по плоскостям напластования пород и тектоническим трещинам происходит довольно редко. Роль волнения вдоль береговой линии сводится к выносу из волноприбойной зоны продуктов выветривания горных пород. Береговая линия за весь анализируемый период не изменилась [Козырева, Пеллинен и др., 2014].

*Аккумулятивный тип берега* встречается довольно редко, в основном в заливах юго-западной части острова, и характеризуется наличием подводных песчаных валов, песчано-галечных кос и пересыпей. Протяженность аккумулятивного типа берега составляет 7.2 км, что соответствует 3.2 % от всей длины береговой линии о. Ольхон [Пеллинен, 2017].

Примером развития современных процессов аккумуляции является пересыпь Тогай, представляющая аккумулятивное песчаное тело протяженностью 611 м, расположенное между озером Ханхой и заливом Тогай. От уреза залива наблюдается двухсклонный пляж выпуклой формы. Во время летних штормов на нем временно образуются береговые валы. Однако когда они просыхают, то их развеивает ветер и в результате песок сносится вдоль самой косы по направлению к острову, где происходит развитие эолового поля (Рисунок 16). На всем протяжении поверхности пляж сложен крупным и мелкозернистым светло-желтым песком. В ходе натурного обследования и камеральной обработки образцов песка, отобранных на косе в пределах поперечных профилей (Рисунок 16), установлено, что в основном преобладает терригенный материал (кварцевый песок с частицами слюдяных

чешуек) размерностью 1–3 мм. В целом, фракционный состав песка на косе более постоянен вдоль всей пересыпи. Так, в отложениях пляжей содержание фракции с размером частиц более 2 мм составляет в среднем 32 %, максимальное ее содержание отмечается в приурезовой части профиля (в среднем 42.3 %). С удалением от залива содержание крупных фракций падает – в средней части пляжа ~ 12.3 %. Анализ гранулометрического состава частиц во всех фракциях выявил преобладание частиц размером от 0.25 до 0.10 мм, главным образом, это зерна прозрачного или матового кварца. В настоящее время основное поступление на пляж песка, пригодного для формирования эолового поля на острове, происходит с подводного склона в период летних штормов, когда господствуют ветра восточного и северо-восточного направления. Осенью направление ветра меняется на западное, способствующее переносу аккумулярованного материала с пересыпи на эоловое поле.

*Аккумулятивно-биоогенный подтип* берега встречается в южной части острова в вершинах заливов, глубина которых не превышает 3 м, а также в некоторых бухтовых заливах западного побережья. В настоящее время его общая протяженность составляет 4 км. Формирование данного подтипа происходит как в результате естественно-природных факторов, так и под воздействием антропогенных нагрузок на окружающую среду. Этот подтип берега с участием только природных условий встречается в вершинах заливов Хул и Загли. Одним из главных условий формирования этого подтипа является форма заливов, защищающая горными массивами берег от превалирующих северо-западных ветров и обеспечивающая небольшое волнение. Небольшая глубина заливов, составляющая 2–7 м, способствует прогреву воды в летнее время, что благоприятно влияет на рост различной биомассы на мелководье и ее накопление на побережье (Рисунок 17).



**Рис. 16. Ключевой участок Ялга.**

**А) Принципиальная модель строения аккумулятивного берега: а) озерные и аллювиальные отложения (супеси, суглинки); б) абразионный уступ; в) лагунное озеро; г) песчаные отложения; д) аккумулятивная коса; е) озеро Байкал.**

**Б) Фрагмент карты районирования берегов заливов Тогай и Ханхойская Губа: 1 – абразионный, 2 – аккумулятивный, 3 – структурно-абразионный; 4 – изолинии; 5 – профиля надводной части аккумулятивной косы.**

**Зависимость гранулометрического состава песчаных отложений косы от положения на поперечном морфологическом профиле: 6 – профиль надводной части косы; 7 – размер фракции 2.0–0.5 мм в %; 8 – размер фракции 0.25–0.1 мм в %; 9 – место отбора образца. Геологическое строение участка: 10 – четвертичные аллювиальные и озерные отложения (пески, суглинки, супесь); 11 – четвертичные золотые отложения; 12 – неогеновые отложения (глины); 13 – метаморфические раннепалеозойские породы чернорудской свиты (парагнейсы, амфиболиты, прослои кристаллических известняков и кварцитов); 14 – магматические раннепалеозойские породы (граниты).**



**Рис. 17. Аккумулятивно-биогенный подтип берега в вершине залива Хул.**

В ходе экспедиционных обследований отмечено увеличение биомассы в местах развития этих берегов в районе Хужирского и Сарайского заливов (Рисунок 18, Б). Проведенный анализ опубликованных и фондовых данных показал присутствие антропогенных загрязнений в пределах этих заливов. Для установления степени загрязнения в надводной части береговой зоны п. Хужир проведено детальное эколого-геохимическое опробование грунтов. Полученные данные по содержанию элементов I–III класса опасности, а также  $C_{орг}$  (Таблица 2, 3) демонстрируют поступление их в прибрежную зону [Пеллинен и др., 2016, 2016; Cherkashina et al. 2017]. При опробовании подземных вод первого и второго водоносных горизонтов [Зацепин, 1996]

также было отмечено превышающее ПДК содержание нитратов и нитритов (Таблица 4). Установлено, что в пределах береговой зоны п. Хужир интенсивно развивается водоросль, а именно Спирогира (*Spirogyra*) [Тимошкин и др., 2014]. Это род зеленых нитчатых водорослей, распространенный в пресных стоячих и медленно текущих водах [БСЭ, 1974]. Данный род водоросли, несвойственной ранее для берегов Байкала, был обнаружен еще в 2010 г. в бухте Большие Коты на Южном Байкале [Тимошкин и др., 2014]. Загрязнение биогенными и химическими соединениями, а также интенсивный прогрев воды в результате понижения уровня озера в заливах привели к развитию чуждых оз. Байкал водорослей (включая спирогиру) [Кравцова и др., 2012; Тимошкин и др., 2014]. В настоящее время установлено, что берега, пораженные этой водорослью, распространены в пределах почти всего озера и составляют 3 % от всей протяженности береговой линии острова (Рисунок 18, А).

**Таблица 2**

**Содержание (среднее/(min-max)) элементов I-III класса опасности в почвенном покрове о. Ольхон в береговой зоне п. Хужир, мг/кг**

Элемент	Содержание	Кларк* в почвах	Региональный фон	ОДК**	ПДК
F	$\frac{499}{407-573}$	200	175	–	–
V	$\frac{171}{140-237}$	100	112	–	150
Cr	$\frac{101}{85-140}$	200	99	–	–
Mn	$\frac{1150}{930-1600}$	850	1123	–	1500
Co	$\frac{19}{14-29}$	8	17	–	–
Ni	$\frac{46}{35-76}$	40	42	20–80	85
Cu	$\frac{44}{33-65}$	20	49	33–132	55
Zn	$\frac{109}{77-155}$	50	87	55–220	100
Sr	$\frac{272}{228-335}$	300	237	–	–
Pb	$\frac{17}{11-20}$	10	10	32–130	30
Hg***	$\frac{0,019}{0,015-0,022}$	0,01	0,02	–	2,1
As	$\frac{2,5}{1,4-3,2}$	5	–	2–10	2

Va	$\frac{712}{649-780}$	500	–	–	–
----	-----------------------	-----	---	---	---

Примечание: \* – кларк по данным А.П. Виноградова [4]; \*\* – диапазон ОДК в зависимости от типа почв [11]; \*\*\* – определение ртути выполнено методом ААС; знак «–» означает, что в литературных источниках [11, 13, 15] значения регионального фона, ОДК и ПДК для определяемых элементов не приведены.

Таблица 3.

Содержание гумуса  $C_{орг}$  (%) в отложениях, слагающих надводную часть береговой зоны аккумулятивно-биогенного подтипа берега

Место отбора	залив Хул	залив Загли	залив Харанцы	Залив Хужирский
$C_{орг}$ в 5 м от уреза	3.25	4.12	2.94	3.59
Среднее $C_{орг}$ вне зоны влияния баз отдыха	1.50	0.97	0.60	1.84

Таблица 4.

Содержание нитратов и нитритов в подземных и поверхностных водах в районе поселка Ялга (по О.А. Зацепину, 1996)

	Скважина в 200 м от пос. Ялга	Озеро Ханхой	ПДК согласно ВОЗ
$NO_3$ , мг/дм <sup>3</sup>	175	45	50
$NO_2$ , мг/дм <sup>3</sup>	50	2.5	3

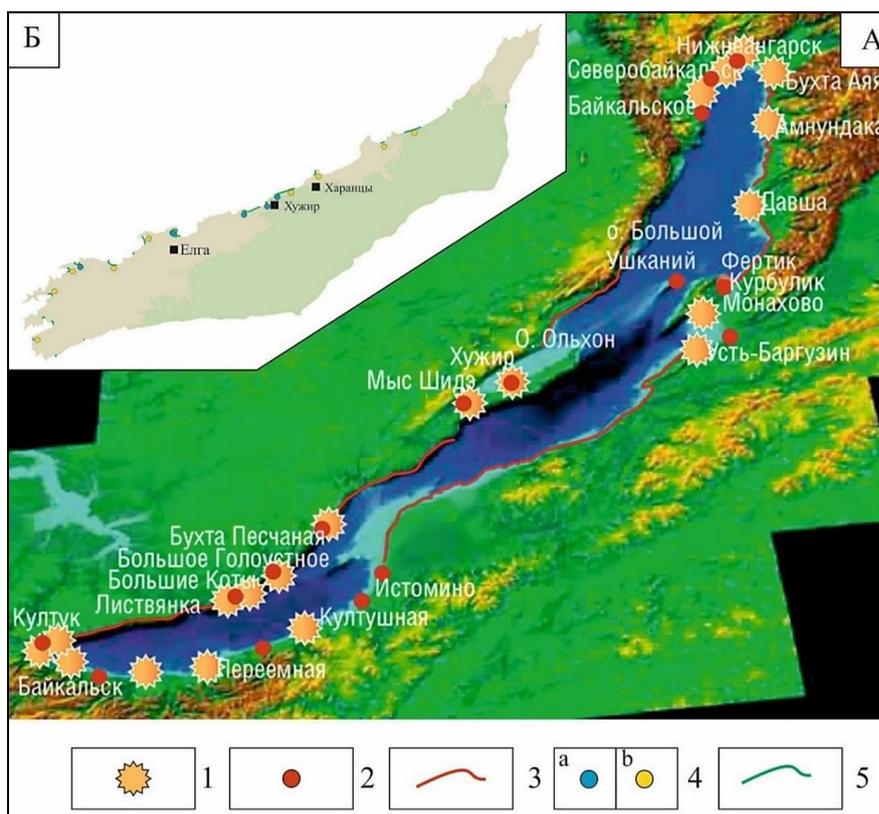


Рис. 18. А. Карта-схема экспедиционных исследований ЛИН СО РАН в сентябре 2014 г. 1 - места массового развития спирогиры, 2 – населенные пункты, 3 -пока не исследованные участки побережья [Тимошкин и др., 2014]. Б. Карта-схема распространения спирогиры в пределах аккумулятивных берегов о. Ольхон: 4. а – места развития спирогиры, b – места возможного развития спирогиры; 5 – аккумулятивные берега.

### 3.2. Прямые туристско-рекреационные нагрузки

Наибольшее воздействие от интенсивной туристской деятельности испытывает западное побережье о. Ольхон. Большая часть острова покрыта растительностью степного типа, которая произрастает на почвах, где глубина плодородного слоя не превышает 20 см. Для этих степей характерны разреженность и низкорослость травостоя, низкая урожайность, обусловленная климатическими факторами [Атлас Иркутской обл., 2005].

Традиционными местами отдыха, где останавливается основная масса людей, являются залив Сарайский, Хул, Загли, Хужирский, Семисосенский, падь Ташкиней и оз. Хонхой. Организованные туристы сосредоточены в поселках Хужир и Харанцы. Для организованных отдыхающих на острове работает система частных экскурсионных услуг, использующих для транспортировки машины типа УАЗ. Наиболее посещаемый экскурсионный маршрут «Хужир – мыс Хобой». Рекреационное использование побережья в основном длится 70 дней – с 15 июня по 25 августа – в это время можно наблюдать наибольшую активность отдыхающих [Пеллинен, 2017].

Привлекательной для туристов является береговая зона. Эта территория несет на себе максимальные нагрузки, т. к. является основной зоной размещения туристских стоянок. Поток отдыхающих неравномерен и колеблется как в течение года, сезона, так и недели. Наибольшее количество неорганизованных отдыхающих приходится на выходные дни, когда число туристов увеличивается почти вдвое по сравнению с рабочими днями. В течение года пик отдыха приходится на конец июля – начало августа [Пономаренко, 2003].

В 2015 г. на снижение потока туристов даже не повлияло такое чрезвычайное происшествие, как крупные лесные пожары, возникшие в Ольхонском районе и на Приморском хребте. Все лето остров находился в плотной дымке от пожаров, видимость не превышала 100–300 м. Однако это

не отпугнуло туристов, даже в самые сильные периоды задымления. Доказательством этого служит количество автотранспорта в очереди на паром в ожидании переправы на остров, которое достигало 100 и более машин. Опрос работников парома позволил установить, что количество и плотность туристского потока соответствует таким же показателям, как и в 2014 г., когда пожаров не было [Пеллинен, 2017].

Большое число туристов и постоянный рост организованных и неорганизованных отдыхающих на о. Ольхон приводит к увеличению площадей вытаптывания. Такой тип нагрузки на почвенно-растительный комплекс, являющийся составной частью ГС, приводит к неустойчивому состоянию. Это проявляется в виде прямого механического повреждения поверхностной растительности и верхнего горизонта почв, а также через косвенное влияние на химические и физические свойства почв, приводящее к их ухудшению [Beardsley et al., 1971; Марфенина и др., 1984].

Значительна деградация растительного покрова в местах массового пребывания людей. Сильно сократилась площадь травостоя на песчаных дюнах Сарайского залива. На территории песчаных массивов, где отмечено массовое пребывание людей, дюны имеют не сглаженные ветровые формы, а измененные, вследствие того, что в последние годы они несут на себе следы передвижения от квадроциклов и машин повышенной проходимости [Пеллинен, 2017].

В настоящее время на почвенный покров острова наиболее сильно действует нагрузка от автомобильных дорог. Зачастую прогулочное движение вне дорог приводит к нарушению растительного покрова. Дороги, являющиеся вполне проходимыми в сухие периоды, во время дождей быстро становятся вовсе непроходимыми из-за малой мощности почвы, которая залегает на глинистых отложениях. В результате параллельно одной дороге прокладывается новая, которая через небольшой промежуток времени приходит в негодность и снова закладывается следующая (Рисунок 19, 20). Такое использование автодорог приводит к образованию широкой полосы,

иссеченной временными дорогами, а также уничтожению почвенного покрова и формированию эрозионных врезов.



**Рис. 19.** Состояние участка дороги Харанцы-Хадай в августе 2013 г.



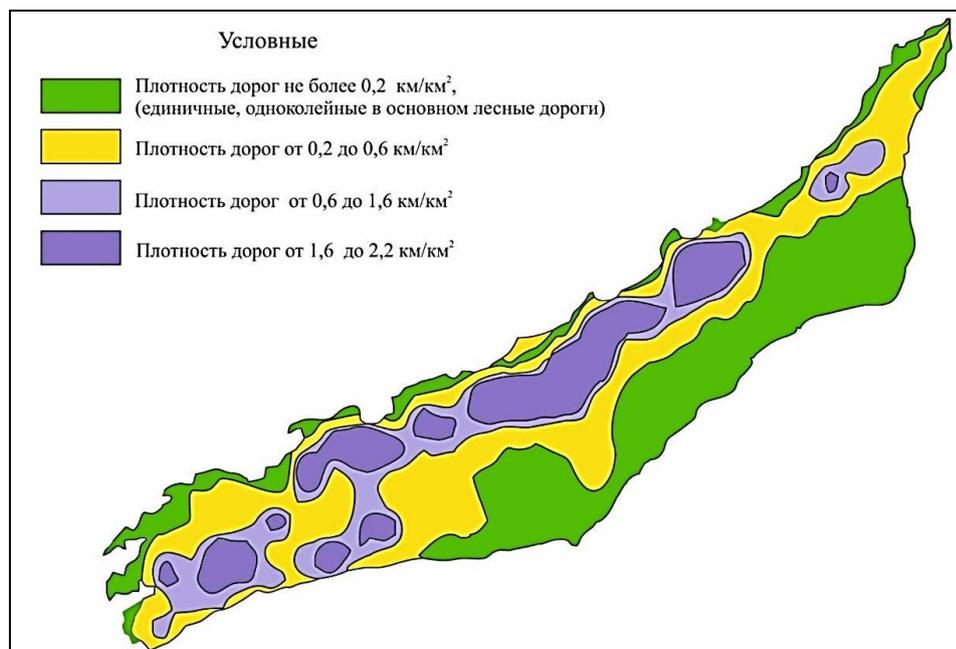
**Рис. 20.** Состояние участка дороги Харанцы-Хадай в июле 2014 г.

Автомобильные одноколейные дороги в степной части острова прокладываются хаотично и беспорядочно. Плотность автомобильных дорог на исследуемой территории неравномерна. Картографическое отображение плотности дорог было выполнено методом «скользящего окна» путем

интерполяции пространственных данных. Для этого основной «оценочной» территориальной единицей является район-клетка со сторонами, равными масштабу территории, в нашем случае 1:200 000 (клетка 2 × 2 км). Алгоритм построения карты следующий: сначала выполняется разбивка исследуемой территории на квадраты со сторонами  $\Delta X = \Delta Y = \text{CONST}$ , где  $X$ ,  $Y$  – координаты центра квадрата, а  $Z$  – число, отражающее значение площади дорог<sup>1</sup>, распространенных в пределах квадрата. Далее, все полученные с помощью ГИС-программы MapInfo значения плотности и координаты вносили в таблицу программы MS Excel. Затем сформированные данные ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ) были экспортированы в программу Surfer, где построили двухмерную модель при помощи команды «New Contour Map» [Аузина, 2000]. Данная команда предназначена для создания карт на основе базы данных, состоящей из трех значений, и позволяет визуально отобразить результат в виде двух- и трехмерной модели [surferhelp.goldensoftware.com]. На рисунке (Рисунок 21) представлена построенная карта плотности дорожной сети о. Ольхон, отражающая прямое техногенное воздействие на геологическую среду. Из рисунка видно, что высокая плотность хаотично заложенных одноколейных дорог сосредоточена на территории прилегающей к западному побережью. Связано это доступностью и освоенностью данной части острова. На карте выделено четыре категории плотности: низкая, средняя, повышенная, высокая. Площади наиболее сильной нагрузки приурочены к направлениям, ведущим к часто посещаемым природным объектам и местам отдыха острова, таким как мысы Хобой, Саган-Хушун, Харанцы, Шунте-Левый, Бурхан, заливы Семь Сосен, Сарайский, Баян-Шунген, Нюргинская губа, урочище Узуры и побережье озера Нурское.

---

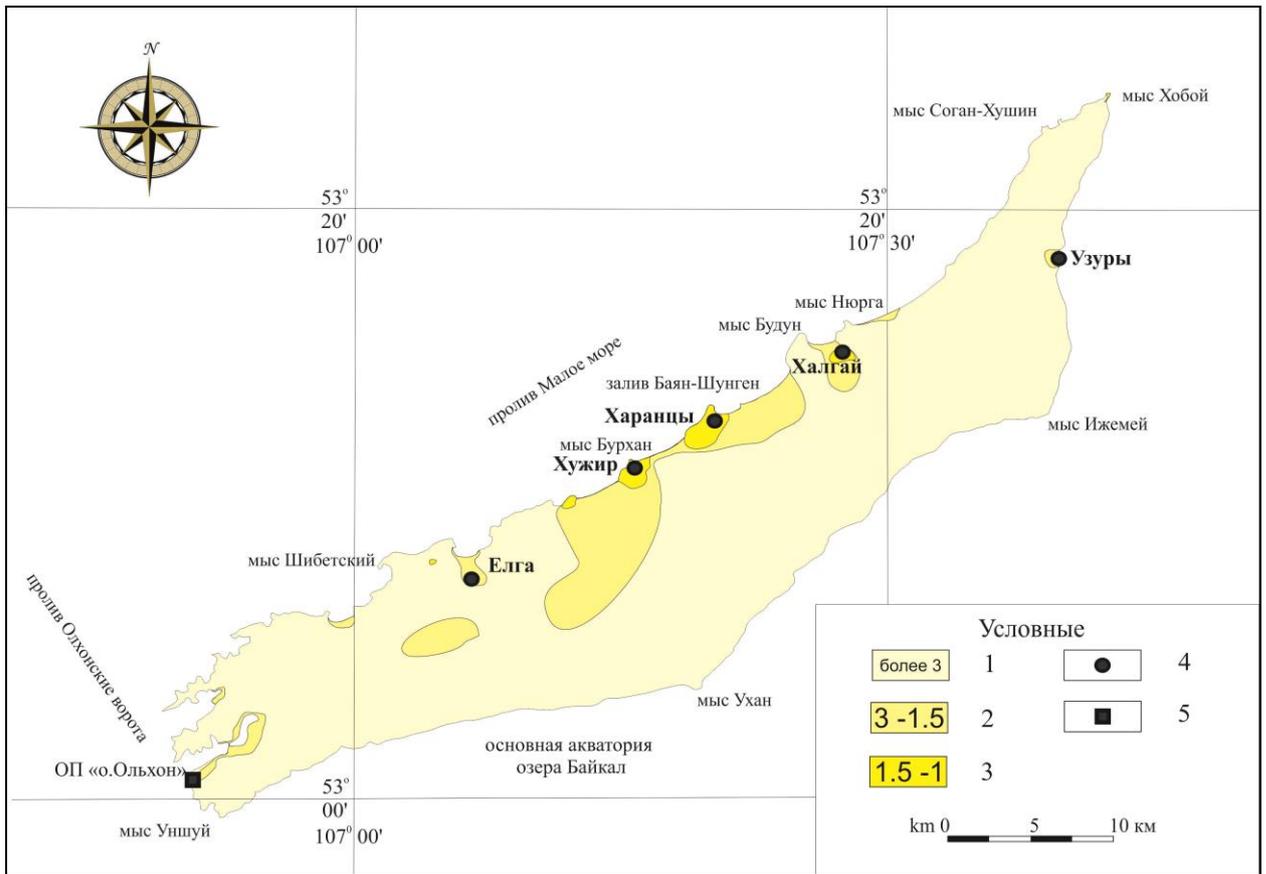
<sup>1</sup> При вычислении площади дороги была использовано средняя ширина одноколейной дороги на острове, которая составила 1.5 м.



**Рис 21. Плотность дорожной одноколёйно сети на территории острова Ольхон.**

По данным Прибайкальского Национального парка за 2012 г., мысы Хобой, Саган-Хушун и Шунте-Левый в период июль – август посетило более 7000 человек. Отмечено пребывание на острове в среднем 100–150 человек в день, не менее 15–20 машин в независимости от погоды, а в отдельные дни фиксировалось более 250 человек в день и не менее 40 единиц автотранспорта. Категории плотности, приведенные на карте (см. Рисунок 21), демонстрируют степень прямого техногенного воздействия и, как следствие, развитие ЭГП. Наиболее ярко это прослеживается на территориях, где коэффициент максимальной плотности дорожной сети более 0.6 и совпадает с площадями распространения неогеновых и четвертичных отложений.

По той же методике построена карта (Рисунок. 22) плотности освоения и использования заземли о. Ольхон. При ее построении учитывались площади, занятые поселками и пахотные угодья. В результате на карте хорошо отображена территория наибольших прямых техногенных влияний на геологическую среду от инфраструктурных и сельскохозяйственных объектов.



**Рис. 22. Карта плотности освоения и использования земли о. Ольхон.**  
**1 – низкая плотность (обособленные турбазы вне поселковых границ), 2 – средняя плотность (наличие больших турбаз, и пахотных полей), 3 – высокая плотность (поселки)**

## **Выводы**

Переформирование профиля береговой зоны острова происходит в унаследованных геолого-морфологических условиях района, но на современном этапе развития также зависит от природного уровненного режима озера в совокупности с техническими параметрами эксплуатации водохранилища.

Формирование современных генетических типов ольхонских берегов предопределено природно-техногенными и структурно-геологическими условиями региона, а также дифференцированными ветро-волновыми нагрузками. Совокупность этих условий определяет развитие структурно-абразионных и абразионных типов берегов, протяженность которых достигает 220.5 км, что составляет более 90 % от всей длины береговой линии. Доля современных аккумулятивных берегов составляет более 3 % от протяженности всего ольхонского побережья. Для берегов о. Ольхон установлено, что протяженность берега структурно-абразионного типа составляет 93.6 км, абразионного типа – 124.2 км, аккумулятивного типа – 7.2 км.

Интенсивное накопление биоты в мелких заливах обусловлено благоприятными условиями для их роста и накопления. Присутствие химических и биологических веществ, превышающих региональный фон и ПДК, в совокупности с понижением уровня Байкала и повышением температуры воды (июнь – июль) в этих заливах способствует формированию аккумулятивно-биогенного подтипа берега.

Характер и закономерности развития прямых туристско-рекреационных нагрузок приводит к изменению равновесия геологической среды. Свойств и особенность ее строения в совокупности с воздействиями от автомобильного транспорта и инфраструктуры способствуют формированию определенных экзогенных геологических процессов в частности развитие эрозионных процессов, деградации почвенного покрова, и подтопления.

## **ГЛАВА 4. ЭКЗОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ КАК ПОКАЗАТЕЛИ УСТОЙЧИВОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ОСТРОВА ОЛЬХОН**

В процессе определения устойчивости геологической среды большое значение имеет анализ современного развития экзогенных геологических процессов, их пространственно-временная динамика.

Для о. Ольхон характерно развитие следующих типов процессов: выветривание, гравитационные, эрозионные, карст, водного характера (подтопление и заболачивание), эоловые. Остальные процессы (сели, суффозионно-просадочные процессы, курумообразование и т.п.) имеют единичные на территории острова.

Развитие экзогенных геологических процессов обусловлено следующими факторами: типом геологического строения (генезис, литологический состав отложений), морфологией рельефа (расчлененность, крутизна склонов), состоянием и свойствами грунтов, гидродинамическими параметрами (уровень подземных вод), а также во многом предопределяется текущей техногенной нагрузкой. Совокупность условий и факторов определяет современное состояние геологической среды. Повсеместное развитие на территории острова имеют процессы выветривания,

### **4.1. Выветривание горных пород**

*Выветривание* горных пород является важным показателем устойчивости территории. Оно предопределяет развитие ряда процессов: обвалов, осыпей, оползней, эрозии и т. д.

Выходы коренных пород различной степени устойчивости с маломощным чехлом рыхлых отложений распространены в пределах среднегорного структурно-денудационного рельефа, подверженного процессам выветривания. Факторами, способствующими ускорению этого процесса, являются повышенная трещиноватость, резкие амплитуды

колебания температуры воздуха, отсутствие почвы и многократный переход температуры пород через изотерму 0 °С, особенно в зимние периоды. Дополнительный фактор, значительно усиливающий интенсивность процессов выветривания – сильная тектоническая раздробленность пород территории. Наличие древних и молодых разломов с присущими им мощными зонами трещиноватости определяет размер обломков горных пород, варьирующийся от 1.0 до 2.0 м, а в зонах разрывных тектонических нарушений – от 0.2 до 0.4 м [Пальшин, 1968].

Механизмы процесса выветривания в пределах района различные. В условиях сухого континентального климата в среднегорье преобладает избирательное физическое выветривание в виде температурной и морозной формы проявления (особенно в южных и северных частях острова), а с переходом на более низкие гипсометрические уровни – химическое и биохимическое выветривание [Атлас, Иркутская обл., 2004].

Благоприятные условия для температурного выветривания наблюдаются на Ольхоне в сухих выходах темноцветных коренных пород, открытых инсоляции. Территориально проявление температурного выветривания приурочено к крутым склонам южной экспозиции и степной части острова, сложенной гранитами, гранито-гнейсами, биотитовыми гнейсами. Преобразование этих пород происходит вследствие разрушения гранитов с последующим превращением в дресву и более мелкие частицы. В местах, где не происходит выноса частиц, наблюдается скопление глинистого материала. Биотитовые гнейсы образуют плитчатые остроугольные обломки размером 5–8 см. Гранито-гнейсы в процессе выветривания образуют крупнозернистый песок, смешанный с остроугольными обломками.

Морозное или механическое выветривание связано с расширением трещин при замерзании попавшей в них воды, что приводит к разрушению скальных пород в местах их выхода на поверхность и образованию глыбовых накоплений – осыпей и курумов. Интенсивность такой формы физического выветривания напрямую зависит от числа переходов температуры пород

через ноль градусов и повышенной увлажненности. Наиболее активно этот процесс активизируется поздней осенью и ранней весной в нижних частях скальных останцев и отдельных глыб в местах их контакта с рыхлыми отложениями или льдом в береговой зоне [Тржцинский, 2008].

Химическое и биохимическое выветривание горных пород на острове развивается под воздействием воды, кислорода, углекислоты и органических кислот, содержащихся в воздухе. Процессы химического выветривания активизируются в условиях положительной годовой температуры на сырых пониженных участках рельефа, сложенных тонкозернистым и дисперсным материалом у подножия делювиально-пролювиальных шельфов и дерново-растительным покровом в лесистой части острова. Наиболее характерные продукты данного типа выветривания – карбонатные соединения пород чернорудской свиты. Например, в результате накопления данных продуктов выветривания в бессточных котловинах на острове отмечено засоление почв, а также осаждение и накопление в донных отложениях озер Урен-Тер-Рей, Шара-Нур [Склярова и др., 2002; Козырева и др., 2011].

Отсутствие аллювиальных отложений вблизи скальных гребней, останцев и мысов, а также наличие открытых трещин связано с сильными (в порывах до 40 м/с) продолжительными (до 10 дней) ветрами [Атлас, Иркутская обл., 2004,], которые приводят к выдуванию мелкой фракции продуктов выветривания из коренных пород.

На острове существуют вполне определенные закономерности относительной устойчивости горных пород к выветриванию. Наименее устойчивы к процессам выветривания мраморы и сланцы, широко представленные на западном побережье, в пределах заливов Сарайский, Баян-Шунген, Саса и северной оконечности острова в районе мыса Саган-Хушин и г. Жима – их скорость выветривания составляет от 0.6 до 1.0 см/год. Устойчивость пород к выветриванию была определена на основе коэффициента выветрелости и скорости образования коры выветривания. Скорости выветривания пород, распространенных по берегам Байкала, были заимствованы из работ М.Д. Будза и Ю.Б. Тржцинского (1968 г.) (Таблица 5).

Таблица 5

## Скорости выветривания пород острова Ольхон

Скальные грунты, наиболее распространенные на острове Ольхон	Скорость выветривания, см/год (по М.Д. Будзу, Ю.Б. Тржцинскому, 1968 г.)	Коэффициент выветрелости (по Г.С. Золотареву, 1971 г.)
габбро-диабазы	0.15	0.30
кварциты	0.20	0.21
граниты мелкозернистые	0.30	0.61
гнейсы	0.60	0.36
амфиболиты	0.60	0.52
сланцы	0.60	0.67
пегматиты	0.70	0.97
граниты крупнозернистые	0.70	0.90
графитовые мрамора	0.75	0.96

Коэффициент выветрелости ( $V_c$ ) был определен из формулы (1), предложенной Г.С. Золотаревым в 1971 г.:

$$V_c = \frac{F_n - F_o}{F_n - F_a}, \quad (1)$$

где  $F$  – временное сопротивление сжатию;  $n$ ,  $o$ ,  $a$  – индексы, относящиеся к неветрелой, оцениваемой и предельно ветрелой породе, соответственно.

Выделяются четыре категории выветрелости горных пород: при  $0.9 < V_c < 1.0$  – сильно ветрелые; при  $0.7 < V_c < 0.9$  – ветрелые; при  $0.3 < V_c < 0.7$  – средне ветрелые; при  $0.0 < V_c < 0.3$  – слабо ветрелые. Ранжирование пород по степени устойчивости к процессам выветривания выполнено с учетом коэффициента выветрелости (Таблица 6).

Большинство кристаллических пород острова Ольхон обладают высокой способностью противостоять процессам выветривания. Развитие этих процессов совместно с климатическими условиями, тектонической раздробленностью и анизотропными свойствами пород способствует подготовке к развитию многих ЭГП. В целом, на о. Ольхон отмечаются проявления всех видов выветривания, однако в условиях аридного климата преобладающая роль в разрушении горных пород принадлежит физическому

выветриванию. Среди пород, слагающих остров, устойчивыми являются габбро, кварциты и граниты.

Таблица 6.

**Степень устойчивости пород к выветриванию**

Степень устойчивости	Характеристика
Неустойчивые	Породы очень сильно отличаются от материнских и состоят из средних и мелких кусков. Легко разрушаются вручную (механически), оставляя на руках мелкодисперсные частицы. У подножия склонов, сложенных породами этой группы, сосредоточены осыпи, а также песчаные или галечные пляжи. Значение коэффициента выветрелости превышает 0.7, скорость выветривания пород составляет более 0.6 см/год. В зонах наибольшего влияния агентов выветривания мощность коры выветривания превышает 2 м. Представлены песчано-дресвяными, пылеватыми и глинистыми отложениями.
Относительно устойчивые	Породы имеют трещины выветривания, разбивающие их на отдельные глыбы. В береговой зоне в клифах фиксируются отколовшиеся глыбы размером более 60 см в поперечнике. Значения коэффициента выветрелости изменяются от 0.3 до 0.7, скорость выветривания пород не превышает 0.6 см/год. В зонах наибольшего влияния агентов выветривания мощность коры выветривания не превышает 2 м и представлена щебнем.
Устойчивые	Породы не имеют визуальных признаков раздробленности, раскалываются только по скрытым плоскостям. Значение коэффициента выветрелости не превышает 0.3, скорость выветривания пород не более 0.1 см/год.

**Примечание:** коэффициент выветрелости был рассчитан на основе данных о временном сопротивлении сжатию. Категории сильновыветрелых и выветрелых пород отнесены к одной степени, поскольку их характеристики сходны.

Скорость их разрушения – 0.1–0.3 см/год, причем относительно устойчивыми являются амфиболиты, гнейсы, сланцы со скоростью разрушения 0.6 см/год. К сильно подверженным выветриванию породам можно отнести графитовые мраморы, крупнозернистые граниты и пегматиты. Скорость выветривания этих пород значительна и составляет более 0.6 см/год.

#### 4.2. Гравитационные процессы и формы их проявления на природных склонах

Исследованию склоновых процессов уделяется очень большое внимание. Особенности формирования склонов отражаются, прежде всего, в их морфологии: крутизне, длине, форме профиля. Наиболее удачное деление по крутизне склонов предложено Г.И. Рычаговым, который разделяет склоны

на очень крутые ( $\alpha > 35^\circ$ ), крутые ( $\alpha = 15\text{--}35^\circ$ ), средней крутизны ( $\alpha = 8\text{--}15^\circ$ ), пологие ( $\alpha = 4\text{--}8^\circ$ ), очень пологие ( $\alpha = 2\text{--}4^\circ$ ) [Рычагов, 2006]. Такое деление дает возможность судить о характере и интенсивности гравитационных процессов, происходящих на склонах, о возможных путях использования склонов в хозяйственной деятельности.

Важную роль в формировании гравитационных процессов играет крутизна склонов. При оценке устойчивости склона важно учитывать его структурно-геологическое строение и уклон поверхности. Морфометрический анализ является эффективным методом при оценке устойчивости. Такой анализ рельефа, проведенный для территории о. Ольхон, выполнен с помощью ГИС путем построения цифровой модели рельефа (ЦМР). В качестве основы использованы результаты радиолокационной съемки «*Shuttle Radar Topographic Mission*» (SRTM), предназначенной для построения высокоточной сети глобальной ЦМР. Точность построения ЦМР позволят выделять наиболее благоприятные территории развития гравитационных процессов. На территории острова встречаются склоны с крутизной до  $90^\circ$ . Поверхности с крутизной до  $8^\circ$  занимают 39.6 % территории. В геоморфологическом отношении они соответствуют равнинам. В горной части острова такая крутизна склонов чаще всего отмечается в котловинах или сохранившихся педиментах древнего добайкальского рельефа. Склоны средней крутизны развиты в горных частях острова, особенно вдоль речных палеодолин, и представляют собой предгорные шлейфы или склоны песчаных массивов, покрытые сосновым лесом. Крутые склоны ( $16\text{--}35^\circ$ ) занимают  $\sim 26.3$  % территории, здесь встречаются такие процессы, как крип и плоскостной делювиальный снос. Эти склоны в основном сосредоточены в средней (район пади Ташкиней) и южной частях острова. Обрывистые склоны с углом наклона более  $35^\circ$  находятся в береговой зоне о. Ольхон и особенно ярко представлены вдоль восточного и северной части западного побережья, а также в пределах мысов острова.

В развитии процессов формирования осыпей на территории о. Ольхон играет существенную роль денудационный процесс, преобладающий в береговой зоне восточного побережья. Осыпи развиваются на склонах, сложенных скальными и полускальными породами. Их площади нередко достигают довольно значительных размеров, сливаясь иногда в сплошные шлейфы вдоль подножья крутых скальных бортов. По гранулометрическому составу осыпи представляют собой щебнисто-дресвяные образования с включением одиночных глыб. Глыбы и более крупный щебень обычно отлагаются в нижней части склона, более мелкий обломочный материал – в вершинах конусов. Крутизна конусов, как правило, близка к углу естественного наклона отложений, слагающих осыпи. По мере приближения к вершине конусов угол наклона увеличивается, что свидетельствует об их неустойчивом состоянии. Основная масса рыхлообломочного материала поступает на конусы осыпей в конце весны, летом и в начале осени. В эти периоды происходит наибольшее движение осыпного материала под действием текучих вод и гравитации. Снос рыхлого материала с осыпей в речную сеть обеспечивает временные потоки, образующиеся в периоды ливней и таяния снега в камнесборных бассейнах. Уклоны склона колеблются от 8 до 45° [Янковский, Козырева, 2008].

*Обвалы* на о. Ольхон наиболее часто развиваются на склонах крутизной более 80°, сложенных скальными трещиноватыми породами. Максимальное количество проявлений процесса данного типа приурочено к клифам восточного побережья острова. Подавляющее большинство крупных и значительное число средних и мелких обвалов, вероятно, обусловлены высокой сейсмичностью региона, которая является триггером, подготовленным процессами выветривания и денудации, а также трещиноватостью горных пород. При обрушении отдельные блоки обваливаются или вываливаются из откоса с некоторым поворотом к его основанию. Средние и мелкие обломки горных пород, падающие к

подножию склона, частично перерабатываются озером в период штормов и перемещаются вдоль берега.

*Оползни* на острове распространены, в большинстве случаев, в береговой зоне северо-западного побережья. Интенсивная подрезка склонов абразией в совокупности с редкими, но мощными одномоментными атмосферными осадками и чрезмерным увлажнением отложений (в результате деградации мерзлоты) в отдельных частях острова приводит к формированию оползней и деформации склонов. В береговой зоне можно наблюдать разнообразные типы оползней с различным механизмом смещений. В мысовых частях заливов встречаются небольшие блочные оползни в скальных породах: сплывы и мелкие оползни-потоки развиты в местах распространения рыхлых отложений. В бухтах со значительным чехлом неоген-четвертичных отложений формируются более глубокие оползни. Отложения, в которых развиты оползни, по генезису можно разделить на аллювиально-делювиальные, озерные, озерно-болотные. Они представлены супесями с включениями щебня и дресвы, суглинками и глинами [Пеллинен, 2015].

Оползневой *участок «Сарайский»* расположен в самой северной части одноименного залива. По берегу залива расположены значительные эоловые поля. Оползень состоит из нескольких разноуровневых оползневых ступеней, причем первая из них самая внушительная. Ступени разделены четко выраженными оползневыми рвами. На оползневых ступенях туристы организовали уединенные места отдыха. Верхняя часть разреза – более мелкий песок, имеющий эоловый генезис; далее залегает песчаная толща байкальских террас – более крупный озерный песок; ниже песчаной толщии расположен выветрелый (до состояния глины) коренной массив, который и является основной областью пластических деформаций. Сарайский оползень возник катастрофически быстро в короткий промежуток времени. Зона смещения приурочена к глинистым отложениям и имеет в разрезе дугообразную форму (кругло-цилиндрическая поверхность скольжения), в

результате чего оползневые ступени являются запрокинутыми под склон основного массива. Протяженность вдоль берега оползневого цирка составляет 132 м и захватывает склон вглубь на 54 м, а площадь, пораженная деформациями, составляет 28785 м<sup>2</sup>. В настоящее время основная часть оползневого участка стабильна. Мощность оползневых масс достигает 25 м в верхней части массива. Объем оползневого тела, смещающегося по круглоцилиндрической плоскости скольжения, составляет около 201306 м<sup>3</sup>. Оползневые ступени разрушаются вторичными процессами. Активно деформируется верхняя бровка стенки срыва оползня. На стенке срыва проявляются обрушения в виде оседания мелких ступеней и осыпания песка (Рисунок 23) [Козырева, Пеллинен, 2012; Козырева и др., 2014].



**Рис. 23 Сарайский оползень.**

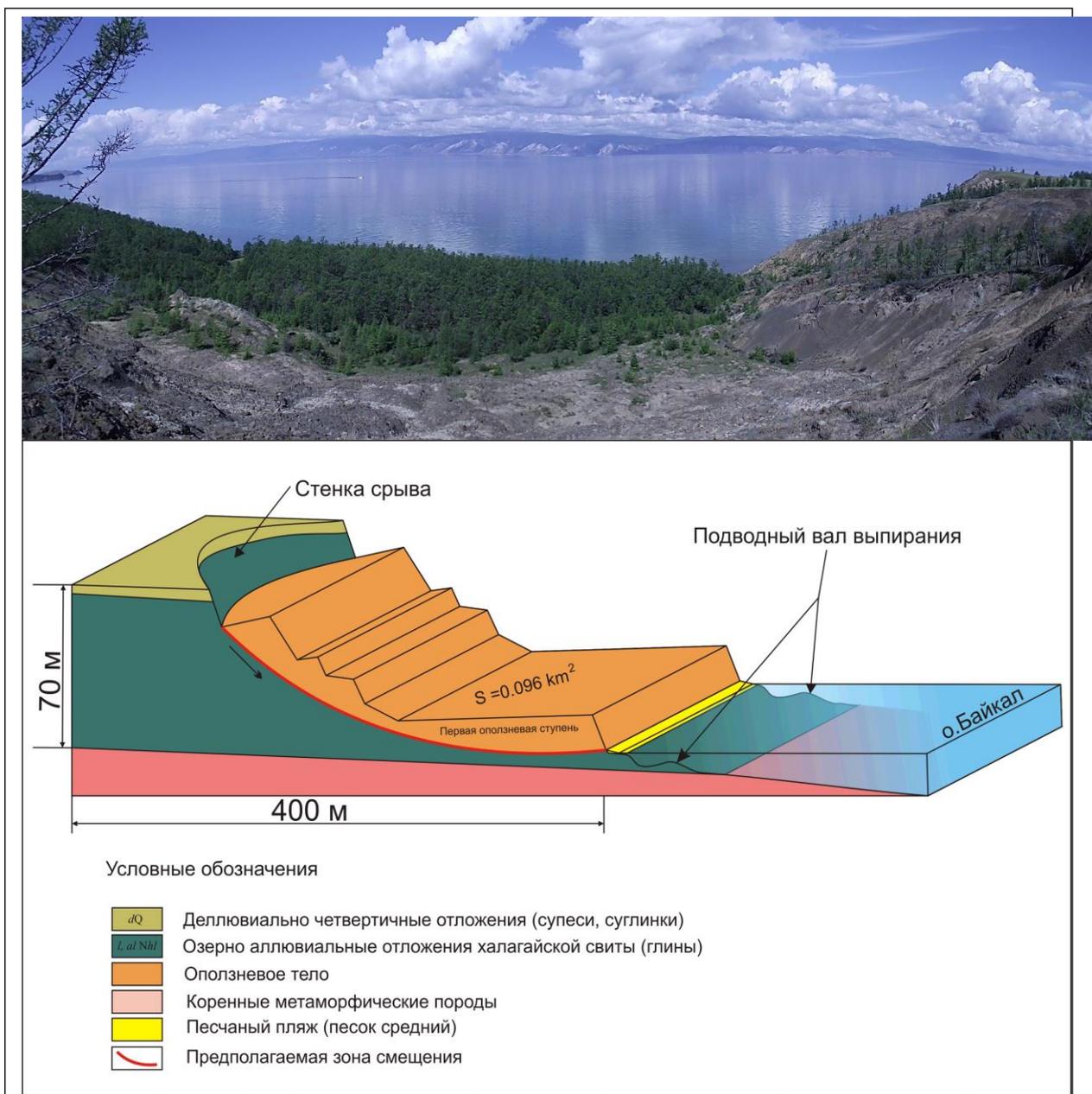
Оползневой *участок «Саса»* находится в районе одноименного мыса. Его формирование происходило в два этапа. Сначала сформировался первый цирк в результате сползания крупной оползневой ступени с лесом площадью, равной 0.0967 км<sup>2</sup>. Вторым этапом стало образование серии меньших по размеру оползневых ступеней на протяжении около 400 м (вглубь склона на 340 м). В пределах первого оползневого цирка шириной 180 м выделяются

две крупные оползневые ступени. Первая ступень шириной 195 м в настоящее время размывается водами озера: она разбита свежими трещинами и на ее поверхности наблюдаются бурелом и «пьяный» лес. Прослеживается четко выраженный оползневый ров – глубокий и обводненный. Медленные пластические деформации в массиве приводят к образованию глубоких и протяженных трещин, заколов и навалов деревьев. Вторая ступень меньших размеров и шириной 40–45 м круто запрокинута под склон. Четко выражена стенка срыва крутизной  $44^\circ$ , на ней формируются и смещаются вторичные мелкие оползневые блоки и оползни-потоки. Выше бровки срыва по склону видны свежие заколы и трещины. Новые оползневые деформации проявляются в южной и северной части участка. Проявление оползневой активности на исследуемом участке побережья вызвано ветро-волновой нагрузкой на склон и особыми свойствами грунтов, слагающих побережье. Сасинский оползень находится в активной стадии своего развития, каждый год происходит обновление оползневых форм. Первая крупная оползневая ступень размывается водами Байкала, смещаясь в озеро. В настоящее время площадь оползня составляет  $0.1034 \text{ км}^2$ , а объем смещающихся горных масс – 3129 тыс.  $\text{м}^3$  (Рисунок 24).

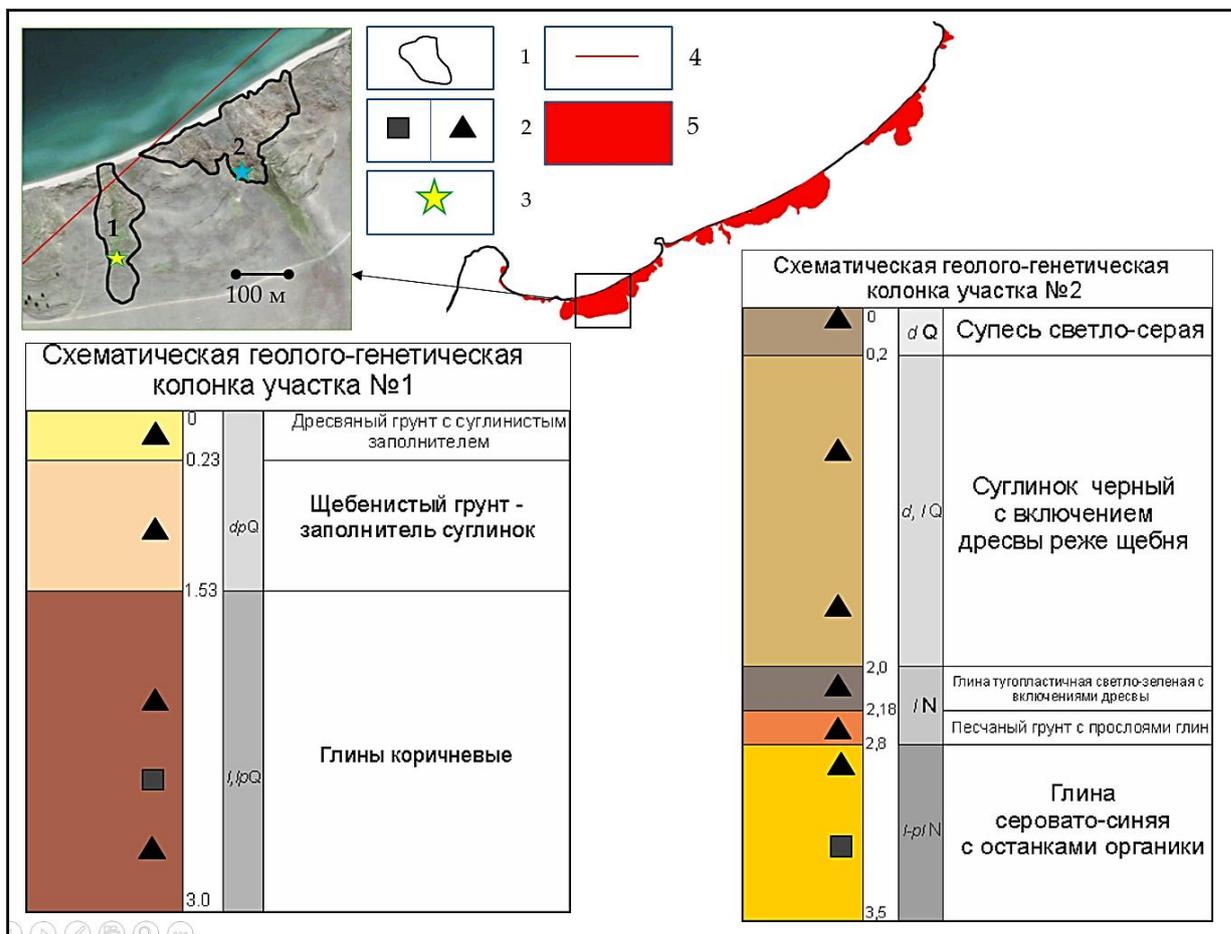
Оползневому процессу наиболее подвержен береговой склон заливов Харалгайский и Баян-Шунген. Здесь на ключевом *участке «Харалгайский»* характерны унаследованные солифлюкционные оползни консеквентной структуры (Рисунок 25). В геологическом отношении склон представлен переслаивающимися толщами глин и суглинков с включениями щебня и линз песка различного генезиса неоген-четвертичного возраста. Деформированные склоны с длительной активной стадией смещения глинистых пород имеют четко оконтуренные корытообразные цирки со ступенями высотой до 1–2 м [Хименков и др., 2016; Пеллинен, 2012].

снимке 1953 г. при дешифрировании был выявлен сформировавшийся в пределах данной поверхности оползневый поток площадью  $0.0016 \text{ км}^2$ . Полевые работы последних 10 лет и анализ современных космоснимков

данного участка указывают на незатухающую активность оползневого процесса. В настоящий момент площадь этой формы увеличилась до  $0.013 \text{ км}^2$ , что превышает показатель 1953 г. в восемь раз. Объем сместившихся масс составляет  $15600 \text{ м}^3$  [Козырева и др., 2011]. Общая протяженность берега, пораженного солифлюкционными оползнями, составляет более 7 км, а их площадь равна  $1.34 \text{ км}^2$  [Хименков и др., 2016; Пеллинен, Козырева, 2015].



**Рис. 24. Сасинский оползень.**



**Рис. 25. Харалдайские оползни. 1 - контуры исследуемых оползней; 2 – место отбора образцов нарушенного и ненарушенного сложения (монолит 20 × 20 × 20); 3 – место проходки шурфов; 4 – разлом; 5 – площади оползней в заливе Баян-Шунген.**

На Ольхоне можно выделить два генетических типа солифлюкционных оползней. Первый тип – смещение масс грунта происходит на участках оттаивания многолетних грунтов. Второй тип – смещение по границе талого слоя в толще сезонно-мерзлых грунтов. Формы первого генетического типа имеют более глубокие поверхности скольжения, высота бровок срыва таких оползней достигает 5–10 м, что приводит к формированию оползневых форм, сильнее выраженных в рельефе. Второй генетический тип наиболее динамично развивается в настоящее время. Активизация и развитие таких деформаций связана с вязкопластичными процессами в приповерхностной зоне. Динамику солифлюкционных оползней можно определить с помощью дешифрирования аэрофото- и космоснимков. Интерпретация снимка 1950 г. позволила выделить поверхность, разделяющую два оползневых цирка. На

Наиболее активные формы оползней локально отмечаются и в других заливах северо-западного побережья в местах залегания неогеновых глин, имеющих специфические свойства. На таких территориях солифлюкционные смещения выступают в роли ведущего процесса преобразования берегового склона.

Характер и интенсивность описанных выше гравитационных процессов меняются не только в пространстве, но и во времени. При редких и локальных ливневых дождях или интенсивном весеннем снеготаянии их активность резко возрастает, особенно в местах с нарушенным почвенно-растительным слоем, являясь следствием активного антропогенного воздействия. Значительное насыщение грунтов влагой, наряду с осыпными и обвальными процессами, провоцирует оползни. Анализ характера гравитационных процессов показывает хорошую корреляцию этих процессов (осыпи и обвалы) с морфологическими особенностями территории, что свидетельствует об их зональности. Другие типы склоновых процессов проявляются на территориях острова, различных по геолого-морфоструктурному строению. К ним относятся оползневые смещения, требующие не только изучения геоморфологических условий, но и детального исследования состава и физико-механических свойств грунтовой толщи с целью понимания механизма и причин их образования. Особенно это относится к оползням, имеющим свойство быстро и кардинально менять рельеф, отражающийся на устойчивости территории.

#### **4.2.1. Среда развития оползневых деформаций**

Изучение деформационно-прочностных и физико-химических свойств глин неогенового и четвертичного возраста как среды развития оползней, по которым происходят смещения, выполнены на базе лаборатории инженерной геологии и геоэкологии ИЗК СО РАН. При исследовании свойств этих отложений выполнена оценка прочностных параметров разновозрастных глинистых образований, влияющих на устойчивость склонов. Для

определения стандартной прочности отобрано 86 образцов из рыхлых грунтов разного генезиса и возраста, из которых для эксперимента в пределах четырех ключевых участков взяты монолиты в количестве 24 шт. и проведены повторные определения с целью исключения ошибки эксперимента (Рисунок 26).

В ходе лабораторных исследований дисперсных грунтов установлено, что по гранулометрическому составу их большая часть представлена глинами и суглинками. Эти отложения обладают сильной агрегированностью, что связано с температурным воздействием на грунт. Содержание глинистой фракции по всем образцам составляет в среднем 17.2 %. Дисперсная подготовка образцов к анализу позволила выделить действительное содержание глинистой фракции, которое находится в пределах 63–72 %. Это очень высокие показатели, так как для лессовых образований из районов Иркутска они составляют 22 %, для Приморья – 38 %, а для Монголии – 24 %. [Рященко и Пеллинен, 2016] Возможно, что показатели физического состояния и пластичности опробованных грунтов определяют вероятность возникновения деформаций склона.

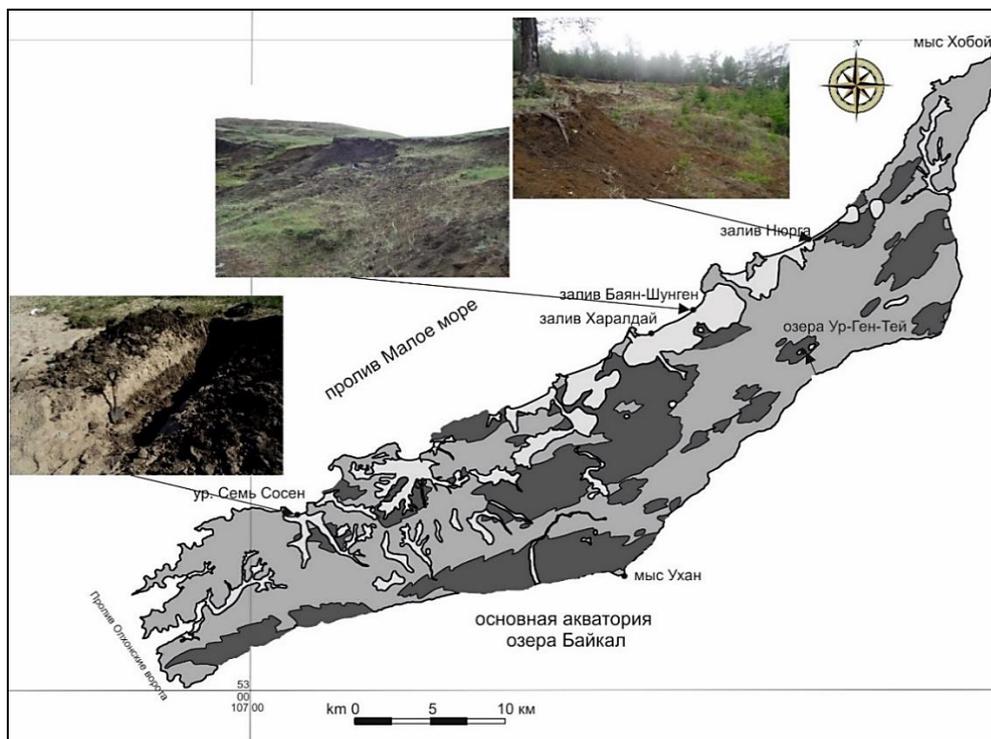


Рис 26. Точки отбора монолитов.

Показатель текучести варьируется от 0.60 до 0.65 и соответствует мягкопластичной консистенции грунта. Предел текучести изменяется от 48.1 до 50.8 %, природная влажность – от 42 до 43.6 %, значит, отложения водонасыщены и находятся в состоянии перехода в текучую стадию [Козырева и Пеллинен, 2016]. О прочностных характеристиках можно судить по сцеплению ( $c$ ), которое по всем образцам в среднем составляет 0.06–0.07 МПа, угол внутреннего трения ( $\varphi$ ) изменяется от 17 до 31° при влажности 20.4–35.6 %, что соответствует низким деформационно-прочностным характеристикам.

Установлено, что агрегированность рыхлых образований значительна – количество агрегатов превышает 40 %. Это соответствует скелетному типу микроструктуры, а структурная модель глинистых грунтов – тонко-мелкопесчаная агрегированная. Отмечено преобладание структурных элементов тонко-мелкопесчаной размерности (0.25–0.05 мм), (Таблица 7), [Рященко, Пеллинен, 2016].

Таблица 7

**Результаты гранулометрического анализа, неогеновых отложений о. Ольхон (n=24)**

Отложения	Содержание фракции частиц, %					
	Средне-крупнопесчаная (1.00–0.25 мм)	Тонко-мелкопесчаная (0.25–0.05 мм)	Крупно-пылеватая (0.05–0.01 мм)	Мелко-пылеватая (0.01–0.002 мм)	Грубо-глинистая (0.002–0.001 мм)	Тонко-глинистая (< 0.001 мм)
N <sub>1</sub>	0.3	41.1	35.6	22.8	0.1	0.1
	0.2	2.1	4.8	55.8	14.7	22.4
	0.1	0.2	0.5	2.8	5	91.4

**Примечание:** Верхняя строка – результаты гранулометрического анализа с агрегатной подготовкой образца, средняя – то же с полудисперсной (стандартной) подготовкой, нижняя – то же с дисперсной подготовкой;  $n$  – количество образцов.

Основные структурные связи формируются за счет глинистого материала (44.30–96.4 %), карбонатов (13.14–27.41 %), аморфных оксидов (15.85–8.8 %), кремнезема (3.5–4.4 %) и подвижных форм оксида алюминия (3.17–1.38 %). Роль водорастворимых солей в данном случае незначительна, так как их содержание незначительно (0.32–0.69 %). Дополнительное

увлажнение отложений способно вызвать частичное разрушение структурных связей и привести к различным деформациям. Проявление значительной усадки (24–27 %) способствует их разуплотнению, кроме того, глинистые образования обладают повышенной пластичностью (24–18 %) и существенным потенциалом проявления пывунных свойств (седиментационный объем составляет 3.2–5.4 см<sup>3</sup>).

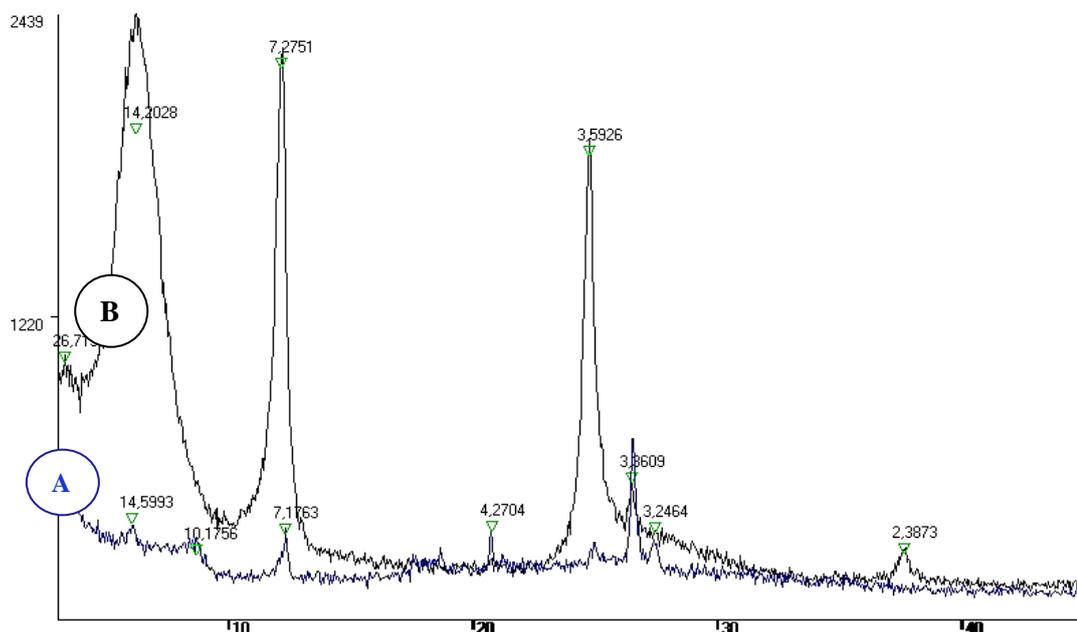
Исследование глинистых минералов проведено с помощью дифрактометра ДРОН-3.0 российской фирмы «Буревестник». Для суглинков четвертичного возраста установлен полиминеральный состав глинистой фракции: смектит, гидрослюда, хлорит и смешаннослойные минералы типа хлорит-смектит, гидрослюда-смектит, возможно, следы каолинита (Рисунок 27). Глины неогенового возраста отличаются достаточно однородным составом (смектит, каолинит). Содержания смектита и каолинита в глинистой фракции практически одинаковые [Рященко, Пеллинен, 2016].

В результате анализа состава и свойств дисперсных неоген-четвертичных отложений установлены особенности характера структурных связей и сделан вывод об устойчивости склона, в разрезе которого они присутствуют.

Проведенные лабораторные исследования прочностных свойств разновозрастных глинистых образований позволили выделить неогеновые глины в качестве потенциальных зон пластических деформаций. Проведенные испытания показали, что данные отложения имеют самые низкие деформационно-прочностные характеристики [Пеллинен, 2015].

Физическое состояние (плотность скелета, влажность и коэффициент пористости) неогеновых глин характеризуется значительным разуплотнением, которое вызвано реализацией процессов набухаемости и пучинистости. Поскольку глинистая фракция здесь присутствует в значительных количествах (> 90 %) и в ее составе имеется набухающий минерал смектит, то грунт должен проявлять набухаемость. Однако этого не происходит, что связано с постгенетическими процессами,

преобразовавшими структурные особенности и физико-механические свойства глин.



**Рис. 27. Сопоставление фазового состава глинистых отложений неогенового возраста острова Ольхон.**

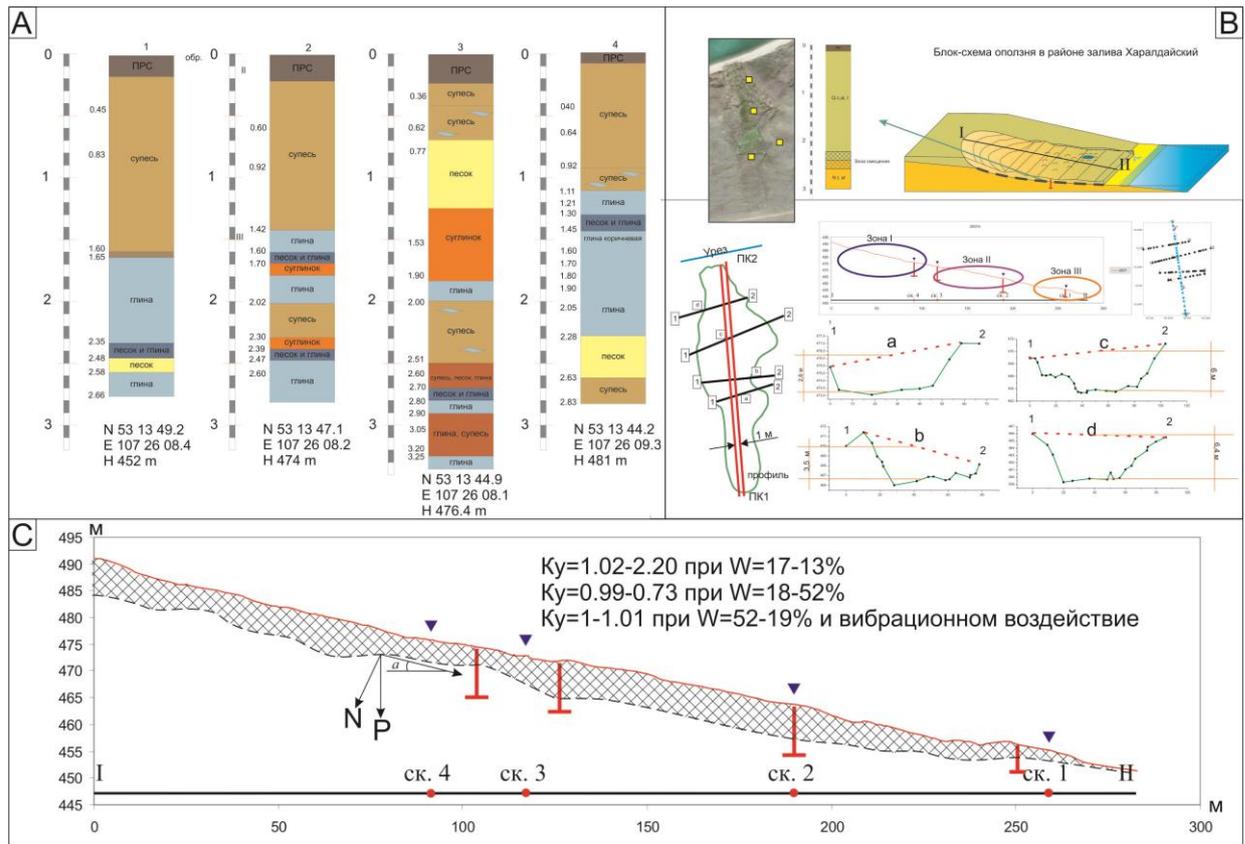
**А – на глубине 0.5 м; В – на глубине 4 м**

#### **4.2.1.1. Отложения неогенового возраста**

Указанные выше особенности рыхлых отложений в пределах участков, осложненных оползнями, обуславливают необходимость детального анализа свойств отложений неогеновых глин. Именно эти глины являются средой развития оползневых смещений.

Образцы неогеновых глин отобраны на ключевом участке наблюдения за оползневым процессом в заливе Баян-Шунген (Рисунок 28).

*Гранулометрический состав.* По данным стандартного полудисперсного гранулометрического анализа (Таблицу 7), грунт характеризуется содержанием глинистой фракции (< 0.002 мм) до 37.1 %, а пылевой – 60.6 %. Количество агрегатов достигает 96.2 % и состоят в основном из тонкоглинистых частиц, реальное содержание которых достигает 91.4 %. Это свидетельствует о том, что неогеновые глины претерпели перестройку микроструктуры.



**Рис. 28. Ключевой участок: А - разрезы скважин; В - морфометрические характеристики участка и расположение скважин; С – разрез оползня, по которому определялся коэффициент устойчивости.**

*Физико-механические показатели глин* имеют высокие значения и оказывают непосредственное влияние на оползневые процессы, что приводит к снижению устойчивости геологической среды. Отложения являются нормально пластичными (число пластичности 24 %), не набухают (относительная набухаемость 1.3 %), проявляют объемную усадку (23.6 %). Отмечается средняя степень карбонатизации ( $S_{кр}$  – 13.1 %) при сходных содержаниях  $CaCO_3$  (5.99 %) и  $MgCO_3$  (5.64 %), а также нейтральная реакция кислотности среды (рН – 6.6). Такие показатели свидетельствуют о влиянии геокриологических процессов, связанных с сезонным промерзанием и оттаиванием. Неогеновые глины являются разуплотненными (плотность скелета от 1.12 до 1.50 г/см<sup>2</sup>), имеют пониженную прочность от 0.03 до 0.05 МПа, в результате чего и происходит смещение, особенно при увеличении

естественной влажности, которая изменяется в течение теплого периода от 31.8 до 51.1 % (Таблица 8).

Физико-механические свойства глин свидетельствуют о том, что формирование этих отложений происходило при смене типов литогенеза: от теплого гумидного на стадии седиментогенеза до холодного семиаридного в постдиагенетическую стадию развития в плейстоцене [Рященко, Пеллинен, 2016]. Криогенные воздействия привели к формированию значительного количества агрегатов, преимущественно крупнопылеватого размера (0.05–0.01 мм), за счет тонкоглинистых частиц (< 0.001 мм). Аналогичные процессы происходили в лессовых покровах ангарских террас ( $dQ_{III}$ ) [Рященко и др., 1992].

Таблица 8

**Показатели физического состояния неогеновых отложений  
в естественных условиях**

Глубина отбора монолита, м	$\rho$	$\rho_d$	$\rho_s$	$n$	$e$	$СМПа$	$\varphi$
3.1	1.86	1.4	2.72	48.53	0.943	0.04	11.5°
2.8	1.74	1.4	2.64	46.98	0.886	0.05	11.5°
3.5	1.72	1.38	2.64	47.72	0.913	0.03	11.5°
3.8	1.83	1.44	2.66	45.86	0.847	0.03	11.5°

**Примечание:**  $\rho$ ,  $\rho_d$ ,  $\rho_s$  – плотности (г/м<sup>3</sup>): природная, скелета, минеральной части грунта, соответственно;  $n$  – пористость (%);  $e$  – коэффициент пористости;  $СМПа$  – сцепление в мегапаскалях;  $\varphi$  – угол внутреннего трения.

Прочностные параметры грунта определяют его способность сопротивляться внешним усилиям и определяются при критических нагрузках, действующих на грунт в момент его разрушения. Наиболее используемым способом исследования дисперсных грунтов является их испытание на определение прочности при смещении одной части грунта относительно другой под действием касательных напряжений. Минимальная величина касательных напряжений, посредством которых происходит разрушение, получила название «сопротивление сдвигу» –  $\tau$ , МПа. [Лысенко, 1972; Сергеев, 1985].

В практике инженерно-геологических исследований применяются две схемы испытаний грунта на сдвиг [Ломтадзе, 1990]. Первая схема – быстрый сдвиг без предварительного уплотнения при вертикальных нагрузках, не превышающих структурную прочность грунта, природное давление или давление от сооружения; сдвигающее усилие прикладывается сразу после действия вертикальной нагрузки; длительность опыта 5–10 минут. Вторая – медленный сдвиг после предварительного полного уплотнения (условия завершённой консолидации) при вертикальных нагрузках, соизмеримых с давлением от сооружения; сдвигающая нагрузка передается ступенями – каждая новая ступень прикладывается после завершения деформаций от предыдущей нагрузки. Вторая схема является стандартной и рекомендована нормативами [ГОСТ 12248-2010, 2010].

Используемая методика исследования прочностных свойств дисперсных грунтов заключалась в проведении серии стандартных сдвиговых испытаний для образцов-дубликатов ненарушенной структуры (природная плотность и влажность), а также увлажненных до состояния пластичности. Дополнительно проведена оценка тиксотропных свойств грунтов, позволяющая определить потенциал их динамического разупрочнения [Акулова, 1994]. Тиксотропия – способность дисперсных грунтов к обратимым переходам из статичного состояния в подвижное под воздействием динамической нагрузки при неизменных влажности и температуре [Рященко, 2010]. Источники динамической нагрузки могут быть как природные (сейсмические толчки), так и техногенные (движение транспорта, строительные работы). Для исследуемой территории данная методика применена впервые.

Исследование тиксотропных свойств глинистых грунтов выполнено с помощью виброплощадки 435-А с частотой колебаний 50 Гц и амплитудой 0.85 мм. Время вибрации составило 30 с. В качестве показателя прочности использовали сопротивление сдвигу. Измерения проводили до и после вибрационных воздействий по схеме быстрого сдвига при следующих

вертикальных нагрузках: 0 (без нагрузки); 0.05 МПа и 0.10 МПа (Рисунок 29).

В ходе лабораторного эксперимента, выполненного автором по методике В.В. Акуловой (1994), сопоставлен характер изменения прочности (сопротивление сдвигу) неогеновых глинистых отложений, полученных при различных условиях сдвиговых испытаний (природное состояние; увлажненное состояние; после вибрации природного и увлажненного грунта), соответствующих определенной вертикальной нагрузке.

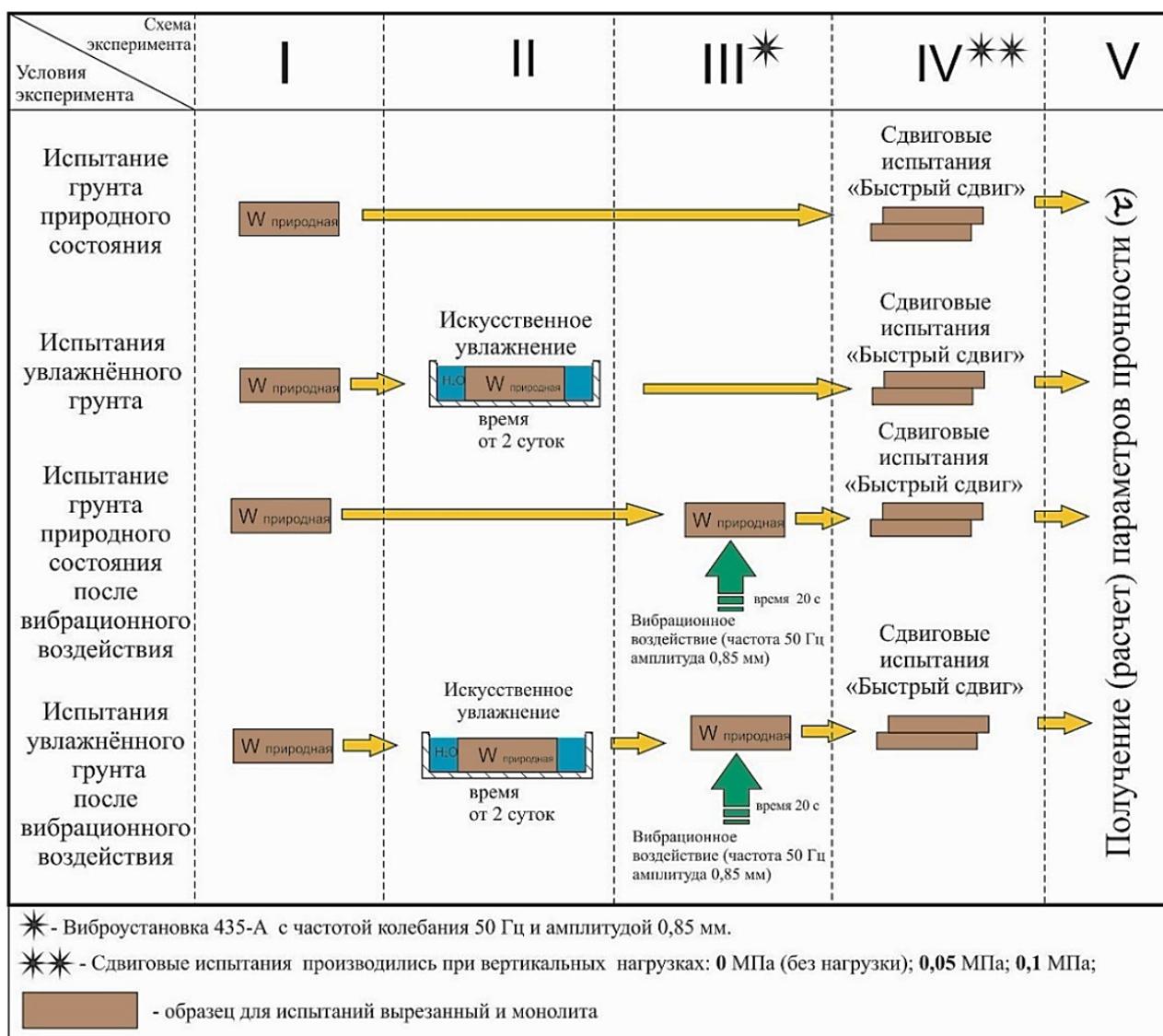


Рис. 29. Схема проведения эксперимент

Это позволило установить следующее: особенности глинистых грунтов ненарушенного сложения характеризуются относительно повышенными значениями прочности; процесс увлажнения грунтов сопровождается значительным снижением прочности. Однако при вибрационном воздействии тиксотропного разупрочнения не установлено (Рисунок 30).

Для склонов, в разрезе которых присутствуют глинистые отложения неогенового возраста, рассчитан коэффициент устойчивости по типу оползней консеквентной структуры. Этот метод применим к оползням, для которых характерна плоская, плоскоступенчатая или волнистая наклонная поверхность скольжения.

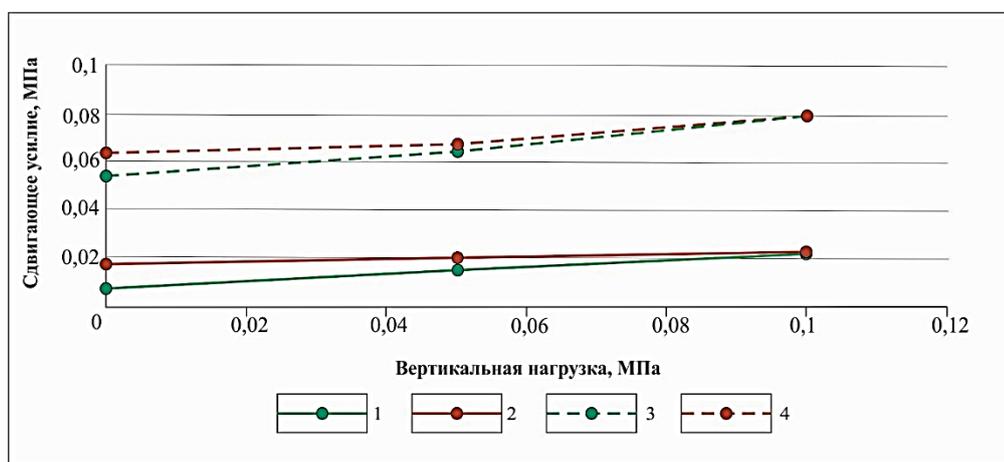


Рис 30. Представительный образец глинистых отложений неогенового (N<sub>2</sub>) возраста.

1 – увлажненный образец; 2 – увлажненный образец после вибрации; 3 – образец естественного состояния; 4 – образец после вибрации.

Условия равновесия оползня по плоскости скольжения I – II (Рисунок 28 В, С) определяются уравнением (2) [Емельянова, 1972].

$$T = Ntg\varphi + CL, \quad (2)$$

где  $T$  – составляющая силы тяжести (от общего веса пород ( $P$ ), слагающих оползень), стремящаяся сдвинуть оползень;  $T = P \sin \alpha$ , тс,  $N$  – составляющая силы тяжести, стремящаяся удержать оползень в равновесии;  $N = P \cos \alpha$ , тс,  $tg\varphi$  – расчетный коэффициент внутреннего трения пород, образующих поверхность скольжения из зоны, прилегающей к этой поверхности;  $C$  – расчетное сцепление пород, образующих поверхность скольжения или

слагающих зону, прилегающую к этой поверхности, тс/м<sup>2</sup>;  $L$  – длина поверхности скольжения I – II (Рисунок 29), м;  $\alpha$  – угол наклона поверхности скольжения. Расчет выполняют для массива пород шириной 1 м, выделяемого по линии расчетного геологического разреза. Здесь подразумевается, что поверхность скольжения – плоскость, имеющая однородный наклон. Определив площадь  $S$  (м<sup>2</sup>) и соответственно объем  $V$  (м<sup>3</sup>) на основе инструментально установленной мощности оползневого массива, определен его вес  $P = Vy$ , где  $V$  – объем выделенного массива,  $V = S \cdot l$  м<sup>3</sup>;  $y$  – расчетная плотность горных пород, слагающих оползень, тс/м<sup>3</sup>. Определение величины составляющих сил  $T$  и  $N$  позволяет рассчитать коэффициент устойчивости оползня. Расчет показал, что значения коэффициента устойчивости западного склона на оползневом участке «Харалдайский» при влажности от 13 до 17 % изменяются от 2.20 до 1.02. Эти значения свидетельствуют о наличии запаса устойчивости берегового склона. Увеличение влажности до 52 % снижает коэффициент до 0.73, что приводит к потере устойчивости грунтов и, как следствие, к смещению оползней в естественных условиях. Однако в ходе эксперимента установлено, что глины при вибрационных нагрузках имеют способность уплотняться. При уплотнении грунтов происходит повышение коэффициента устойчивости до значения 1.07, а, следовательно, приводит к стабилизации склона.

Таким образом, вышеописанные прочностные свойства и физико-химические показатели, вызывающие ослабление глин, обуславливают формирование оползневых процессов в береговой зоне острова. Однако специфическое поведение глинистых грунтов при вибрационном воздействии (увеличение прочности) может приводить к их уплотнению в массиве.

Проявление оползневого процесса на ключевом участке вызвано, в первую очередь, наличием в грунтовом разрезе неогеновых алевроитовых глин, насыщенных водой. Во-вторых, отложениям неогенового возраста

свойственно понижение прочностных характеристик, а именно, угла внутреннего трения  $\varphi$  и сцепления  $C$ , в результате увеличения влажности до 52 %, а также высокой агрегированности глин.

Данные отложения являются главным фактором в формировании оползней на острове, а значит, наличие этих отложений в береговой зоне острова является одним из показателей, приводящих к снижению общей устойчивости геологической среды исследуемой территории.

### **4.3. Эрозионные процессы**

В целом, эрозионные процессы на острове имеют локальное распространение. Это связано с геологическими условиями территории, а именно небольшими мощностями и быстрой инфильтрацией склоновых отложений. Однако территория имеет благоприятные геолого-геоморфологические условия и предрасположена к довольно интенсивному процессу оврагообразования.

По глубине расчлененности рельефа выделяются области: юго-западная оконечность острова (превышение водоразделов над базисом эрозии – уровнем оз. Байкал – 150–250 м); северо-западное крыло (250–300 м) и юго-восточное крыло (500–800 м). Крутизна склонов закономерно увеличивается линейными зонами с северо-запада от 2–8 до 20° и более – вдоль юго-восточной полосы побережья острова [Тржцинский и др., 2007; Мазаева, 2005].

Главным образом линейная эрозия локализуется на поверхностях озерно-болотных, элювиальных отложений и пролювиально-делювиальных склоновых образований неоген-четвертичного возраста, представленных облессованными супесями и суглинками, а также выходами кор выветривания. Эрозионные формы природного генезиса на острове, в зависимости от морфологических характеристик, подразделяются на донные и склоновые [Мац, 2012].

На острове встречаются как унаследованные природные формы с небольшой современной динамикой развития, так и техногенные, образованные чрезмерной антропогенной нагрузкой на территорию.

Одна из таких форм находится в пади северо-западной части острова, тяготеющей к побережью Малого моря в районе мыса Будун. В своей нижней части овраг представляет балку с высокими бортами до 15 м и крутизной от 40 до 70° и шириной до 3 м. Такая крутизна обеспечивается составом пород, в частности выветрелыми до состояния глин пегматитами. В верхней части овраг представлен в виде двух довольно протяженных ветвей шириной 5–10 м, заканчивающихся множеством вершин. Верхняя ветвь развивается в неоген-четвертичных отложениях, где отмечаются максимальная глубина вреза (до 3 м) и довольно пологие склоны (от 10 до 15°). Суммарная протяженность оврага составляет 900 м, глубина вреза в устьевой части – 15 м. Второй участок, на котором расположены эрозионные формы – это склон, находящийся в 500 м на юго-запад от поселка Ялга (в переводе с бурятского языка «ялга» – овраг, ложбина, падь). Здесь в пределах склона развиты две эрозионные формы, вытянутые вдоль склона. Протяженность одной из форм составляет 3000 м, ширина ее изменяется в пределах 2–5 м с глубиной вреза 3–5 м, поперечные профили имеют трапецеидальную форму, на всем протяжении исключение составляет только вершина, борта и заросший тальвег [Пеллинен, Козырева, 2013].

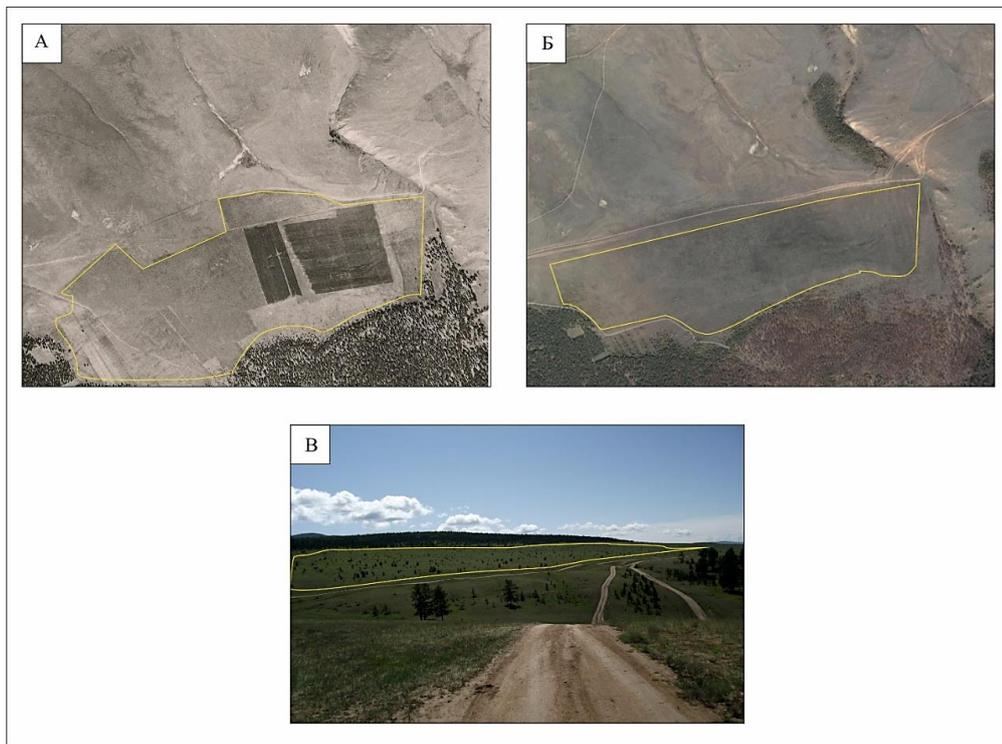
Эрозионные формы техногенного генезиса развиваются по колеям и кюветам постоянных и временных автодорог (Рисунок 31). Так, в районе урочищ Ташкай, Харалдай, Саса, озера Ханхой, вдоль основной автомобильной трассы Харанцы, а также вблизи паромной переправы «Ольхон» развиты техногенные эрозионные формы.



**Рис. 31. Эрозионные формы, развивающиеся по дорогам в районе п. Харалгай.**

Плоскостные делювиальные процессы на острове Ольхон наблюдаются, главным образом, в степных и лесостепных зонах. Морфологически этим процессом осложнены склоны небольших островных гор, разделенные бессточными котловинами и межгорными впадинами. Наиболее подвержены процессу поверхностного сноса площади, испытавшие в прошлом сельскохозяйственный тип нагрузки (пашни) (Рисунок 32). В периоды таяния снега и обильных затяжных дождей наблюдается смыв почвы с частично обнаженных от дерна мест, а на полностью оголенных участках возникают небольшие сплывы поверхностного слоя. Самый значительный смыв материала зафиксирован при выпадении локальных, но очень мощных ливневых осадков на землях сельскохозяйственного использования [Агафонов, 1985].

При делювиальном смещении в основном сносится песок, дресва и мелкий щебень. В период ливневых осадков в 1971 г. зафиксирован снос, превышающий 1600 т терригенного материала [Агафонов, 1985]. В результате сформированные делювиальные отложения в виде конуса выноса мощностью до 2.5 м были вскрыты в 3 км на ЮЗ от п. Хужир (Рисунок 33).

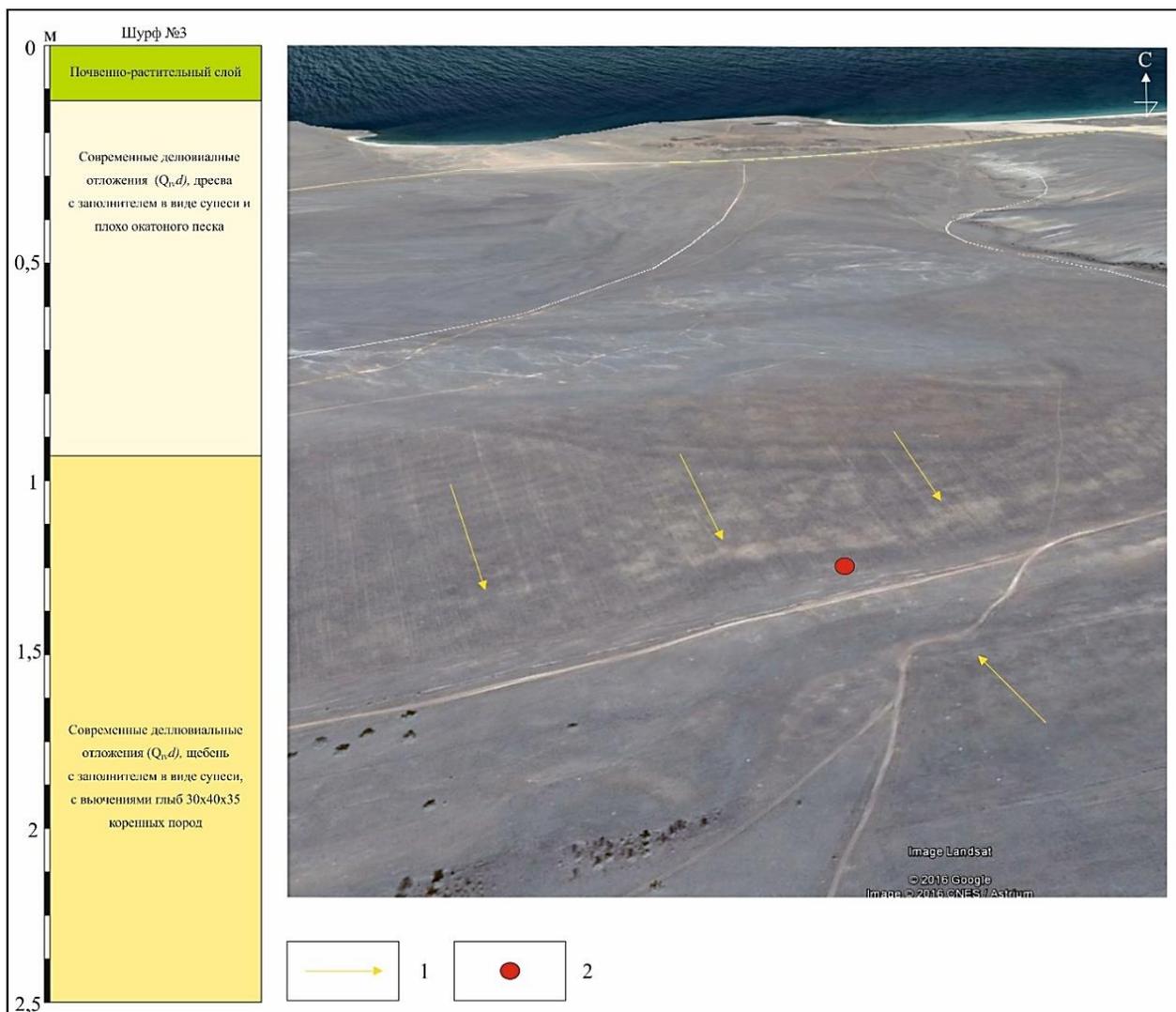


**Рис. 32. Поверхности, испытывавшие сельскохозяйственный тип нагрузки.**

**А** – аэрофотоснимок 1958 г., на котором хорошо видно возделывание данной территории; **Б** – космоснимок 2014 г. – та же территория, находящаяся в заброшенном виде; **В** - фотография заброшенного поля, подверженного экспансии соснового леса.

Эрозионные формы развиваются довольно медленно в условиях дефицита осадков на острове. Наиболее активными являются эрозионные формы, развивающиеся в результате техногенной составляющей. Делювиальный смыв является ведущим процессом на незалесенных склонах острова и обуславливает современное развитие структурно-денудационного рельефа территории. Наиболее неустойчивыми к развитию данного типа процесса являются сельскохозяйственные пастбища и бывшие пахотные угодья [Пеллинен, 2015].

Следы активности грязекаменных селевых процессов на острове проявлены в виде долин и конусов выноса на восточном побережье острова. Накопленный селевой материал в крутопадающих долинах с узкими днищами приходит в движение в результате быстрого насыщения данных масс ливневой водой. Периодичность схода селевых масс каждые 26 лет [Агафонов, 1975]. В настоящий момент конуса практически исчезли в результате активной ветра-волновой деятельности оз. Байкала а долины заросли сосновым лесом.



**Рис. 33. Участок интенсивного делювиального сноса с бывших пашен: 1 – участки смыва почвенно-растительного слоя; 2 – место выработки (шурф).**

#### 4.4. Проявления карстообразования

Карстующиеся территории острова имеют длительную историю развития. Отдельные массивы карбонатных пород закарстованы на глубину до 350 м, т. е. ниже уровня оз. Байкал. Формы проявления унаследованного карста представлены в виде котловин, суходолов, пещер, карстовых полостей и приурочены к литогенетической или тектонической трещиноватости [Вологодский, 1975; Тржцинский и др., 2007]. По географическому расположению в северной части острова встречаются воронки и небольшие пещеры, а на юго-западе – котловины.

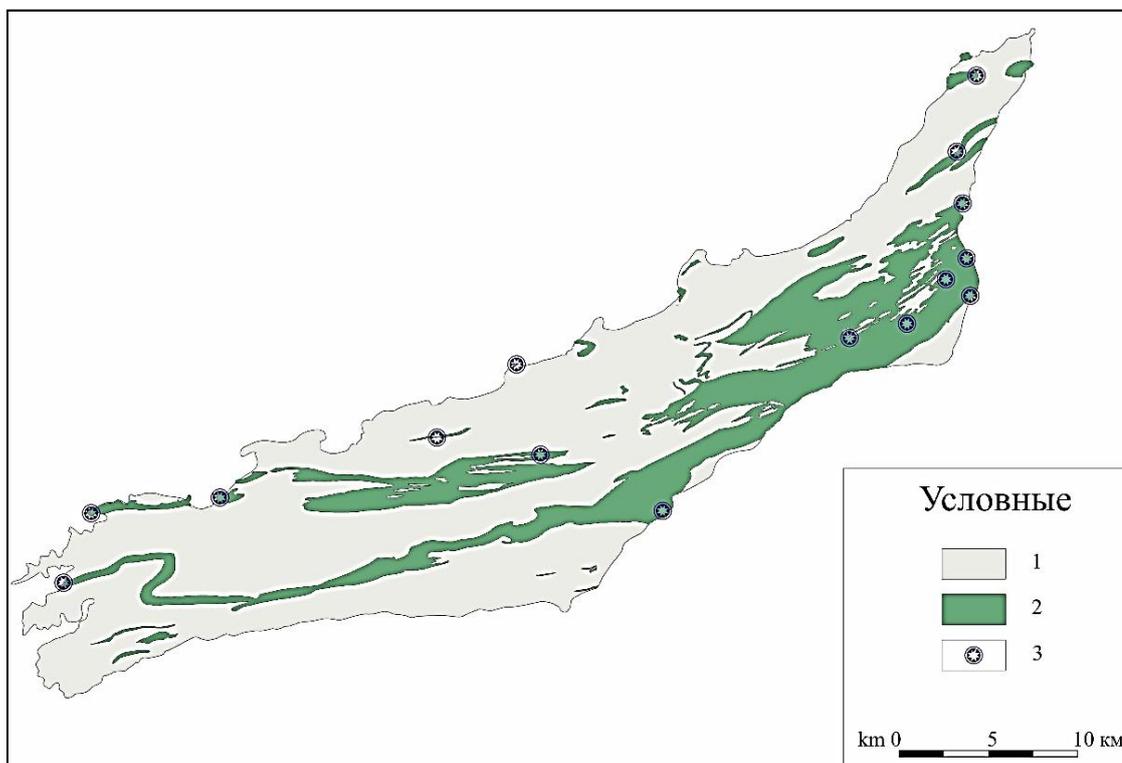
В результате длительного развития карста сформировались мощные коры выветривания (20–130 м) [Тржцинский и др., 2003]. Маркирующими породами являются кальцитовый и доломит-кальцитовый мрамор верхней и нижней части чернорудской свиты раннего палеозоя. Мощность свиты колеблется от десятков до сотен метров [Геологическая карта..., 1963].

На исследуемой территории встречаются карстовые формы различных стадий развития. Древними считаются котловины и пещеры погребенные под неоген-четвертичными отложениями. Активная деятельность карстовых гидросистем связана с поглощением поверхностных водотоков и выходами источников, что говорит о протекании карстового процесса в современную эпоху [Гутарева, 2009].

На основе фактического и фондового материала автором построена карта распространения карстующихся пород и форм проявления карста. Вынесены формы деформации поверхности, связанные с проявлением современного карстового процесса (Рисунок 34).

Мощность свит колеблется от десятков до сотен метров и может демонстрировать следы унаследованного карста и предрасположенность к развитию современных процессов.

В районе села Усык и урочища Семь Сосен автором были изучены карстовые воронки. Диаметр форм 6.4 и 12.6 м, глубина соответственно 1.5 и 2.0 м (Рисунок 35). Это современные карстовые формы, развивающиеся в пределах древней карстовой котловины. Динамика данных форм напрямую зависит от природно-климатических условий. Техногенная составляющая на данном участке пока отсутствует.



**Рис. 34. Карта распространения карстующихся пород и форм проявления карста (составлена по данным В.И. Устинова и др., 1976).**

**1 – грунты, не предрасположенные к карстообразованию; 2 – карстующиеся породы ижемейской и чернорудской свит, представленные кальцефирами, бурыми и графитовыми мраморами; 3 – формы проявления карста (воронки, пещеры, гроты, кавернозность массивов).**

На северо-западном побережье, наиболее посещаемом туристами, наличие множества сухих долин северо-западного простирания формирует пересеченный рельеф. Это, как правило, погребенные карстовые котловины, которые встречаются на участке между поселками Хужир и Семь Сосен. Данные котловины вытянуты вдоль простирания пород чернорудской свиты, по типу водосборного бассейна они подразделяются на замкнутые (Шаранурская котловина) и полузамкнутые (Идибаская котловина) [Вологодский, 1975]. Длина котловин не превышает 6 км, а ширина 3–5 км; превышение водоразделов над днищами изменяется в пределах 50–150 м. Дно котловин заполнено рыхлыми образованиями из остаточных продуктов выветривания мрамора, перекрытых озерно-болотными или делювиальными отложениями. В наиболее пониженных частях котловин располагаются небольшие бессточные озера диаметром, редко превышающим 100 м, глубиной до 2 м.



**Рис. 35. Современные карстовые воронки в пределах урочища Семь Сосен.**

Многолетний мониторинг показал, что уровень воды в озерах в отдельные годы колеблется в пределах метра, иногда они совсем пересыхают, при этом меняются геохимические характеристики донных отложений и самой воды. Например, в ходе ежегодных полевых исследований установлено, что озеро Шара-Нур («Желтое озеро» – в переводе с бурятского языка) в последние 10 лет постепенно пересыхает, а озера урочища Ур-Тер-Рей по состоянию на 2015 г. и вовсе высохли (Рисунок 36).

Кроме этого в зоне острова, где карстующиеся породы выходят к урезу Байкала, находятся небольшие пещеры и гроты. Наиболее популярна среди туристов пещера в скале Шаманка. Она известна с древних времен как культовое место, имеет статус памятника природы федерального значения. Пещера находится на полуострове Бурхан в 1.3 км к северу от пос. Хужир в первом скальном выходе крупнокристаллических мраморов с примесью графита. Ее протяженность составляет 45.8 м, значения амплитуды – 7 м,

объем – 96.2 м<sup>3</sup>. Полость имеет два входа, расположенных с востока и запада утеса.



**Рис. 36. Озеро Шара-Нур.**

Форма входов неправильная, размеры западного –  $2 \times 4$  м, восточного –  $3.0 \times 1.5$  м. Поперечные сечения неправильные, вытянуты в вертикальном направлении. Потолок ступенчатый, характер его определяется первичной формой полости и современными обвальными процессами. Дно западной части пещеры – горизонтальное, а восточной – ступенчатое. Пещера имеет простое строение, представляя собой ход, восходящий с запада на восток. Данная пещера, как и подобные полости, находящиеся по берегам Байкала, претерпела изменения и уменьшилась в размерах в результате создания Иркутской ГЭС, что вызвало поднятие вод озера Байкал и, как следствие, затопление нижних ходов и обрушение второго зала пещеры [Лямкин,

Соколова, 1999]. Другая небольшая пещера Боро-Хухан находится в пределах платообразной поверхности в 1.5 км к востоку от пос. Малый Хужир. Расстояние до соснового леса, расположенного к югу от пещеры, составляет 125 м. Протяженность пещеры составляет 3.6 м, значения амплитуды – 1.2 м, объем – 4.6 м<sup>3</sup>. Вход линзовидной формы (1.3 × 0.7 м) расположен на безлесном склоне северной экспозиции у подножия небольшого (3 × 5 м) скального останца. Морфология формы проста: она представляет собой низкую карстовую полость высотой 0.4–0.8 м и размером 2.0 × 1.5 м, с субгоризонтальным плавно изогнутым потолком и слабонаклонным полом, повышающимся к входу. Вход вскрылся в результате денудационных процессов при вздымании плато. Натечные образования отсутствуют. При обследовании пещеры на дне распространен лишь маломощный (20–15 см) рыхлый глинисто-дресвяно-щебенистый грунт. Температурный режим пещеры полностью зависит от изменения поверхностной температуры [Пеллинен, 2015].

Узурская пещера (грот) развита в массиве горы Толгой, которая находится на северо-восточном побережье о. Ольхон, в северо-восточной части бухты Узур (Хагай-Яман) на высоте 67 м над уровнем Байкала. Протяженность формы составляет 5 м, значения амплитуды – 3.3 м, объем – 6.6 м<sup>3</sup>. Полость частично прикрыта обвалившейся глыбой и приводит в хорошо освещенный и прогретый солнцем узкий грот размером 5.0 × 1.5 × 2.0 м. Дисперстные отложения представлены элювием коренных пород мощностью 0.4 м. Массив, в котором расположена пещера, сложен известняками с видимыми следами растворения, он возвышается на 200 м над урезом оз. Байкал. Кроме Узурской пещеры отмечены другие формы проявления карста – каверны, поноры, трещины, которые также заполнены тонкодисперсным элювием [Тржцинский и др., 2007; Пеллинен, 2016].

На территории острова отсутствуют постоянные водотоки, а выходы карстовых вод на поверхность редки и, как правило, залегают на большой глубине или на уровне днищ крупных котловин, таких как Семь Сосен, Ур-

Тер-Рей, Ялга, Идиба, Шара-Нур. Их распространение контролируется тектоническими зонами [Склярова и др., 2002; Лунина, 2010].

Таким образом, на территории Ольхона древний (донеогеновый) карст погребен под мощной толщей кор выветривания и неоген-четвертичными отложениями. Современный карст развивается довольно слабо и отмечается в единичных формах проявления. На острове распространены унаследованные карстовые формы, которые связаны, главным образом, по системам тектонических трещин и распространены вдоль зон глубинных разломов; отдельные массивы закарстованы до уровня Байкала и ниже в отдельных частях острова. Оценку устойчивости закарстованной территории острова следует выполнять на основе установленных закономерностей развития карстового процесса и районирования территорий с учетом основных параметров карстообразования: химического состава, мощности, структуры и трещиноватости карстующихся пород; мощности и составу покровных образований или их отсутствия; формы рельефа, гипсометрических уровней подошвы и кровли карстующихся пород относительно уровня воды Байкала; уровня подземных вод, тектонических структур.

#### **4.5. Подтопление и заболачивание территории**

Интенсивность техногенеза на острове увеличивается, что приводит к негативным изменениям гидрологических и гидрогеологических условий как на застроенных площадях, так и на вновь осваиваемых территориях.

Природное подтопление (заболачивание) отмечается в днищах карстовых котловин, на некоторых участках береговых склонов и устьях эрозионных форм. Все они связаны с разгрузкой подземных вод. В местах, где наблюдается длительное подтопление, мощность торфа на заболоченных участках не превышает 25 см. По состоянию на 2017 г. практически все территории с распространением маломощных торфяников пересохли. Относительная увлажненность территории и бурный рост растительности

наблюдаются только в местах распространения многолетнемерзлых грунтов, в частности, на склонах залива Баян-Шунген.

Техногенное подтопление наблюдается в местах длительного освоения. В центральной части поселка Хужир, в результате отсутствия системы водоотведения использованной воды в мульдообразном понижении образовалось небольшое техногенное озеро, уровень которого дополнительно увеличивается с выпадением осадков и подтапливает дома, находящиеся в непосредственной близости к нему. Проведенный анализ макрокомпонентов воды позволил установить повышенные значения хлоритов и сульфатов (Таблица 9, Рисунок 37).

**Таблица 9**

**Содержание макрокомпонентов в озере поселка Хужир**

рН		NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Fe <sup>2+</sup>	Fe <sup>3+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	Br <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>
9.05	мг/л	0.40	<0.10	<0.10	41.38	215.31	80.26	45.09	403.07	0.70	250.40	183.06	9.00
	%-экв				5.48	48.53	34.20	11.66	57.11	0.04	26.19	15.07	1.51



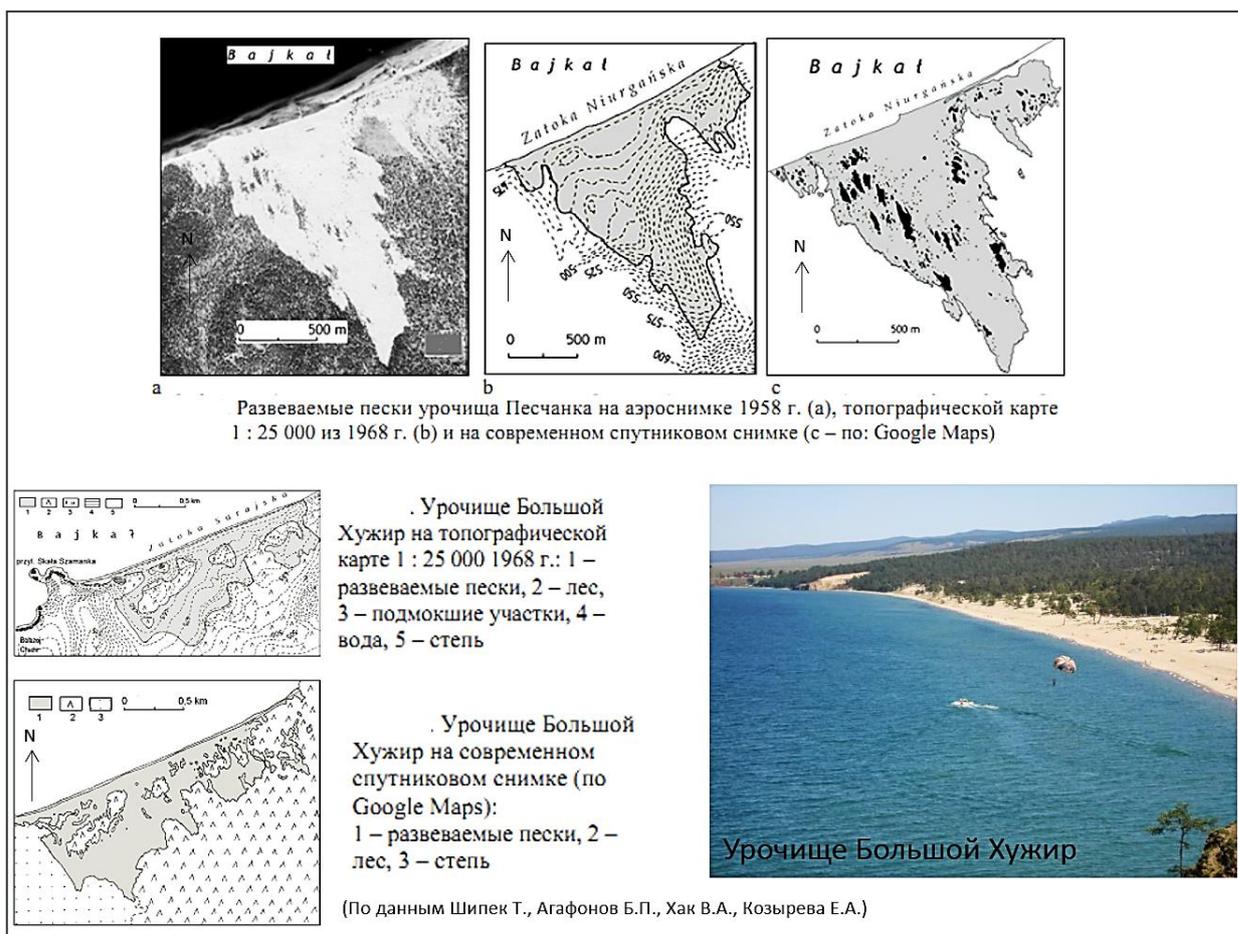
**Рис. 37. Техногенное озеро в поселке Хужир.**

#### **4.6. Эоловые процессы**

Наиболее ярко на территории острова дефляция проявляется в виде эоловых полей (Песчанка, Улан-Хушин, Харанцы, Большой Хужир, Малый Хужир, Маломорск, Ялга, Семь Сосен). Наиболее активными являются

участки Песчанка (Рисунок 5, а) и Большой Хужир [Szczypek, Wika, Snytko, 2012]. В динамике развития этого процесса выделяется два временных цикла – до подъема уровня воды, т. е. в естественных, природных условиях, и после наполнения Иркутского водохранилища, т. е. в условиях техногенеза. В результате нарушения природного равновесия в береговой зоне ветровой эрозии подверглись наиболее древние эоловые формы [Агафонов и Акулов, 2006]. Эоловые процессы заметно активизировались в результате хозяйственной деятельности человека. Эоловый перенос занимает значительные по площади поля северо-западного побережья острова, характеризующиеся разнообразными формами. Установлено, что динамика современных эоловых процессов дифференцирована и зависит от свойств субстрата и скоростей ветрового режима [Ovchinnikov, Snytko, Szczypek, 2001]. Поступление материала происходит в результате переработки берегового уступа, сортировки и переотложения песчаного материала в зоне пляжа и, непосредственно, транспортировка его мелкой фракции вглубь острова на десятки и сотни метров мощными северо-западными ветрами (Рисунок 38) [Агафонов, Акулов, Рубцова, 2007].

Эоловый перенос песков в районе поселка идет вслед за уничтожением растительности. У нетронутого леса движение эоловых гряд происходит приблизительно по 4 см в год, в прибрежной полосе шириной 100–300 м выдув песка достигает местами 12.4–60.0 см в год (Рисунок 5, б) [Агафонов и др., 2001].



**Рис. 38. Динамика эловых полей урочищ Песчанка и Большой Хужир.**

## Выводы

Развитие и динамика экзогенных геологических процессов играет важную роль в оценке устойчивости геологической среды о. Ольхон. Их распространение существенно определяется литологическими и геоструктурными особенностями отдельных участков острова, а также климатическими, гидрогеологическими, геокриологическими условиями.

Большинство магматических и метаморфических пород острова Ольхон обладают способностью противостоять процессам выветривания. Их развитие в комбинации с климатическими условиями, тектонической раздробленностью и анизотропными свойствами пород способствуют подготовке и развитию многих ЭГП острова.

Процесс карстоформирования в пределах острова имеет два типа – унаследованный-древний и современный. Развитие последнего проявляется

довольно слабо и отмечается единичными формами. Однако нарастающая техногенная нагрузка может стать триггером в активизации современного карста.

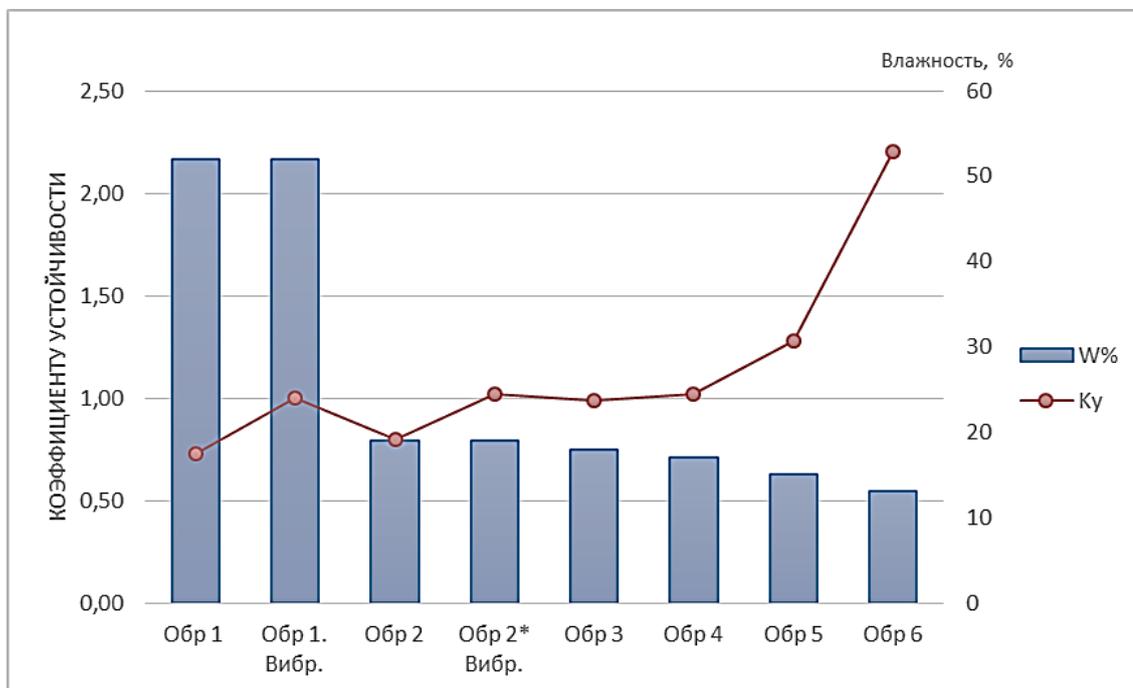
Малое количество годовых осадков обуславливает медленное развитие эрозионных процессов на острове в ненарушенных естественных условиях. Эрозионные процессы активно развиваются под влиянием техногенных нагрузок по дорожной сети или рядом с ней, на бывших сельхозугодиях, а также в падах, примыкающих к озеру и имеющих мощные толщи дисперсных грунтов и значительный уклон.

Подтопление на острове в основном связано с разгрузкой подземных вод и имеет два вида: природное, которое отмечается в днищах котловин на некоторых участках береговых склонов, и техногенное, наблюдаемое в местах длительной эксплуатации земель человеком.

Эоловые процессы характеризуются природным и природно-техногенным циклом активности. Формы эолового переноса занимают значительные по площади поля острова. Динамика современных эоловых процессов дифференцирована и зависит от свойств субстрата, поступающего в результате переработки берегового уступа, сортировки и переотложения в зоне пляжа, а также от скоростей ветрового режима.

Гравитационные процессы представлены обвалами, осыпями, оползнями. Подавляющее большинство как крупных, так и значительное число средних и мелких обвалов и осыпей приурочены к клифам восточной части западного побережья острова. Вероятно, деформации такого типа связаны с процессами выветривания и денудации, а также трещиноватостью горных пород. Склоны, сложенные рыхлыми неогеновыми отложениями, осложнены оползнями. Натурные и лабораторные исследования грунтовой толщи, являющейся средой развития оползней, позволили выделить в качестве потенциальной зоны пластических деформаций неогеновые глины. Анализ прочностных характеристик показал, что глины имеют низкие значения угла внутреннего трения и сцепления при естественной влажности

более 17%. Установлено, что при вибрационном воздействии глины уплотняются независимо от первоначального состояния, что отражено на графике отношения влажности глин к рассчитанному коэффициенту устойчивости (Рисунок 39).



**Рис. 39. Диаграмма отношения влажности неогеновых глин (W %) к коэффициенту устойчивости (Ky).**

Высокая агрегированность глин свидетельствуют о том, что их формирование происходило при смене типов литогенеза в плейстоцене.

Низкие прочностные характеристики при высокой влажности и агрегированности приводят к разупрочнению и ослаблению неогеновых глин, обуславливая формирование оползневых процессов в береговой зоне острова. Наличие вибрационного воздействия при различном природном состоянии (высокая или низкая естественная влажность) этих глин приводит к стабилизации склона. Наличие в разрезе массива и распространение неогеновых глин обуславливают снижение устойчивости геологической среды побережья Ольхона.

Современные оползневые процессы острова несут явные признаки активности и являются одним из показателей, отражающих современное состояние геологической среды о. Ольхон. Наличие в разрезе массива и

распространение неогеновых глин обуславливают снижение устойчивости геологической среды побережья Ольхона.

Динамика экзогенных геологических процессов различна, так к активным можно отнести оврагообразование, абразию и оползни, а к относительно активным дефляция, выветривание, заболачивание, карст, делювиальный снос. К неактивным можно отнести сели которые развивались в прошлом при других климатических и инженерно-геологических условиях.

## **ГЛАВА 5. ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ОСТРОВА ОЛЬХОН**

Анализ существующих методик оценки устойчивости геологической среды показал, что для территории острова Ольхон наиболее приемлема методика, основанная на оценке двух групп факторов – природного и техногенного. Данная методика была разработана для районов, в которых устойчивость рассматривается, как результирующее состояние природных условий и факторов, находящихся под воздействием техногенеза.

Способ оценки устойчивости геологической среды острова Ольхон основан на экспертном рассмотрении общей экзогеодинамической обстановки территории и техногенной составляющей. На исследуемой территории проявление ЭГП является результатом реакции ГС на внутренние преобразования и внешние воздействия. Пораженность территории определенными видами ЭГП исчисляется в относительных единицах (проценты, доли), независимо от времени зарождения и степени активности процесса с учетом методик, разработанных и описанных в работах Ю.Б. Тржцинского (2007), В.М. Литвина (1989), К.Г. Леви (2006) и является важным критерием оценки устойчивости ГС. Чем выше пораженность территории ЭГП, тем ниже устойчивость ГС.

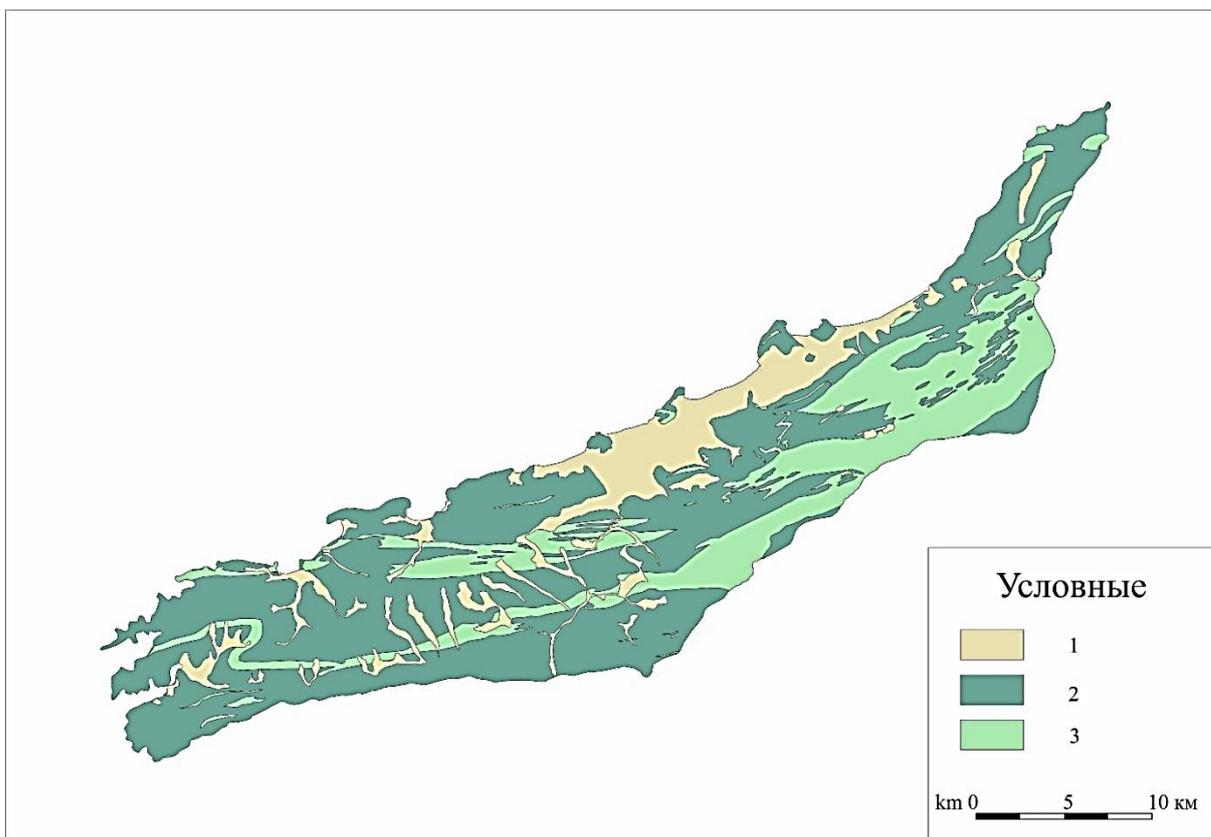
Картирование территории имеет большое значение научно-практическое значение. Карты наглядно отражают размещение, поверхностные связи и группировки многообразных явлений на земной поверхности. [Трофимов и Красилова, 2008]. В настоящее время в построении карт применяются различные ГИС для анализа данных и создания картографической продукции. В данном исследовании инструментом построения и обработки всех геоданных стал программный комплекс QGIS, посредством которого проведена оцифровка имеющегося растрового материала в полной мере характеризующего, геологическую среду района.

Потребность в разных типах инженерно-геологических карт очень велика. С их помощью можно получить представление об основных особенностях геологической среды района и выполнить оценку устойчивости, что позволит планировать и осуществлять те или иные хозяйственные мероприятия.

По инженерно-геологическому районированию юга Восточной Сибири территория острова Ольхон относится к подобласти с низкими густо расчлененными горами, где уклоны береговой зоны изменяются от средне-крутосклонных до крутосклонных и скалистых, выделенной по морфологическим, морфометрическим и гипсометрическим признакам [Литвин, 1991]. Данная характеристика отражает региональные особенности геологической среды, а выделенный район является переходной единицей от регионального к локальному уровню оценки.

Составлена карта распространения грунтов, составленная на основе данных геологических карт масштаба 1:200000 и 1:50000 (Рисунок 40). Грунты разделены на два класса – природные скальные и дисперсные.

*Дисперсные грунты* представлены аллювиальными, озерными, озерно-болотными, пролювиальными эоловыми и песчано-глинистыми образованиями неоген-четвертичного возраста мощностью до 150 м и. Песчаные отложения предрасположены к развитию процессов дефляции (см. раздел 4.6). Глинистые отложения имеют значительную агрегированность, низкие значения угла внутреннего трения и сцепления при высокой естественной влажности, что способствует развитию современных оползней (см. раздел 4.2.1).



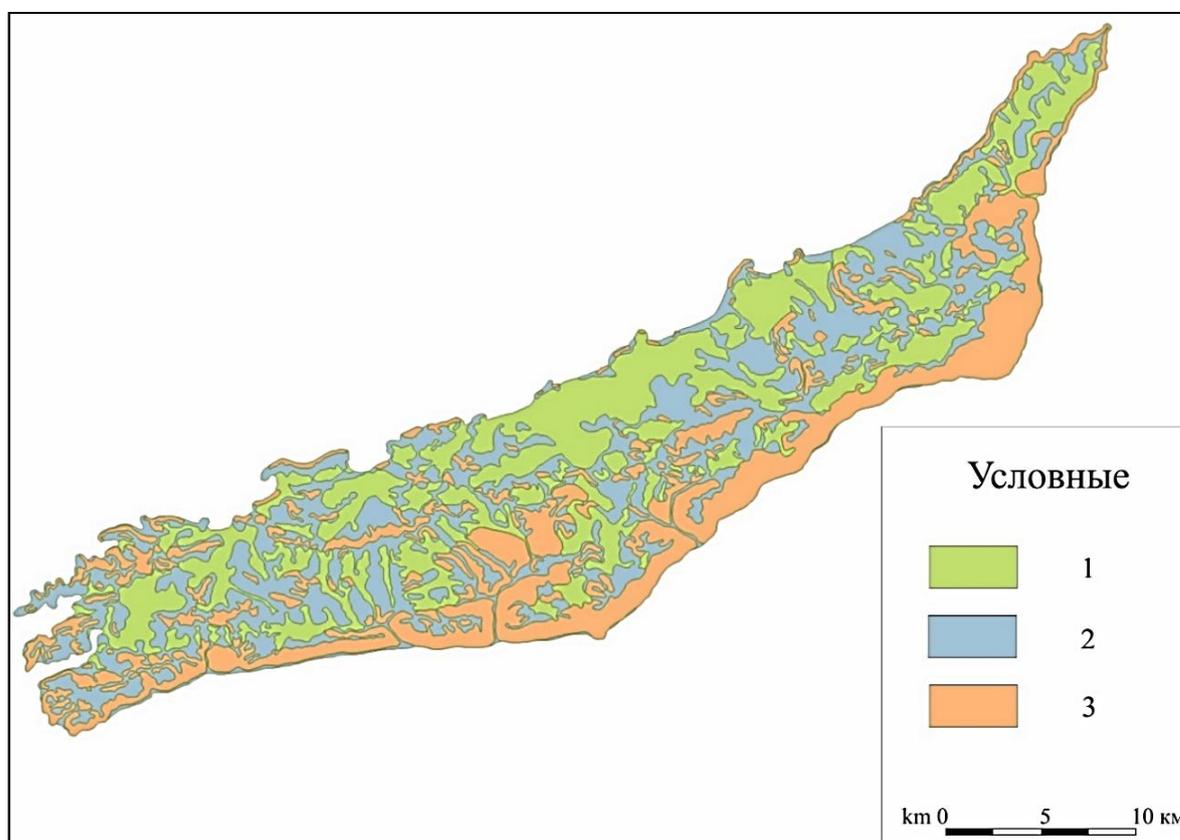
**Рис. 40. Карта распространения дисперсных и скальных грунтов.**

**1 – дисперсные грунты**, представленные глинистыми и песчаными отложениями, мощностью до 150 м; для *глинистых*: сцепление изменяется 0.03 до 0.05 МПа, угол внутреннего трения составляет 11.5°, реальное содержание тонкоглинистых частиц составляет 91.4 %, наличие глинистых минералов (сметит и каолинит); для *песчаных*: коэффициент фильтрации – от 7.4 до 9.4 м/сут, угол естественного откоса на воздухе – от 29.0 до 40.5° (в воде – от 21 до 25°); **2 – скальные грунты** раннепалеозойского возраста представлены интрузивной и метаморфической формациями, коэффициент выветрелости в диапазоне от 0.3 до 0.9; **3 – карстующиеся скальные грунты** раннепалеозойского возраста представлены, кальцефирами, бурыми и графитовыми мраморами, коэффициент выветрелости равен 9.6.

*Скальные грунты* представлены интрузивной (граниты, пегматиты, габбро) и метаморфической (гнейсы, кварциты, амфиболиты, сланцы, мрамора) формациями раннепалеозойского возраста. Основным свойством скальных грунтов является их предрасположенность к выветриванию и карсту. Устойчивость пород к выветриванию оценивалась с помощью одноименного коэффициента, позволившего выделить три степени устойчивости скальных грунтов (см. раздел 4.1). Карстующиеся скальные грунты представлены кальцефирами, бурыми и графитовыми мраморами. Закарстованность пород составляет 350 м, а маркерами, позволяющим

о контурировать их распространение, являются Ижемейская и Чернорудская свиты (см. раздел 4.4).

Данные SRTM-съемки позволили провести морфометрический анализ. В качестве исходных данных использовалась цифровая модель SRTM v.4 с разрешением 3 угловые секунды, доступных на сайте консорциума CGIAR-CSI (<http://srtm.csi.cgiar.org>). Морфометрические данные рельефа (крутизна и экспозиция склонов) получены по результатам обработки цифровых SRTM-снимков и построенной для территории острова карты крутизны склонов (Рисунок 41). На данной карте выделены три группы с крутизной склона



**Рис. 41.** Карта углов наклона поверхности острова Ольхон по данным SRTM-съемки. 1 – склоны с крутизной  $< 15^\circ$ ; 2 – склоны с крутизной  $15\text{--}35^\circ$ ; 3 – склоны с крутизной  $> 35^\circ$ .

$< 15$ ,  $15\text{--}35$  и  $> 35^\circ$ . Это деление основано на корреляции типов ЭГП с определенными углами наклона. Вынесение мест распространения ЭГП на карту крутизны склонов показало, что осыпи и обвалы развиваются на поверхностях, где угол наклона  $> 35^\circ$ , делювиальный смыв и оползни картируются на поверхностях в диапазоне  $15\text{--}35^\circ$ , а эрозионные и эоловые

процессы сконцентрированы на поверхностях с углом наклона  $< 15^\circ$ . Следовательно, подобная аналитическая карта демонстрирует предрасположенность территории к развитию ЭГП.

Картографическое отображение распространения ЭГП выполнено на основе анализа космических снимков Quick Bird 2015 г. с разрешением 2 метра на пиксель доступная на сайте геологической службы США (<https://earthexplorer.usgs.gov>). На основе данного растра оконтурены и подсчитаны площади распространения основных типов ЭГП на территории острова посредством программного продукта QGIS. Количественные данные собраны автором в процессе ежегодных инструментальных измерений на ключевых участках экзогеодинамического мониторинга геологической среды острова Ольхон. Анализ картографической информации о распространении ЭГП позволил установить, что все ЭГП по площади занимают  $10.7 \text{ км}^2$  и соответствуют  $1.5 \%$  всей территории острова (Рисунок 42 А). Наибольшее количество процессов сосредоточено в береговой зоне острова, особенно на северо-западном побережье, о чем и свидетельствует генетическое разнообразие подтипов берега (см. раздел 3.1). Характер распространения ЭГП требует выделения областей их распространения. Для того, чтобы оконтурить области проявления ЭГП использовалась методика «скользящего окна» (см. раздел 3.2); при построении карт плотности пораженности ЭГП также использовались клетки со сторонами  $2 \times 2 \text{ км}$  ( $S_{кл} = 4 \text{ км}^2$ ). В результате исследуемая территория разделена на 220 квадратов. Для каждого квадрата рассчитан коэффициент плотности распространения ЭГП. Коэффициент представляет собой отношение площади квадрата к площади всех ЭГП, распространенных в нем. Далее, с помощью команды «New Contour Map» в программе Surfer построена электронная карта плотности пораженности ЭГП острова Ольхон (Рисунок 42 Б). Данная карта отображает пораженность всей территории острова от экзогенных геологических процессов, которая изменяется от 0 до 25 %. Выделены три области плотности ЭГП: *низкая, средняя и высокая*.

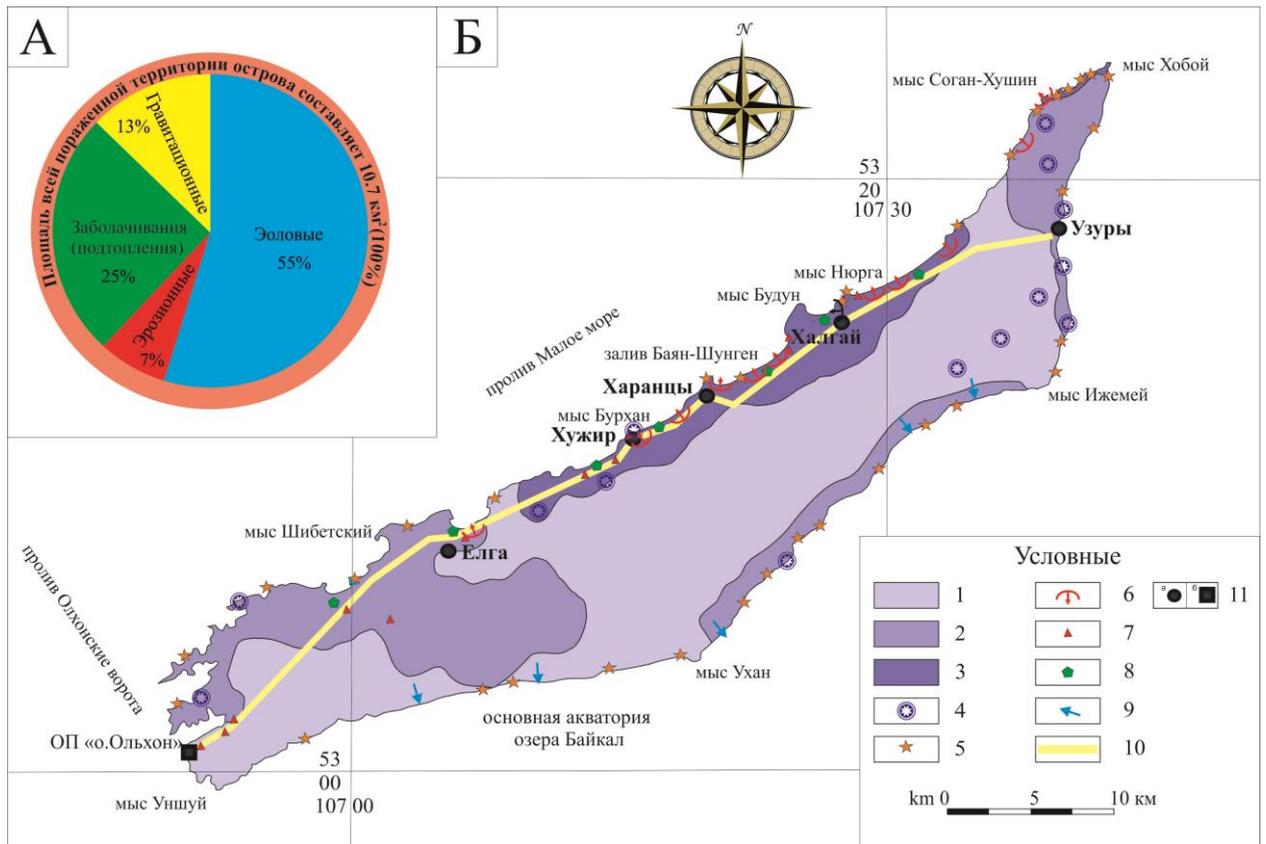


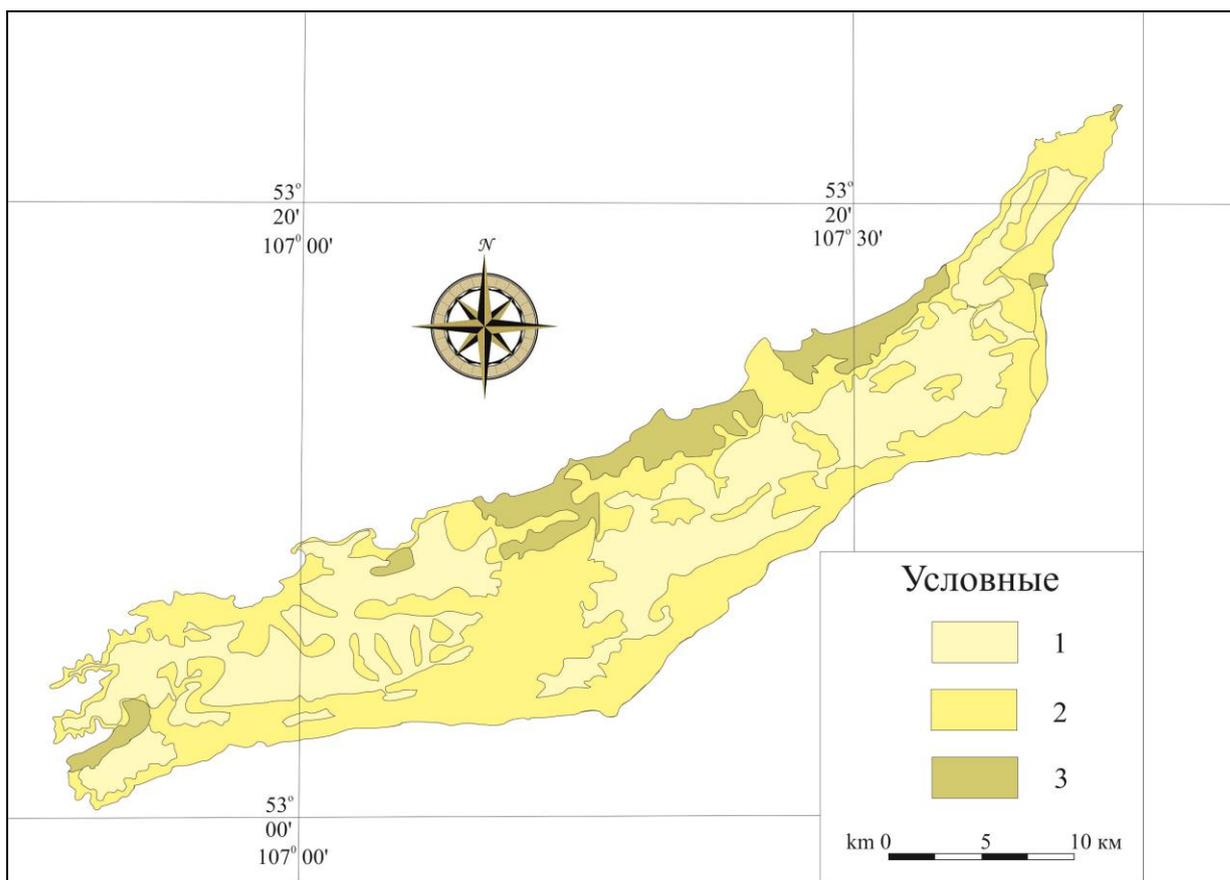
Рис. 42. Карта пораженности ЭГП острова Ольхон.

А – диаграмма, отражающая процентное соотношение, занимаемое определенным ЭГП относительно всей пораженной площади на территории острова Ольхон. Б – карта пораженности ЭГП острова Ольхон: 1 – низкая пораженность территории, которой свойственны единичные проявления ЭГП; 2 – территория со средней пораженностью до 10 % проявления ЭГП на элементарной площади; 3 – территория с высокой пораженностью от 10 до 25 % проявления ЭГП на элементарной площади. Формы проявления ЭГП: 4 – карст (воронки, пещеры, гроты, кавернозные массивы); 5 – осыпи, обвалы; 6 – оползни; 7 – эрозионные формы, 8 – эоловые поля; 9 – сели. Прочие обозначения: 10 – линейные сооружения (дороги, линии электропередач); 11, а – населенные пункты, в которых находятся туристские базы отдыха, гостиницы; 11, б – остановочный пункт паромной переправы.

Подземные воды рассматриваемой территории распространены в соответствии с литолого-структурными особенностями и стратиграфическими подразделениями пород. В общей сложности выделяется шесть крупных водоносных горизонтов и комплексов (см. раздел 2.3.). Подземные воды, как компонент геологической среды, способствуют развитию на острове ряда современных экзогенных геологических процессов (заболочиваемость, оползневые смещения и др.). Воды техногенного генезиса проявляются в виде подтопления пониженных участков освоенной

территории острова. В данной работе учитывались такие гидрогеологические особенности как уровень первого водоносного горизонта. Чем ближе уровень к поверхности, тем менее устойчива территория.

На основе построенного картографического материала был проведен экспертный анализ состояния геологической среды острова, заключающийся в наложении слоев, морфометрического строения, распространения скальных и дисперсных грунтов, пораженности ЭПП, прямых техногенных нагрузок, а также учета гидрогеологических характеристик. В результате составлена карта устойчивости геологической среды острова Ольхон. На карте выделены территории с разной степенью устойчивости, а именно *высокой*, *средней* и *низкой*, которые определялись по критериям, подробно описанным в шкале (Рисунок 43, Таблица 12).



**Рисунок 43. Карта устойчивости геологической среды острова Ольхон.**

**Степени устойчивости: 1 – высокая, 2 – средняя, 3 – низкая.**

*Территории с низкой степенью устойчивости.* Анализ степени устойчивости геологической среды острова показал, что низкую степень

устойчивости имеют территории, расположенные вдоль его побережья. На данной площади развивается большое количество ЭГП, средой для формирования которых являются неогеновые и четвертичные отложения, а также скальные грунты, имеющие высокий коэффициент выветрелости. В падах и в пределах береговых уступов отмечается заболоченность и разгрузка родников. Водоносный горизонт находится в четвертичных отложениях. Также этим территориям характерно распространение склонов с крутизной более  $35^\circ$  и площадей с высокой и средней пораженностью распространения ЭГП. Значительные мощности дисперсных грунтов сосредоточены в местах, где проявляются все оползневые деформации. Выход карстующихся пород приурочен только к восточному побережью, формы проявления карста единичны. Однако породы неустойчивы к процессу выветривания, что приводит к формированию у подножия склонов крутизной более  $35^\circ$  осыпей и обвалов. Максимальные техногенные нагрузки проявляется в виде строительства и эксплуатации инфраструктурных объектов (гостевые дома, гостиничные комплексы), использование в сельскохозяйственном направлении (распашка и мелиорация территории), организации большого количества незаконных одноколейных дорог.

*Территории с средней степенью устойчивости* занимают в основном степную часть острова и территории вдоль восточного побережья покрытую сосновым и лиственничным лесом. В основном уклоны поверхности составляют от  $15$  до  $35^\circ$ . Данному району соответствуют средняя пораженность распространения ЭГП. Уровень подземные вод расположен в неогеновых отложениях на глубине более  $5$  м. В геологическом отношении значительная часть от общей площади района представлена карстующимися породами. Карст на данной территории не активен, а его формы имеют единичные проявления. Техногенные нагрузки в виде кемпингов, отдельных одноколейных.

*Территории с высокой степенью устойчивости.* На этой территории процент проявления ЭГП незначителен, а поражённость не превышает  $10\%$ . В основном здесь развиваются процессы биологического выветривания и унаследованного карста, имеющие единичные формы проявления. Уровень

подземные вод расположен в коренных породах на глубине более 50 м. Преобладают склоны с углом наклона менее 15°. Данные районы представлены скальными грунтами с высокой устойчивостью к денудации и наличием небольшого чехла рыхлых отложений с проявлениями ЭГП в виде единичных форм карста эрозии и дефляции. Техногенные нагрузки отсутствуют.

В целом, геологической среде о. Ольхон характерны средняя и низкая степени устойчивости. Наличие природно-техногенных нагрузок является фактором способствующий активизации, как унаследованных экзогенных геологических процессов, так и увеличению динамики современных.

**Таблица 12.**

**Шкала степени устойчивости геологической среды для острова Ольхон к природным нагрузкам**

<b>Степень устойчивости</b>	<b>Характеристика степени устойчивости геологической среды</b>
<b>Высокая (3)</b>	Локальное распространение дисперсных грунтов (элювий, делювий). Значение коэффициента выветрелости скальных грунтов не превышает 0.3, скорость выветривания не более 0.1 см/год. Крутизна склонов изменяется до 15°. Заболоченность и разгрузка грунтовых вод отсутствует, уровень первого водоносного горизонта расположен на глубине 50-100 м. Единичные проявления различных типов экзогенных геологических процессов небольшой интенсивности и малой активности: динамика их развития практически не отмечается. Плотность дорожной сети менее 0,2 км/км <sup>2</sup> , коэффициент плотности инфраструктурных и объектов более 3.
<b>Средняя (2)</b>	Распространение лессовидных грунтов, эоловых песков, других отложений четвертичного возраста, а также наличие карстующихся пород. Значения коэффициента выветрелости скальных грунтов изменяются от 0.3 до 0.7, скорость выветривания не превышает 0.6 см/год. Крутизна склонов изменяется от 15 до 35°. Отмечаются небольшие заболоченные участки без свободного зеркала воды. Уровень первого водоносного горизонта расположен на глубине 5-20 м. На территории развиты денудационные процессы (плоскостной смыв), в единичных случаях – гравитационные. Наличие солифлюкции и морозобойных трещин в пределах распространения неогеновых глин. На останцах, обнажениях и клифах, сложенных метаморфической формацией чернорудской свиты, отмечаются кавернозность, небольшие гроты, полости, поноры и пещеры. На склонах, сложенных этими породами, единично проявляются небольшие воронки (до 5 м в диаметре). В береговой зоне развиты абразионные процессы. Плотность дорожной сети от 0.2 до 1.6 км/км <sup>2</sup> , коэффициент плотности инфраструктурных и объектов от 3 до 1.5.

<b>Низкая (1)</b>	<p>Мощность дисперсных грунтов более 20 м. Распространение неогеновых глин, четвертичных суглинков, карстующихся пород с формами процесса (каверны, пещеры, воронки) и разновозрастных кор выветривания. Значение коэффициента выветрелости скальных грунтов превышает 0.7, скорость выветривания составляет более 0.6 см/год. Крутизна склонов более 35°. Заболоченность территории с открытым и зеркалами воды в виде небольших озер и кочкарником, разгрузка подземных вод в виде родников. Уровень первого водоносного горизонта располагается от 0.1 до 5 м. Распространение многолетнемерзлых грунтов или перелетков представлено в виде полигональности и пучения грунтов. Наличие многолетнемерзлых грунтов с температурой менее -0.1 °С. В пределах клифов, сложенных кристаллическими породами, отмечается повышенная трещиноватость и наличие у подножия неокатанного материала, образованного вследствие обрушения или осыпания массива. Оползневые цирки имеют следы повторного смещения. Борты оврагов и абразионный берег, сложенные дисперсными грунтами, не задернованы. перенос эолового материала более 4 см/год. В береговой зоне развиты абразионные процессы. Заболоченность наблюдается в пределах береговых склонов и падей в местах разгрузки родников. Плотность дорожной сети более 1.6 км/км<sup>2</sup>, коэффициент плотность инфраструктурных и объектов более от 1.5 до 1.</p>
-------------------	--

## **Выводы**

Выполнена оценка общей экзогеодинамической обстановки территории с помощью методики, разработанной для тех районов, где устойчивость рассматривается как результирующее состояние природных условий и факторов, находящихся под воздействием техногенеза.

При помощи ГИС выполнен анализ данных и построены различные картографические модели: карта распространения природных дисперсных и скальных грунтов, карта углов наклона поверхности о. Ольхон по данным SRTM-съемки, карта пораженности ЭГП на территории о. Ольхон. Построенные модели в полной мере характеризуют современное состояние геологической среды района исследований и отражают региональные особенности ГС.

Результаты выполненного комплексного анализа компонентов ГС, (крутизна склонов, характер распространения рыхлых и скальных грунтов, гидрогеологические особенности, пораженности ЭГП, прямые техногенные нагрузки), выражены в виде карты устойчивости геологической среды. Совокупность факторов формирует определенную степень ее устойчивости, а

сочетания слоев карт демонстрирует это. Составленная карта устойчивости геологической среды о. Ольхон на основе оценки природно-техногенных показателей позволила отнести к районам с низкой степенью устойчивости преимущественно территории западного побережья, а к средней и высокой – восточного побережья и центральной части острова.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе данных, полученных в результате теоретических, лабораторных и экспедиционно-полевых (натурных) работ, выявлено следующее:

1. Состояние геологической среды о. Ольхон определяется комплексом климатических, геологических, гидрогеологических, геокриологических, структурно-тектонических и геоморфологических условий.

2. В пределах береговой зоны определена современная протяженность трех основных типов берега: структурно-абразионного, равного 93.6 км, абразионного – 124.2 км и аккумулятивного – 7.2 км. В зависимости от морфоструктурных особенностей и развивающихся ЭГП типы берегов были разделены на подтипы и определена их длина: абразионно-оползневой (11.3 км), абразионно-обвальный (15.8 км), абразионно-осыпной (47.3 км), абразионно-эоловый (9 км) и аккумулятивно-биогенный (4.5 км).

3. Распространение ЭГП на исследуемой территории определяется литологическими и геоструктурными особенностями отдельных участков острова, а также климатическими, гидрогеологическими, геокриологическими и геоморфологическими условиями. На территории о. Ольхон выделены такие типы ЭГП, как: абразионно-аккумулятивные, гравитационные, дефляционные, эрозионные процессы, заболачивание и карст. Наибольшую активность проявляют гравитационные (особенно оползневые) и эоловые процессы, особенно в местах распространения рыхлых грунтов. Эрозионные процессы отмечены в пределах береговой зоны и вдоль основной автодороги острова. Развитию современных ЭГП способствует наличие слабых рыхлых грунтов и коры выветривания, которые характеризуются определенными физико-механическими, химическими и деформационно-прочностными свойствами.

4. Средой развития оползневых процессов являются неогеновые глины, с низкими деформационно-прочностными свойствами. Установлено, что при

увеличении влажности глин от 17 до 52 % происходит снижение коэффициента их устойчивости с 1.02 до 0.73, обуславливая при этом проявление оползневых деформаций на склоне. Эти свойства, совместно с геокриологическими и климатическими условиями, определяют и контролируют основные механизмы формирования оползневых деформаций на склонах западного побережья о. Ольхон.

5. Выполнена экспертная оценка общей экзогеодинамической обстановки о. Ольхон. При помощи ГИС проведен анализ геолого-морфоструктурных данных и построены различные картографические модели. Комплексный анализ природных компонентов ГС позволил выполнить оценку ее устойчивости на локальном уровне. В результате совокупности и сочетания оцениваемые показатели сформированы и представлены в виде карты и шкалы устойчивости геологической среды.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Абалаков А.Д., Кузьмин В.А., Снытко В.А. Геосистемы о. Ольхон и вопросы природопользования // География и природные ресурсы. – 1989. – № 3. – С. 55 – 66.
2. Агафонов Б.П. Сели в Байкальской впадине (типизация, распространение, прогноз и влияние на Байкал) // Водные ресурсы. – 1975. – № 3. – С. 95 – 109.
3. Агафонов Б.П., Акулов Н.И. О природе подвижных песков на Ольхоне // Известия РАН. Серия географическая. – 2006. – № 5. – С. 101 – 108.
4. Агафонов Б.П., Акулов Н.И., Рубцова М.Н. Восходящие песчаные потоки на Ольхоне и их воздействие на лесные массивы // Тр. Прибайкальского национального парка / Иркут. гос. ун-т. – Иркутск, 2007. – Вып. 2.– С. 52 – 56.
5. Адаменко О.М., Кульчицкий А.А. Поверхности выравнивания южной части Предбайкальского прогиба // Геология Восточной Сибири: Сб. науч. тр. – Иркутск, 1972. – С. 54.
6. Акулова В.В. Структура, просадочность и тиксотропно-реологические свойства лессовых пород Иркутского амфитеатра: Автореф... дис. канд. геол. – мин. наук. – Иркутск: ИЗК СО РАН, 1994. – 18 с.
7. Атлас Иркутской области. Карта геоморфология и динамика берегов / Е.К. Гречищев, Н.П. Ладохин, О.К. Леонтьев, В.С. Мякокин. – Москва–Иркутск: ГУГиК, 1962. – 182 с.
8. Атлас. Иркутская область. Экологические условия развития. – М.–Иркутск: Российская академия наук, Федеральное агентство «Геодезия и картография», – 2004. – 90 с.
9. Аузина Л.И. Комплексный показатель как основа устойчивости подземной гидросферы // Город: прошлое, настоящее, будущее. – Иркутск: ИрГТУ, 2000. – С. 152 – 158.

10. Бабичева В.А., Пеллинен В. А. Макро- и Микроэлементный состав и физико-химические показатели донных отложений Иркутского и Братского водохранилищ // Тр. XXV Всерос. молодежной конф. «Строение литосферы и геодинамика» / ИЗК СО РАН. – Иркутск, 2013. – С. 109 – 110.
11. Базовые понятия инженерной геологии и экологической геологии: 280 основных терминов / Под ред. В.Т. Трофимова. – М.: ООО «Геомаркетинг», 2012. – 328 с.
12. БС энциклопедия. 3-е изд. – 1974. – Т. 8. – 763 с.
13. Будз М.Д., Тржцинский Ю.Б. Выветривание. Инженерная геология Прибайкалья. – М.: Наука, 1968. – С. 90 – 94.
14. Верховина Е.В., Верховина В.А. Поиск индикаторов антропогенного влияния на водные экосистемы на ранних стадиях (на примере оз. Байкал) // Тр. III Всерос. науч. конф. с международным участием «Экологический риск и экологическая безопасность» / Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН. – Иркутск, 2012. – Т. 2. – С. 70 – 72.
15. Влияние криогенеза на развитие склоновых процессов степных территории Прибайкалья / А.Н. Хименков, А.Н. Власов, Д.О. Сергеев и др. // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2015. – № 6. – С 535 – 542.
16. Вологодский Г.П. Карст Иркутского амфитеатра. – М.: Наука, 1975. – 124 с.
17. Волошин А.Л. Поверхностные воды // Байкал: природа и люди: Сб. науч. тр. – Иркутск, 2009. – С. 250 – 256.
18. Вотинцев К.К. Гидрохимические исследования Байкала, рек и озер его бассейна // Путь познания Байкала: Сб. науч. тр. – Новосибирск, 1987. – Т. 124. – С. 147.
19. Галазий Г.И. Экосистема Байкала и проблемы ее охраны // Природа. – 1978. – №. 8. – С. 44 – 59.

20. Геодинамика палеозойских океанов Центральной Азии / А.К. Диденко, А.А. Моссаковский, Д.М. Печерский и др. // Геология и геофизика. – 1994. – Т. 35, № 7 – 8. С. 59 – 75.
21. Геологическая карта 1:50000. Геологическое строение и полезные ископаемые острова Ольхон. Устинов В.И., Калинин Д.И., Шастин О.Б., Кульчицкий А.С. – Иркутск: Главвостокгеология ИТГУ, ИГЭ МГ РСФСР, 1972.
22. Геологическая карта: N-48-XXX. Геологическая карта СССР. Прибайкальская серия. Масштаб: 1:200000 / Под ред. А.С. Кульчицкого. – Л.: Ленинградская картфабрика объединения, 1959.
23. Геологические памятники Байкала / Под. ред. Г.В. Рязанова. – Новосибирск: ВО «Наука», 1993. – 160 с.
24. Геологический словарь в двух томах. Том 2. / Под. ред. К.Н. Паффенгольца. – М.: Недра, 1978. – 456 с.
25. Голодковская Г.А., Елисеев Ю.Б. Геологическая среда промышленных регионов. – М: Недра, 1989. – 218 с.
26. ГОСТ Р. 12248–2010. Грунты // Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости. – М.: МНТКС. – 2010. – 82 с.
27. Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды иркутской области в 2008 году. – Иркутск, 2009. – 542 с.
28. Государственный доклад о состоянии озера Байкал и мерах по его охране в 2010 году. – М., 2011. – 487 с.
29. Гречищев Е.К. Метод расчета ширины зоны размыва берегов на примере Братского водохранилища. – Иркутск: ИЗК СО АН СССР, 1961. – 96 с.
30. Гречищев Е.К. Методы расчета и прогноза переработки берегов // Исследования берегов водохранилищ и озера Байкал: Сб. науч. тр. – Иркутск, 1964. – С. 109.
31. Гречищев Е.К., Мамонтов Н.В. Волнение на озере Байкал. Исследования берегов водохранилищ и озера Байкал. – М.: Наука, 1964. – 157 с.

32. Гутарева О.А. Кайнозойский карст в Приольхонье (юго-западное побережье оз. Байкал) // Спелеологія і карстологія. – 2009. – С. 48 – 55.
33. Динамика Байкальской впадины / Под ред. Г.И. Галазия, Ю.П. Пармузина. – Новосибирск: Наука, 1975. – 286 с.
34. Динамика берегов озера Байкал при новом уровненом режиме / А.В. Пинегин, А.А. Рогозин, Ф.Н. Лещиков и др. – М.: Наука, 1976. – 170 с.
35. Доклад МПР России о состоянии озера Байкал и мерах по его охране в 2010 году. – М., 2011. – 342 с.
36. Домбровская Ж.В. Палеогеновая кора выветривания Центрального Прибайкалья. – М.: Наука, 1973. – 155 с.
37. Емельянова Е.П. Основные закономерности оползневых процессов. – М.: Недра, 1972. – 312 с.
38. Жиндарев Л.А., Хабидов А.Ш., Тризно А.К. Динамика песчаных берегов морей и внутренних водоемов. – Новосибирск: Наука, 1998. – 270 с.
39. Зайцев И.К. Итоги и очередные задачи изучения минеральных вод Сибири и Дальнего Востока // Тр. V совещания по подземным водам Сибири и Дальнего Востока / Иркутское книжное изд-во. – Иркутск, 1967. – 52 с.
40. Зацепин О.А., Кобиляцкая О.Д., Мутасова Т.Н., и др. Геологический отчет. Гидрогеологические работы для водоснабжения поселков в Ольхонском районе. Информационный отчет о результатах незавершенных работ в 2004 г. по контракту N 6.2.
41. Зенкович В.П. Динамическая классификация морских берегов // Тр. Ин-та. Океанол. АН СССР, – М., 1954. – Т.10. – 350 с.
42. Зенкович В.П. Основы учения о развитии морских берегов. – М.: Изд-во АН СССР, 1962. – 710 с.
43. Золотарев Г.С. Современные задачи инженерно-геологического изучения процессов и кор выветривания // Вопросы инженерногеологического

- изучения процессов и кор выветривания: Сб. науч. тр. – М., 1971. – С. 4 – 25.
44. Иметхенов А.Б. Динамика изменений берегов. Байкал. Природа и люди / Под ред. А.К. Тулохонова. – Улан-Удэ: ЭКОС, БНЦ СО РАН, 2009. – 169 с.
45. Инженерная геология Прибайкалья / Под ред. Г.Б. Пальшина. – М.: Наука, 1968. – 191 с.
46. Инженерно-геологическая оценка мезозойско-кайнозойских отложений (Восточная Сибирь и Монголия) / Т.Г. Рященко, Т.Ф. Данилова, Г.Е. Нетесова и др. – Новосибирск: Наука, 1992. – 120 с.
47. Инишева Л.И. Болотоведение. – Томск: Изд-во ТГПУ, 2009. – 210 с.
48. Кадастр особо охраняемых территорий и памятников природы Иркутской области. – Иркутск, 1999. – С. 46 – 53.
49. Кадастр особо охраняемых территорий и памятников природы Иркутской области / В.Ф. Лямкин, Л.П. Соколова. – Иркутск: Изд-во ИГ СО РАН, 1999. – 148 с.
50. Кайнозойские коры выветривания и осадочные формации Западного Прибайкалья / С.Ф. Павлов, С.А. Кашик, Т.К. Ломоносов и др. – Новосибирск: Наука, 1976. – 154 с.
51. Каплин П.А., Селиванов А.О. Изменения уровня морей России и развитие берегов: прошлое, настоящее, будущее. – М.: ГЕОС, 1999. – Т. 299. – 18 с.
52. Карта ветрового волнения оз. Байкал. Гречищев Е.К., Мамонтов Н.В. – Иркутск: Вост. – Сиб. бассейновое упр. пути, 1959.
53. Климат. Проблемы Байкала / Тр. АН СССР / Наука. – Новосибирск, 1978. – Т.16 (36). – С. 55 – 63.
54. Козловский С.В. Теория и практика создания геоинформационной системы в инженерной геологии: Автореф. дис... д-ра геол. – мин. наук. – М.: Ин-т геоэкологии РАН, 2011. – 21 с.
55. Козырева Е.А., Рыбченко А.А., Тарасова Ю.С., Rzetala M, Jagus A. Transformation Features of the shore areas in the context of antropogenesis (a

- case study in the Southern Priangaria and Upper Silesia region) // Тр. II междунар. конф. «Создание и использование искусственных земельных участков на берегах и акватории объектов» / Изд-во СО РАН. – Новосибирск, 2011. – С. 195 – 198.
56. Котов А.Б., Мазукабзов А.М., Склярёв Е.В., Федоровский В.С. Береговые скалы острова Ольхон: геологические исследования по льду Байкала // Тр. IX Всерос. сов. «Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса: от океана к континенту» / ИГ СО РАН. – Иркутск, 2011. – С. 183.
57. Куприянова Т.П. Обзор представлений об устойчивости физико-географических систем // Устойчивость геосистем: Сб. науч. тр. – М., 1983. – С. 7.
58. Леви К.Г., Тржцинский Ю.Б., Козырева Е.А. К оценке тектонического и экзогеодинамического риска деформаций и разрушения трубопроводных систем в условиях Восточной Сибири // Современная геодинамика и опасные природные процессы в Центральной Азии: Сб. науч. тр. – Иркутск, 2006. – С. 150 – 174.
59. Леви К.Г., Шерман С.И. Актуальные вопросы современной геодинамики Центральной Азии. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2005. – 297 с.
60. Леонтьев О.К. Основы геоморфологии морских берегов. – М.: Изд-во МГУ, 1961. – 420 с.
61. Литвин В.М. Опыт региональной оценки интенсивности проявления экзогенных геологических процессов на юге Восточной Сибири // Инженерная геология. – 1991. – № 6. – С. 72 – 81.
62. Литвин В.М. Опыт региональной оценки интенсивности проявления экзогенных геологических процессов на юге Восточной Сибири // Инженерная геология. – 1991. – № 6. – С. 72– 81.
63. Литвин В.М. Региональная инженерно-геологическая оценка экзогенных геологических процессов юга Восточной Сибири: Автореф... дис. канд. геол. – мин. наук. – Иркутск: ИЗК СО АН СССР, 1986. – 21 с.

64. Логачев Н.А., Ломоносова Т.К., Климанова В.М. Кайнозойские отложения Иркутского амфитеатра. – М.: Наука, 1964. – 196 с.
65. Ломтадзе В. Д. Физико-механические свойства горных пород. Методы лабораторных исследований: Учебное пособие. – М.: Недра, 1990. – 328 с.
66. Лопатин Д.В., Сковитина Т.М. Ярусное строение рельефа Приольхонья и острова Ольхон в геоморфологической структуре Западного Прибайкалья // Геоморфология. – 2015. – №. 4. – С. 83 – 91.
67. Лунина О.В., Гладков А.С., Шерстянкин П.П. Новая электронная карта активных разломов юга Восточной Сибири // Доклады РАН. – 2010. – Т. 433, № 5. –С. 662 – 667.
68. Лут Б.Ф. Геоморфология дна Байкала и его берегов. – М.: Наука, 1964. – 123 с.
69. Макаров С.А., Рященко Т.Г., Акулова В.В. Геоэкологический анализ территорий распространения природно-техногенных процессов в неоген-четвертичных отложениях Прибайкалья. – Новосибирск: Наука, 2000. – 160 с.
70. Мац В.Д. Кайнозой Байкальской впадины: Автореф. дис... д-ра геол. – мин. наук.– Иркутск: ИЗК СО АН СССР, 1987. – 42 с.
71. Мац В.Д. Новые данные по стратиграфии миоценовых и плиоценовых отложений на юге Байкала // Вопросы геологии и палеогеографии Сибири и Дальнего Востока: Сб. науч. тр. – Иркутск, 1985. – С. 36 – 53.
72. Мац В.Д. Стратиграфия отложений позднего мела кайнозоя Байкальского рифта // Стратиграфия. Геологическая корреляция. – 2013. – Т. 21, № 6. – С. 72–72.
73. Мац В.Д., Уфимцев Г.Ф., Мандельбаум М.М. Кайнозой Байкальской рифтовой впадины. – Новосибирск: ГЕО, 2001. – 252 с.
74. Мац В.Д., Флоренсов Н. А. Плиоцен и плейстоцен среднего Байкала. – Новосибирск: Наука, 1982. – 192 с.
75. Многолетняя мерзлота и сезонное промерзание горных пород М 1:2500000 / Лещиков Ф.Н., Майданович Л.И., Алексеев В.Р.

76. Мониторинг береговой зоны внутренних водоемов России / А.Ш. Хабидов, В.А. Шлычков, Е.А. Федорова и др. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012. – 139 с.
77. Овчинников Г.И. Динамика береговой зоны Ангарских водохранилищ: Автореф. дис... д-ра географ. наук. – Иркутск: ИГ СО РАН, 2003. – 50 с.
78. Ольхонский метаморфический террейн Прибайкалья: раннепалеозойский композит фрагментов неопротерозойской активной окраины / Д.П. Гладкочуб, Т.В. Донская, В.С. Федоровский и др. // Геология и геофизика. – 2010. – Т. 51, № 5. – С. 571 – 588.
79. Осипов В.И. Оценка природных рисков // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2004. – № 6. – С. 483 – 490.
80. Осипов В.И. Формирование и оценка инженерно-геологических условий территории строительства олимпийских объектов горного кластера в Адлерском районе г. Сочи // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2011. – № 1. – С. 3 – 13.
81. Островский В.Н., Цыпина И.М. Обзорное районирование России и смежных территорий по устойчивости геологической среды к техногенным воздействиям // Геоэкологические исследования при инженерно-геологических съемках: Сб. науч. тр. ВСЕГИНГЕО. – М., 1992. – С. 69 – 74.
82. Оценка экологического состояния почвенного покрова о. Ольхон (по экспериментальным данным) / В.А. Пеллинен, Т.Ю. Черкашина, Г.В. Пашкова и др. // Известия Иркутского гос. ун-та. Серия «Науки о Земле». – 2016. – Т. 16. – С. 79 – 90.
83. Пеллинен В.А. Анализ инженерно-геологических условий острова Ольхон озера Байкал // Тр. IX междунар. школы по наукам о Земле им. проф. Л.Л. Перчука. – Одесса, Украина, 2013. – С. 137 – 142.
84. Пеллинен В.А. Исследование аккумулятивных берегов на примере западного побережья о. Ольхон, Байкал // Тр. V Междунар. конф. молодых ученых и специалистов памяти ак. А.П. Карпинского /

- Минприроды России, Роснедра, ВСЕГЕИ. – Электрон. данные. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2017. – С 897 – 900.
85. Пеллинен В.А. Опасные инженерно-геологические процессы береговой зоны о. Ольхон // Тр. II Всерос. совещания и молодежной школы «Современная геодинамика Центральной Азии и опасные природные процессы: результаты исследований на количественной основе» / ИГ СО РАН. – Иркутск, – 2012. – С. 113 – 115.
86. Пеллинен В.А. Районирование территории острова Ольхон по группам экзогенных геологических процессов // Тр. годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии «Сергеевские чтения». – М., 2014. – Вып. 16. – С. 319 – 323.
87. Пеллинен В.А. Экспериментальные исследования прочностных свойств неоген-четвертичных отложений острова Ольхон // Тр. XXV Всерос. молодежной конф. «Строение литосферы и геодинамика». – Иркутск, 2013. – С. 126.
88. Пеллинен В.А., Козырева Е.А. Геоинформационный анализ геолого-морфологических условий острова Ольхон оз. Байкал // Тр. XXVI Всерос. молодежной конф. «Строение литосферы и геодинамика». – Иркутск: ИЗК СО РАН, 2015. – С. 134 – 136.
89. Пеллинен В.А., Козырева Е.А. Оценка экзогеодинамической опасности рекреационных территорий, остров Ольхон, Байкал // Тр. III Всерос. совещания и молодежной школы «Современная геодинамика Центральной Азии и опасные природные процессы: результаты исследований на количественной основе» / ИГ СО РАН. – Иркутск, 2016. – С. 244 – 249.
90. Пеллинен В.А., Козырева Е.А. Свойства неогеновых отложений и их влияние на проявление ЭГП: на примере участка Саса о. Ольхон озера Байкал // Тр. IX междунар. Российско-Монгольской конф. по астрономии и геофизике / ИСЗФ СО РАН. – Иркутск, 2011. – С. 33.

91. Пеллинен В.А., Принципы создания классификаций оползней: краткий обзор // Вестник ИрГТУ. – 2012. – № 8. – С. 52 – 55.
92. Пеллинен В.А., Черкашина Т.Ю., Пашкова Г.В., Пантеева С.В. Геохимические методы исследования для геоэкологической оценки состояния сельскохозяйственных угодий острова Ольхон, Байкал // Тр. XIV Всерос. сов. «Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса: от океана к континенту» / ИГ СО РАН. – Иркутск, 2016. – С. 221.
93. Пинегин А.В. Основные закономерности формирования и динамика береговой зоны оз. Байкал: Автореф... дис. кан. геол. – мин. наук. – Иркутск: ИЗК СО АН СССР, 1975. – 27 с.
94. Плешанов С.П., Ромазина А.А. Основные этапы формирования рельефа Приольхонья // Геоморфология. – 2017. – № 4. – С. 85 – 89.
95. Постановление Правительства РФ от 29.05.2008 № 404 (ред. от 28.01.2011) «О Министерстве природных ресурсов и экологии Российской Федерации», 2011.
96. Потемкина Т.Г. Экологические проблемы береговой зоны Байкала // Тр. междунар. конф. «Создание и использование искусственных земельных участков на берегах и акватории объектов» / Изд-во СО РАН. – Новосибирск, 2009. – С. 307 – 310.
97. Пузаченко Ю.Г. Инвариантность геосистем и их компонентов // Устойчивость геосистем. – 1983. – № 1 – С. 32 – 41.
98. Пуляевский Г.М., Овчинников Г.И. Формирование берегов ангарских водохранилищ // Моделирование и прогнозирование геофизических процессов: Сб. науч. тр. – Новосибирск, 1987. – С. 39 – 46.
99. Рогозин А.А. Береговая зона Байкала и Хубсугула: Морфология, динамика и история развития. – Новосибирск: Наука, 1993. – 168 с.
100. Рогозин А.А. Основные положения теории опасных геологических процессов и рисков // Тр. III междунар. конф. «Новые идеи в науках о Земле» / МГУ. – М., 1997. – Т. 4. – С. 115–116.

101. Рогозин А.А. Формирование береговой зоны Байкала в голоцене // География и природные ресурсы. – 1992. – № 1. – С. 69.
102. Русинек О.Т., Уфимцев Г. Ф., Фиалков В. А. Байкальский ход (научная экскурсия по Байкалу). – Новосибирск: ГЕО, 2009. – 187 с.
103. Рычагов Г.И. Общая геоморфология: учебник. – 3-е изд., перераб. и доп. / Г.И. Рычагов. – М.: Наука, 2006. – 416 с.
104. Рященко Т.Г. Региональное грунтоведение (Восточная Сибирь). – Иркутск: ИЗК СО РАН, 2010. – 287 с.
105. Рященко Т.Г., Пеллинен В.А. Параметры микроструктуры пещерных глинистых отложений и палеоген-неогеновых глин (сравнительный анализ) // Отечественная геология. – 2016. – № 1. – С. 53 – 61.
106. Салоп Л.И. Геохронология докембрия и некоторые особенности раннего этапа геологического развития Земли // Геология докембрия: Сб. докл. сов. геол. XXII сес. МГК пробл. – М., 1964. – Т. 10. – С. 16 – 30.
107. Складорова О.А., Складоров Е.В., Федоровский В.С. Структурно-геологический контроль локализации и состава вод озер и родников Приольхонья // Геология и геофизика. – 2002. – Т. 43, № 8. – С. 732 – 745.
108. СНиП 2.02.04-88. Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. М.: ГУП ЦПП, Минстрой России, 1997. – 52 с.
109. Современная экзогеодинамика юга Сибирского региона / Ю.Б. Тржцинский, Е.А. Козырева, О.А. Мазаева, В.А. Хак. – Иркутск: ИЗК СО РАН, – 2007. – 155 с.
110. Солифлюкционные оползни побережья острова Ольхон / Е.А. Козырева, А.А. Рыбченко, Т. Щипек, В.А. Пеллинен // Вестник ИрГТУ. – 2011. – № 4 (51). – С. 41 – 49.
111. СП11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть II. Правила производства работ в районах развития опасных геологических и инженерно-геологических процессов/Госстрой России. – М.: ПНИИИС Госстроя России, 2000. – 46 с.

112. Тамьяров А.В., Шкромато А.А. Географические информационные системы: Метод. указ. к лаб. работам. В 2ч. – Ч.1. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2011. – 101 с.
113. Типы берегов на острове Ольхон озере Байкал / Е.А. Козырева, В.А. Пеллинен, О.А. Мазаева, А.Ш. Хабидов // Геоморфология. – 2014. – № 3. – С. 74 – 84.
114. Ткачук В.Г. Гидрогеология СССР. Т. XIX. Иркутская область. – М. Недра, 1968. – 492 с.
115. Тржцинский Ю.Б. Техногенные изменения геологической среды (на примере Сибирского региона). – Иркутск: ИЗК СО РАН, 2007. – 115 с.
116. Тржцинский Ю.Б., Павлов С.Х., Козырева Е.А. Оползни в карстующихся породах Верхнего Приангарья // География и природные ресурсы. – 2003. – № 1. – С. 87 – 93.
117. Тризно А.К., Хабидов А.Ш. Защита берегов Новосибирского водохранилища / Береговая зона морей, озер и водохранилищ: Сб. науч. тр. – Новосибирск: Наука, 2001. – С. 201 – 217.
118. Трофимов В. Т., Герасимова А. С., Красилова Н. С. Устойчивость геологической среды и факторы, ее определяющие // Геоэкология. – 1994. – № 2. – С. 18 – 28.
119. Трофимов В.Т. О необходимости совершенствования идеологии инженерно-экологических изысканий и геологизации их содержания // Инженерные изыскания. – 2011. – №. 9. – С. 22–28.
120. Трофимов В.Т. Теоретические вопросы проблемы эволюции инженерно-геологических условий Земли в эпоху техногенеза // Тр. Междунар. науч. конф. «Эволюция инженерно-геологических условий Земли в эпоху техногенеза» / Изд. МГУ. – М., 1997. – С. 6 – 15.
121. Трофимов В.Т., Зилинг Д.Г. Экологическая геология // География в школе. – 2002. – №. 7. – С. 8 – 17.
122. Трофимов В.Т., Красилова Н.С. Инженерно-геологические карты. – М.: Изд. МГУ, 2008. – 356 с.

123. Трофимов В.Т., Харькина М.А. Многообразие современных геологических процессов и их инженерно-геологическая оценка // Тр. междунар. науч. конф. / Изд. МГУ. –М., 2009. С. 29 – 30.
124. Узоры Байкальских берегов / Г.Ф. Уфимцев, Т.М. Сковитина, Т.Г. Потемкина и др. // География и природные ресурсы. – 2009. – № 4. – С. 12 – 19.
125. Узоры Байкальских берегов / Г.Ф. Уфимцев, Т.М. Сковитина, Т.Г. Потемкина и др. // География и природные ресурсы. 2009. № 4. – С. 12–19.
126. Устинов В.И., Рыбаков В.Г., Шастин О.Б. Отчет о поисковых работах Западной партии на высокоглиноземное сырье в Западном Прибайкалье, проведенных в 1964 – 1965 гг. – Иркутск: Главвостокгеология ИТГУ, ИГЭ МГ РСФСР, 1965. – 387 с.
127. Федеральный закон от 14.03.1995 № 33-ФЗ (ред. от 27.12.2009) «Об особо охраняемых природных территориях» (принят ГД ФС РФ 15.02.1995)
128. Федоровский В.С. Купольный тектогенез в коллизионной системе каледонид западного Прибайкалья // Геотектоника. 1997. – № 6. – С. 56 – 71.
129. Финаров Д.П. Динамика берегов и котловин водохранилищ ГЭС СССР. – Л.: Энергия, 1974. – 244 с.
130. Флоренсов Н.А. К морфологии берегов среднего и северного Байкала // Геоморфология дна Байкала и его берегов: Сб. науч. тр. – М.: Наука, 1964. С. 22 –35.
131. Черский И.Д. Предварительный отчет о геологическом исследовании береговой полосы оз. Байкал (год третий, 1879) // Изв. Вост.–Сиб. отд. Имп. РГО. – 1880. – С. 1 – 2.
132. Шерман С.И., Леви К.Г. Активные разломы Прибайкалья // Развитие жизни в процессе абиотических изменений на Земле. – 2014. – № 3. – С. 233 – 237.

133. Щипек Т., Вика С., Козырева Е.А., Снытко В.А., Хак В.А. Песчаные массивы на о. Ольхон (Байкал) // Тр. междунар. науч. – практ. конф. «Географические науки в обеспечении стратегии устойчивого развития в условиях глобализации (к 100-летию со дня рождения профессора Н. Т. Романовского)» / Изд. центр БГУ. – Минск, Беларусь, 2012. – С. 254 – 257.
134. Электронный ресурс. <https://world-weather.ru/archive/russia/khuzhir/>
135. Эоловые фации побережий озера Байкал и Братского водохранилища / Б.П. Агафонов, Г.И. Овчинников, В.А. Снытко, Т. Щипек // География и природные ресурсы. – 2001. – № 4. – С. 92 – 98.
136. Янковский А.Т., Козырева Е.А. Экзогенные процессы в геологической среде. Оценка природных опасностей. – Иркутск-Сосновец: Силезский ун-т, 2008. – 107 с.
137. Cherkashina T., Pellinen V., Fedorova E., Gustaytis M. Multielemental analysis of soils in coastal zones of the lake Baikal by X-ray fluorescence and atomic absorption spectrometry: application to ecological and geochemical studies // Proc. of the 17–th Multidisciplinary Scientific GeoConference, Ecology, Economics, Education and Legislation, SGEM. – Albena, Bulgaria, 2017. – Vol. 17, Issue 52. – P. 651 – 658.
138. Fedorovsky V.S., Sklyarov E.V. The Olkhon geodynamic proving ground (lake Baikal): high resolution satellite data and geological maps of new generation // Geodynamics & Tectonophysics. – 2010. – Vol. 1, N 4. – P. 331 –418.
139. Holling C.S. Resilience and stability of ecological systems // Annual review of ecology and systematics. – 1973. – Vol. 4, N 1. – P. 1 – 23.
140. Late creataceous-cenozoic sediments of the Baikal rift basin and changing natural conditions / V.D. Mats, T.K. Lomonosova, G.A. Vorobjeva, E.G. Vologina // Geodynamics & Tectonophysics. – 2010. – Vol. 1, N 1. – P. 75 – 86.
141. Obszary piaszczyste na Olchonie (Bajkał) / T. Szczypek, S. Wika, W.A. Snytko. – Sosnowiec – Irkuck: WNoZ UŚ, 2012. – 69 s.

142. Ovchinnikov G.I., Snytko W., Szczypek T. Dynamics of contemporary aeolian processes in selected points of taiga and steppe landscapes in eastern Siberia. [in book] *Dynamiczne aspekty geomorfologii eolicznej.* – Sosnowiec, 2001. – P. 37 – 46.
143. Pellinen V, Cherkashina T, Shtel'makh S, Pashkova G, Gustaytis M, Zhurkova I. Modern ecological-geochemical state of soils, the Olkhon island, the lake Baikal // *Proc. of the 8-th International Siberian Early Career GeoScientists Conference.* Novosibirsk, 2016. – P. 357.
144. Pellinen V.A., Kozyreva E.A., Rzetala M.A. Particular features of the formation of the shore zone on olkhon island, lake baikal // *Proc. of the International limnological conf.* – Poznan, Poland, 2012. – P. 82 – 83
145. Pellinen VA., Rzetala M.A., Solarski M., Influence the properties of neogene sediments the emergence of land landslides on the territory of island Olkhon lake Baikal // *Z badań nad wpływem antropopresji na środowisko.* – 2012. – Vol. 13. – P. 54 – 57.