
НАУЧНОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ОВРАЖНЫХ ФОРМ РЕЛЬЕФА ОСТРОВА ОЛЬХОН

© 2023 г. С. В. Солодянкина^а, *, Ю. В. Вантеева^а, **, М. Ю. Опекунова^а, ***,
А. А. Рыбченко^б, ****, Е. А. Козырева^б, *****, О. А. Мазаева^б, *****,
Т. И. Знаменская^а, *****, А. А. Юрьев^б, *****

^аИнститут географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, Иркутск, Россия

^бИнститут земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

*E-mail: solodyankinasv@gmail.com

**E-mail: ula.vant@mail.ru

***E-mail: opek@mail.ru

****E-mail: rybchenk@crust.irk.ru

*****E-mail: kozireva@crust.irk.ru

*****E-mail: moks@crust.irk.ru

*****E-mail: tiznam@mail.ru

*****E-mail: zuzua2016@gmail.com

Поступила в редакцию 03.04.2022 г.

После доработки 16.05.2023 г.

Принята к публикации 02.06.2023 г.

В статье рассмотрен опыт научного обоснования работ по рекультивации оврага на мысе Бурхан на острове Ольхон (юг Восточной Сибири, оз. Байкал). Памятник природы мыс Бурхан обладает высокой туристической привлекательностью, и как следствие подвержен интенсивным рекреационным нагрузкам. Особенности литолого-геологического строения и морфологических параметров обуславливают здесь развитие процессов линейной эрозии, которые усиливаются под воздействием техногенного фактора. В результате исследования проведен комплексный анализ территории: исходные условия, причины и факторы дигрессии почвенно-растительного покрова и активизации эрозионных процессов. Проанализированы различные подходы к техническому и биологическому этапам рекультивации оврага. Разработаны подробные рекомендации для снижения рекреационной нагрузки на рельеф и проведения рекультивационных работ. Предлагаемые подходы к рекультивации могут быть применены для других овражных форм на о. Ольхон и Приольхонском плато.

Ключевые слова: остров Ольхон, мыс Бурхан, степной ландшафт, стадии дигрессии, памятник природы, опасные геоморфологические процессы, рекреационные нагрузки

DOI: 10.31857/S086960712301007X, **EDN:** HEVTGD

ВВЕДЕНИЕ

На примере территории о. Ольхон рассмотрены подходы к предотвращению процессов плоскостного и линейного размыва, являющихся следствием естественных и антропогенных факторов. Объектом исследования выбран мыс Бурхан на о. Ольхон в акватории оз. Байкал (рис. 1), где расположен один из крупнейших на острове оврагов техногенного происхождения. Формирование оврага произошло по проложенной в 1976 году по склону траншее под водовод, который так и не был сооружен.

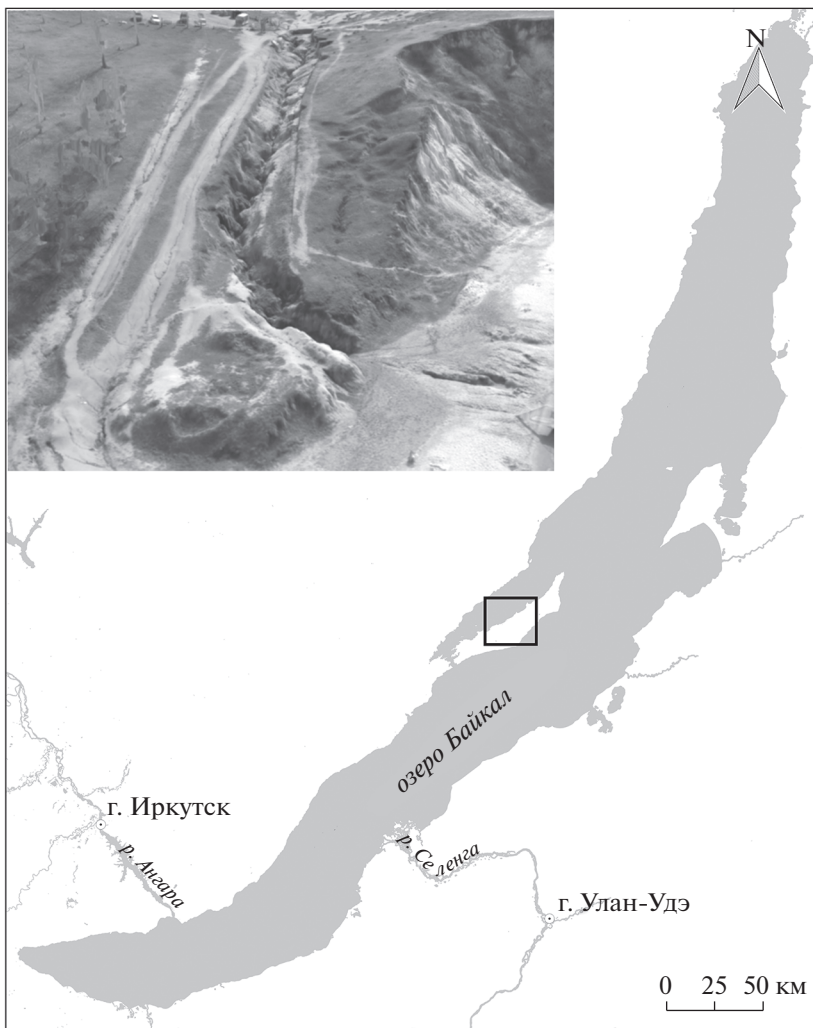


Рис. 1. Расположение объекта исследования. На врезке: Вид оврага – аэрофотосъемка с использованием БПЛА DJI Phantom 4Pro RTK, август 2021 г.

Fig. 1. Location of the research object. Inset: View of the gully – aerial photography using DJI Phantom 4Pro RTK drone, August 2021.

Мыс Бурхан является самым известным и наиболее посещаемым туристами историко-природным памятником природы Байкала. Большая часть изображений, генерируемых в ответ на поисковой запрос “Озеро Байкал” в Яндекс и Google, отображают именно мыс Бурхан. На территории мыса сформировалась овражная сеть, размеры и динамика роста которых угрожают целостности памятника.

Работы по предотвращению развития опасных геоморфологических процессов и восстановлению почвенно-растительного покрова нарушенных участков обычно подразделяются на два этапа – технический и биологический. основополагающим документом, регламентирующим выполнение восстановительных работ в настоящий период, является Постановление Правительства РФ от 10.07.2018 № 800 “О проведении рекультивации и консервации земель”. Помимо этого, необходимо учитывать требо-

вания в области охраны окружающей среды, санитарно-эпидемиологические требования, законодательные нормы, ограничивающие определенные виды деятельности в зонах с особыми условиями использования территории (ЗОУИТ), а также региональные ландшафтно-климатические условия и локальные особенности местоположения земельного участка.

В настоящее время исследуемый земельный участок с оврагом располагается на землях населенных пунктов в составе Прибайкальского национального парка и входит в центральную экологическую зону Байкальской природной территории, установленную в соответствии со ст. 2 Федерального закона от 1 мая 1999 г. №94-ФЗ “Об охране озера Байкал”. Постановлением Правительства РФ от 31.12.2020 года № 2399 утвержден перечень видов деятельности, запрещенных в центральной экологической зоне Байкальской природной территории. Помимо этого, данный земельный участок входит в водоохранную и рыбоохранную зоны оз. Байкал, установленные в соответствии со ст. 3 ФЗ “Об охране озера Байкал” распоряжением Правительства РФ от 5 марта 2015 г. № 368-р “Об установлении границ водоохранной зоны и рыбоохранной зоны оз. Байкал”, а также попадает в прибрежную защитную полосу шириной 200 м от уреза воды в соответствии со ст. 13 Водного кодекса РФ от 3.06.2006 г. № 74-ФЗ, где хозяйственная деятельность также жестко регламентируется. Вид разрешенного использования земель – отдых (рекреация). Включение данного участка в состав национального парка и нахождение в ЗОУИТ разных категорий накладывают строгие ограничения на хозяйственную и иную деятельность, предъявляют высокие требования к сохранению и поддержанию средоформирующих и водоохранных функций ландшафта и, соответственно, обеспечивают нормативными инструментами для принятия мер по снижению антропогенной нагрузки на исследуемый участок.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Материалами для работы послужили полевые и картографические данные, накопленные за разные годы в Институте земной коры СО РАН и Институте географии им. В.Б. Сочавы СО РАН. На основе маловысотной плановой аэрофотосъемки с использованием беспилотного летательного аппарата DJI Phantom 4Pro RTK в августе 2021 г. построен ортофотоплан (см. рис. 1) и трехмерная модель овражной формы. По этим данным в соответствии с апробированной методикой [14] выполнен бассейновый анализ, получены количественные данные овражной формы и морфометрии склона. Проведено зонирование рассматриваемой территории по степени геоморфологической опасности. Данные исследования включали оценку опасных геоморфологических процессов в совокупности с геолого-геоморфологическим строением территории и учетом рекреационной нагрузки в пределах участка [2]. На основе комплексных рекреационно-географических исследований в период с 2017 по 2021 гг. произведена оценка состояния ландшафтов в районе мыса Бурхан и прилегающего к нему Сарайского пляжа. Степень нарушенности и стадии дигрессии растительного покрова определялись по апробированной методике [5, 9] на основе анализа описаний флористического состава по ярусам и данных о проективном покрытии и высоты каждого вида растения, характере распределения и т.д.

Для оценки состояния почвенного покрова участка исследования была изучена его структура, выделены основные типы почв. Проведена комплексная оценка показателей состава и физико-химических свойств почв с применением стандартных методик [3, 10–11, ГОСТ 12536–2014¹; ГОСТ 5180–2015²].

¹ ГОСТ 12536-2014. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава М.: Стандартинформ, 2015. 22 с.

² ГОСТ 5180-2015 Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик М.: Стандартинформ, 2016. 20 с.

Дополнительно производилась оценка рекреационной нагрузки по следующим показателям:

1) максимальная единовременная рекреационная нагрузка в пик летнего сезона (чел./га) – суммарный показатель единовременного числа организованных отдыхающих (по числу мест в объектах размещения), самодеятельных туристов, а также экскурсантов по данным муниципальных образований и материалам полевых работ 2017–2018 гг.;

2) площадь ареала рекреационного воздействия вычислялась на основе космических снимков, корректировалась по фотографиям и снимкам с БПЛА.

Исследуемый овраг расположен в пределах береговой геоморфосистемы мыса Бурхан, который разграничивает Хужирский и Сарайский заливы о. Ольхон, на склоне северо-восточной экспозиции с уклоном 11° – 13° слева от грунтовой дороги. Мыс представляет собой конусообразную двухвершинную скалу, сложенную мрамором и доломитизированным известняком палеозойского возраста [4]. Высоты поверхностей варьируют от 456 м (урез озера Байкала) до 525 м (высшая безымянная точка с базовой станцией на территории п. Хужир). Углы наклонов поверхностей изменяются от 0° до 30° . Поверхности с максимальной крутизной представлены береговыми склонами северо-западной, северной, северо-восточных экспозиций. Плоские и пологие поверхности соотносятся с пляжевой зоной бухт и плоскими водораздельными поверхностями.

В целом район исследования с учетом рекреационной нагрузки характеризуется высокой геоморфологической опасностью [8, 11]. На исследуемой территории имеются как природные, так и вызванные деятельностью человека предпосылки для активизации эрозионных процессов. Ландшафтная структура на данной территории формируется в условиях дефицита атмосферных осадков (200–300 мм в год), обусловленного барьерным и котловинным эффектами, поэтому формирующиеся здесь степные ландшафты являются аazonальными [13].

В пределах территории исследования выделяются структурно-денудационный, эрозионно-денудационный и аккумулятивный типы рельефа. Структурно-денудационный рельеф представлен вершинным поясом водоразделов – холмисто-волнистой водораздельной поверхностью, на которой расположен п. Хужир. Эрозионно-денудационный рельеф склонового пояса представлен береговыми и водораздельными склонами, которые интенсивно преобразуются гравитационно-склоновыми процессами, линейной и плоскостной эрозией. Обвально-осыпные склоны обычно соотносятся с береговыми уступами. Склоны с развитием линейной эрозии – это береговые склоны и склоны с дорожной сетью, по колеям которых развиваются промоины [7]. Также обнаружены проявления карстообразования в выходах крупнокристаллических мраморов. Аккумулятивный тип рельефа представлен эоловым песчаным массивом [1], примыкающим к Сарайскому заливу, пляжами, конусами выносов оврагов, суходолов, аккумулятивными телами обвалов, осыпей в нижних частях склонов. При анализе разновременных снимков, начиная с 1985 года и по настоящее время, выявлено длительное стабильное положение эоловых массивов. Принимая во внимание увеличившийся турпоток за последнее десятилетие, можно говорить о минимальном антропогенном воздействии на динамику эоловых процессов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Как показала оценка рекреационной нагрузки (табл. 1), в пик сезона на мысе Бурхан единовременно может сосредотачиваться до 300 человек. Площадь ареала рекреационного воздействия составила 13 га в пределах закрытой для проезда автотранспорта территории. Анализ спутникового снимка CNES/Airbus от 22 июля 2021 г. с сервиса Google Earth Pro показал, что площадь застроенной территории на текущий период –

Таблица 1. Рекреационные нагрузки на места отдыха и туризма на территории исследования
Table 1. Recreational pressures on places of recreation and tourism in the study area

Населенный пункт/местность	Число отдыхающих одновременно на территории в пик сезона	Площадь рекреационной территории по границам ареала воздействия, га	Рекреационная нагрузка, чел/га
Мыс Бурхан	300	13.0	23.1
Сарайский пляж	1500	128.0	1.2

2.4 кв. км, протяженность дорожной сети – 49.5 км, коэффициент плотности, действующей дорожно-тропиночной сети составляет 21.8 км/км². К югу от мыса Бурхан расположен поселок Хужир – важный логистический центр для рекреационных потоков в пределах острова.

В условиях интенсивной селитбы и рекреации при существующих природных особенностях почв (недостаточное увлажнение, легкий гранулометрический состав, каменистость) даже незначительный уклон тропиночной сети способствует формированию системы быстрого сброса ливневых и талых вод, при этом часть внутрпочвенного стока заменяется поверхностным. Для почв характерно глубокое промерзание в зимний период из-за маломощного снежного покрова, а в период весеннего снеготаяния на территории формируется поверхностный сток и смыв почвы. Следствием этого являются эрозионные формы, приуроченные преимущественно к дорожной и тропиночной сети.

На основании анализа геолого-геоморфологического строения территории определен спектр опасных геоморфологических процессов³.

На следующем этапе выполнено зонирование участка исследования по степени геоморфологической опасности с учетом рекреационной нагрузки. Зонирование проведено по методике [8] с учетом распространения типов рельефа, развития процессов, интенсивности их проявления (рис. 2). Таким образом, выделено две рекреационные геоморфосистемы [2] и одна урбогеоморфосистема в пределах границ населенного пункта.

1) Урбогеоморфосистема п. Хужир – относительно стабильная зона, в пределах которой риски развития опасных процессов минимизированы проведением инженерно-геологических мероприятий.

2) Рекреационная геоморфосистема *Сарайского пляжа*, куда входят поверхности бенча и берегового склона, смоделированные эоловыми процессами. Зона относительно устойчивая (пологие склоны, закрепленные растительностью). Спектр процессов, которые отнесены к опасным, здесь сокращен (дефляция, незначительно водная эрозия, заболачивание). Рекреационная нагрузка и антропогенное влияние на рельеф и динамику опасных геоморфологических процессов значительна.

3) *Прибрежная* рекреационная геоморфосистема, включающая мыс Бурхан – неустойчивая зона с максимальной рекреационной нагрузкой и максимальным риском развития опасных геоморфологических процессов, наиболее привлекательная территория. Атрактивность ландшафтов обусловлена, в том числе высоким геоморфологическим разнообразием в сочетании с наличием факторов, повышающих риск развития или активизации опасных для человека процессов: крутизна склонов, тип берега, неустойчивые к выветриванию горные породы, спектр уже существующих современных экзогенных процессов (обвально-осыпные, карст, эрозия).

Геосистемы на мысе Бурхан и прилегающей к нему территории представлены в основном мелкодерновинно-злаковыми степями (в местах интенсивного воздействия

³ ГОСТ Р 22.0.03–95. Безопасность в чрезвычайных ситуациях Природные чрезвычайные ситуации. Термины и определения. М.: Изд-во стандартов, 1995. 16 с.

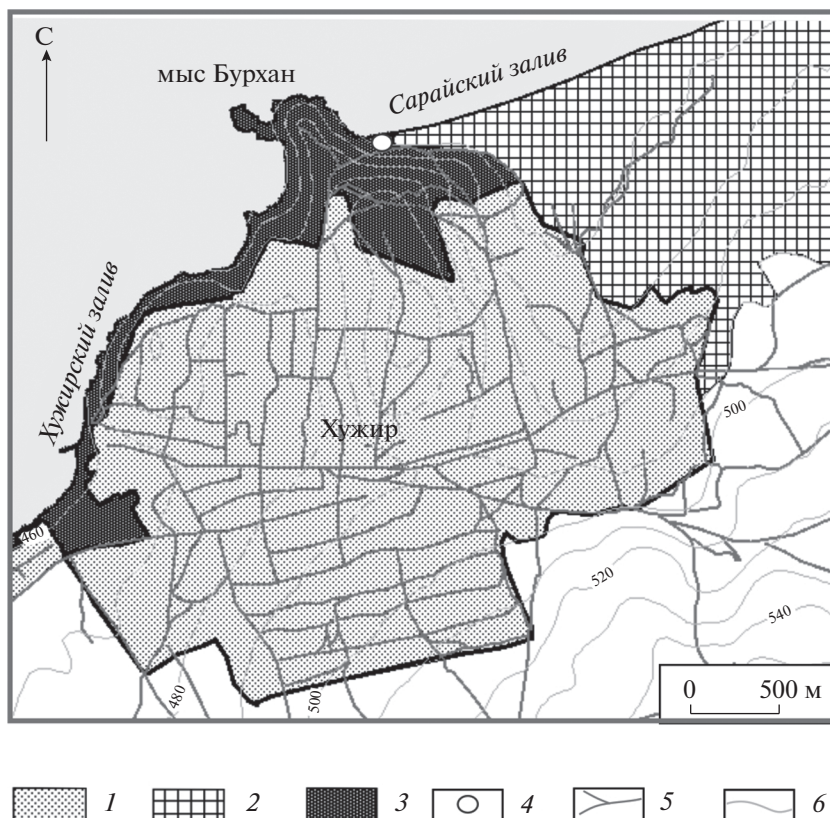


Рис. 2. Зонирование территории по геоморфологической опасности с учетом рекреационной нагрузки. Степень геоморфологической опасности: 1 – низкая, 2 – средняя, 3 – высокая; 4 – исследуемый овраг, 5 – дорожная сеть, 6 – горизонтали.

Fig. 2. Zoning of the territory according to geomorphological hazard, taking into account the recreational impact. Degree of geomorphological hazard: 1 – low, 2 – medium, 3 – high; 4 – investigated gully, 5 – road network, 6 – contour lines.

замещающиеся на длиннокорневищные злаки) с единичными лиственницами (*Larix sibirica*⁴) на крутых склонах в сочетании с петрофитными низкотравными сообществами на скалах. Оценка состояния геосистем данной территории показала высокую степень их деградированности.

Многолетние исследования показали [5, 9], что под влиянием рекреационных нагрузок растительные сообщества разнотравно-злаковых (преимущественно типчакovo- и житняково-ковыльных) степей часто карагановых, к которым относится рекультивируемый участок, проходят следующие стадии дигрессии.

Первая стадия – ненарушенное состояние: флористический состав 30 и более видов, нет инвазивных видов, проективное покрытие растительностью около 40–50%, средняя высота растений в июле 40–60 см. Эдификаторы: *Helictotrichon altaicum*, *Stipa baicalensis*, *Festuca lenensis*, *Cymbaria daurica*, *Eremogone meyeri*, *Heteropappus altaicus*,

⁴ Номенклатура растений приводятся по сводке “Конспект флоры Иркутской области”, 2008 [6].

Scabiosa comosa, *Allium ramosum*, *A. splendens*, *Carex argunensis*, *C. korshinskyi*, *Chamaerhodo altaica*, *Selaginella sanguinolenta*.

Вторая стадия — малонарушенное состояние: характеризуется снижением видового разнообразия, появлением инвазивных видов в сообществе, возрастает роль дерновинных злаков (*Agropyron cristatum*, *Poa* spp.) и полыни (*Artemisia* spp.).

На третьей отмечаются резкие изменения состава флоры ценозов, злаковые эдификаторы сменяются полынью (*Artemisia frigida*), осокой (*Carex duriuscula*, *C. pediformis*) и лапчатками (*Potentilla bifurca*, *P. acaulis*, *P. tanacetifolia*, *P. anserina*). Может наблюдаться некоторое увеличение видового разнообразия за счет рудеральных и инвазивных видов. Эта стадия индицирует границы устойчивости степных фитоценозов.

На четвертой стадии дигрессии роль эдификаторов переходит к апофитам и инвазивным видам. Снижается видовое разнообразие, проективное покрытие до 30–40% и высота травостоя, встречаются небольшие участки с выбитым почвенно-растительным покровом.

На пятой стадии, на которой находится исследуемая территория, почвенно-растительный покров выбит полностью на больших участках. Растительный покров, сформировавшийся вдоль отвершков и бортов оврага, претерпел значительные изменения в сторону обеднения видового состава и доминирования синантропных (в том числе рудеральных) видов. Из них к инвазивным для ландшафтов о. Ольхон видам можно отнести: *Urtica cannabina*, *Taraxacum* spp., *Capsella bursa-pastoris*, *Elytrigia repens*. Проективное покрытие травянистой растительности фрагментарное, варьирует от 0 до 10%. С юго-восточной части оврага окружен небольшим участком разреженного разнотравно-злакового лиственничника, в котором наблюдается практически полное усыхание древостоя в связи с распространением в Ольхонском районе непарного шелкопряда.

На исследуемом участке почвенный покров на водоразделах представлен литоземами в сочетании с высококаменистыми фрагментарными петроземами, на склонах развиты преимущественно каштановые почвы. Почвы отличаются щелочной реакцией среды (рН 6.8–7.2), содержанием органических веществ до 0.16%, высокой физико-химической активностью глинистой фракции (емкость катионного обмена глинистой фракции 57.64–104.8 мг/экв). Гранулометрический состав супесчаный с преобладанием (до 40%) фракции мелкого песка. Высокое содержание мелкопылеватых и мелкопесчаных частиц обнаруживается в верхнем горизонте, что свидетельствует о его слабой оструктуренности и распыленности. Недостаток илистых фракций и невысокое содержание гумуса затрудняют формирование крупных и механически прочных структурных отдельностей. Вследствие этого почвы сильнее подвергается эрозионным процессам, которые усиливаются вследствие рекреационной нагрузки.

Другой характерной особенностью грунтов является водонеустойчивость. Время размокания образцов верхней части разреза ограничивается 10 мин, большая часть образцов размокает мгновенно, в пределах 5–14 с. В вершине оврага супеси находятся в сильновлажном состоянии (степень водонасыщения 0.77–0.89), на отметке тальвега насыщены водой (0.80).

Отдельные прослой супеси и прослой песка характеризуются слабой набухаемостью (4.3–8%), максимальное для грунтов оврага сильное набухание (13.4%) отмечается на глубине 1.6 м. Также характерны высокие значения усадки 8.4–17.6%, что снижает устойчивость массива и отражается в проявлении различных деформаций в бортах оврага.

В результате комплексной оценки состава и свойств почв установлены особенности, которые определяют низкую их устойчивость к эрозионному размыву и выносу водным потоком. Это высокая пылеватость, водонеустойчивость (практически мгновенная размокаемость), средняя и высокая степень водонасыщения, высокая усадка и набухание грунтов, низкое содержание органического вещества. Все это создает бла-

Таблица 2. Параметры овражной формы (восточный склон мыса Бурхан)
Table 2. Gully parameters (eastern slope of the Cape Burkhan)

Параметры овражной формы	Показатели параметра
Длина	126.7 м
Длина по тальвегу	149.7 м
Превышение (вершина – устье)	23.6 м
Средний уклон	18.6%
Средний уклон тальвега	15.7%
Макс. ширина	6.4 м
Макс. ширина (техногенная)	12 м
Макс. высота борта формы	4.5 м
Площадь	1099.2 м ²
Объем	4002.8 м ³

поприятную среду для развития различных экзогенных процессов (суффозионно-про-
 вальные, коррозионно-просадочные) на бортах оврага.

По результатам дешифрирования ортофотоплана на исследуемом участке выделено семь основных водосборных бассейнов, и в трех из них (самых крупных) развиваются овражные формы, а также определены опасные геоморфологические процессы (рис. 3). Формирование оползней, осыпей и обвалов на участке связано с наличием мощной толщи неоген-четвертичных отложений и выветрелых останцов, представленных амфиболами, кристаллическими известняками и гнейсами. Участки развития эрозионных процессов характерны прежде всего для водосборных бассейнов большей площадью, наличием мощной толщи рыхлых, неустойчивых к водному размыву грунтов. Эрозионные формы в виде оврагов и промоин достаточно активно развиваются на слабонаклонных поверхностях, лишенных растительного покрова. Развитие гравитационных процессов на этих участках не происходит по причине недостаточного энергетического потенциала рельефа. Локальные гравитационные смещения формируются в бортах крупных оврагов, как вторичные, сопутствующие процессы. На этих локальных участках за счет высоты и крутизны борта оврага создается необходимый энергетический потенциал для оползневых смещений. Кроме того, сами грунты, обладающие такими свойствами как просадочность, неоднородность, способствуют формированию просадок, трещин отпора, запрокидыванию отдельных блоков по бортам и как результат, расширению оврага и формированию активных отвершков. В береговой полосе распространены абразионно-аккумулятивные процессы, связанные с ветро-волновой деятельностью озера Байкал.

Обработка материалов аэрофотосъемки позволила получить количественные параметры самой крупной исследуемой овражной формы (табл. 2). В настоящее время овраг активно развивается. В 2005 году его протяженность была 116 м, в 2010 – 129.1 м. В овражной форме формируются шесть отвершков, из которых четыре приходится на левый борт оврага. Проходящая вдоль правого борта оврага дорога перехватывает поверхностные водные потоки, препятствуя формированию отвершков. Промоины концентрируются у вершины овражной формы и веерообразно распространяются вверх по площади водосборного бассейна. Они отражают направление поверхностного стока воды.

Анализ продольных профилей склона и тальвега овражной формы показали, что овраг находится в активной стадии развития, устойчивый профиль эрозионной формы не выработан. Концентрация поверхностного стока в сочетании со слабоустойчи-

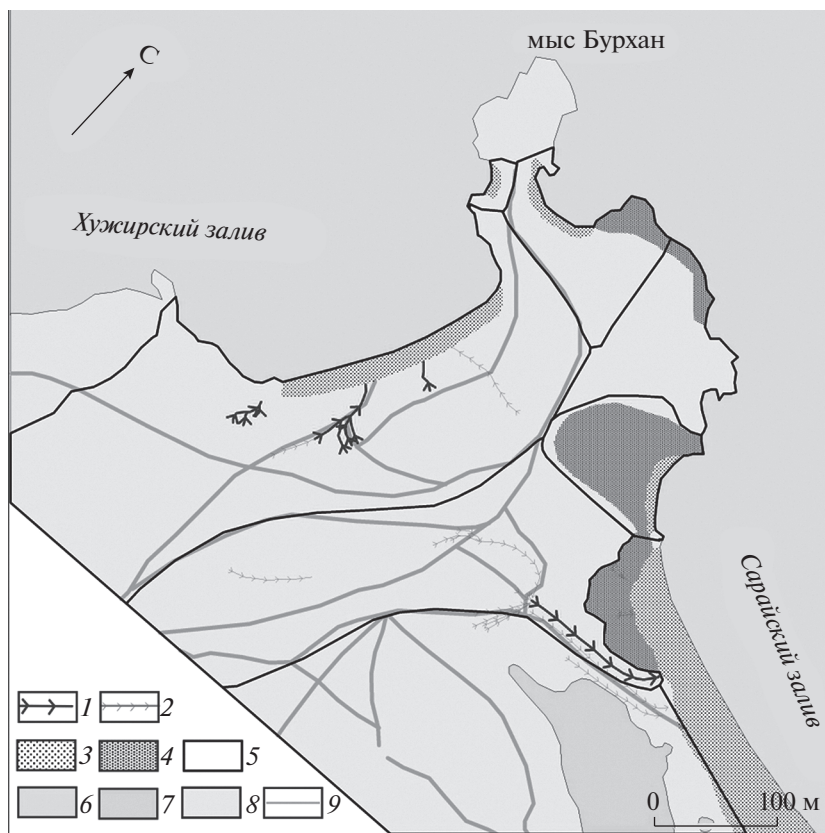


Рис. 3. Структура водосборных бассейнов и опасные геоморфологические процессы на территории исследования. Условные обозначения: 1 – овраги, 2 – промоины, 3 – аккумулятивные формы (пляжи), 4 – гравитационные процессы (оползни, обвалы, осыпи), 5 – границы водосборных бассейнов; 6 – акватория озера Байкал, 7 – древесная растительность, 8 – травяная растительность, 9 – дорожная сеть.

Fig. 3. Structure of watersheds and dangerous geomorphological processes in the study area. Legend: 1 – gullies, 2 – scours, 3 – landslide type (landslide, rockfall, scree), 4 – beaches, 5 – catchments, 6 – Lake Baikal, 7 – forest, 8 – grass, 9 – road network.

выми грунтами формирует высокий потенциал к размыву. Энергетический потенциал для развития эрозионной формы сохраняется, и развитие оврага продолжится.

Рекомендуемые мероприятия

Для предотвращения эрозионных и обвально-осыпных процессов, а также восстановления почвенно-растительного покрова геосистем исследуемой территории предложен комплекс мероприятий, не только технических и биологических, но и направленных на регулирование антропогенной нагрузки.

Для регулирования рекреационной деятельности предлагается комбинация двух типов мероприятий: прямые регуляционные (запреты и ограничения посещений) и манипуляторные. Рекомендовано контролировать размеры групп посетителей, ограничить посещение мыса после дождя и в период таяния снега, обустроить маршруты и регулировать поверхностные водные потоки. Из второй группы мероприятий предла-

гается разъяснение особенностей культуры шаманизма и сакральности данного святого места.

В рамках работы анализировались различные подходы к техническому и биологическому этапам рекультивации оврага. Рассматривался метод по закреплению грунтов криогелем (патент RU 2754141) для закрепления вершины и отвершков оврага. Поливиниловый спирт (основа криогеля) заявляется как нетоксичный, класс опасности четвертый (как для воздуха, так и для водных объектов хозяйственно-питьевого и культурного-бытового назначения)⁵. В Приказе Минприроды от 21 февраля 2020 года № 83 “Об утверждении нормативов предельно допустимых воздействий на уникальную экологическую систему озера Байкал и перечня вредных веществ, в том числе веществ, относящихся к категориям особо опасных, высокоопасных, опасных и умеренно опасных для уникальной экологической системы озера Байкал” он не числится. Но в паспорте безопасности продукта поливиниловый спирт отмечается как горючий и при горении выделяющий токсичные вещества. Также отмечается, что недопустимо его попадание в водотоки, может быть опасен для рыб. В итоге сделан вывод, что метод подходит для техногенных и промышленных объектов, и данное решение для исследуемой территории не подходит, учитывая, что сток с оврага попадает в акваторию оз. Байкал.

Организацию технических решений по водоотведению с ослабленной поверхности, перехват и локализацию поверхностного стока необходимо выполнять в верхних частях водосборного бассейна, поскольку эрозионная форма – это результирующая работы системы водного поверхностного стока. Автостоянку, расположенную сейчас в верхней части водосбора, необходимо перенести вглубь, на территорию поселка. Поверхность стоянки необходимо рассматривать как единую часть водосбора и восстановить почвенно-растительный покров. Для прокладки специально оборудованных троп на мысе “Бурхан” использовать водораздельные части и придерживаться этого пространства при передвижении для осмотра достопримечательностей.

Технический этап рекультивации самой овражной формы заключается в организации устойчивого к размыву объекта. Для решения этой задачи необходимо обеспечить устойчивое положение тальвеговой зоны в целях прекращения развития донной эрозии и обеспечить сохранность (ненарушенность) бортов оврага с сохранением почвенно-растительного слоя для предотвращения формирования отвершков.

Для предотвращения донной эрозии овражной формы предлагается провести отсыпку тальвеговой зоны. Укрепление тальвеговой зоны рекомендуется осуществить с использованием геотекстильных водонепроницаемых материалов. Для уменьшения скорости потока по тальвегу на укрепленное дно оврага выложить каменную наброску крупнообломочными грунтами (валунно-глыбовой фракции, диаметр более 200 мм) из местного материала. Обеспечение устойчивого состояния бортов оврага рекомендуется осуществить за счет отсыпки и поднятия уровня тальвеговой зоны и укладки дополнительного материала по бортам оврага до достижения угла необходимого по требованиям рекультивации ландшафтов и укрепления поверхности бортов путем биологической рекультивации – укрепление травяным покровом.

Для восстановления растительности и закрепления почв и грунтов исследуемой территории предлагается высадка семян и рассады с учетом принципа максимального видового разнообразия для достижения наиболее устойчивого состояния растительности в существующих условиях недостаточного увлажнения.

Видовые составы смесей, которые часто рекомендуются и продаются для засевов при рекультивации нарушенных территорий, обычно включают довольно распространенные культивируемые виды, например, овсяницу (*Festuca arundinacea*, *F. pratensis*,

⁵ Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания (СанПиН 1.2.3685-21 от 29 января 2021 г. № 62296).

F. rubra), эспарцет (*Onobrychis* spp.), пырей (*Elytrigia* spp.), различные виды клевера (*Trifolium* spp.), кострец безостый (*Bromopsis inermis*), житняк гребенчатый (*Agropyron cristatum*). Но учитывая природоохранный статус территории и распространение на о. Ольхон уникальных степных геосистем, где обитают эндемичные, реликтовые и редкие исчезающие виды растений, для засева и высадки растений предлагается использовать исключительно местные виды, характерные для коренных степей о. Ольхон, чтобы не усугубить процессы деградации. К тому же они более приспособлены к местным почвенно-климатическим условиям.

На первом этапе необходимо собрать семена травянистых растений и высадить их в питомнике для размножения. Затем из полученного семенного материала составить три вида смесей для: 1) участка с более развитым почвенным покровом; 2) каменистых участков и вблизи отвесных склонов; 3) пляжей и береговых валов. Из травянистых видов предлагаются следующие: *Leymus chinensis*, *Stipa baicalensis*, *Festuca lenensis*, *Agropyron cristatum*, *Astragalus lupulinus* и *A. inopinatus*, *Chamaerhodos altaica*, *Ch. erecta*, *Ch. grandiflora*, *Saxifraga spinulosa* и *S. algisii*, *Scrophularia incisa*, *Carex argunensis*, *Thymus baicalensis*, *Pulsatilla turczaninowii*. При этом важно собрать максимально достижимое количество семян эндемичных (*Linaria buriatica*, *Bromus Korotkiji*, *Dracocephalum pinnatum*, *Agropyron distichum*, *Artemisia pubescens* и т.д.) и редких исчезающих видов (*Craniospermum subvillosum*, *Papaver popovii*, *Lilium pumilum*, *Corispermum ulopterum*, *Silene turczaninowii* и др.), произрастающих на территории о. Ольхон.

В главной вершине оврага и отвешках предлагается высадить кустарники: *Rhododendron dauricum*, *Caragana pygmaea*, *Cotoneaster melanocarpus*, *Spiraea media*, а вдоль бровок оврага отдельно стоящими деревьями-солитерами — *Pinus sylvestris* и *Larix sibirica*. В первые несколько лет после посадки необходимо предусмотреть защиту и уход за высаженными растениями.

При укреплении склонов более 5° часто применяется армирование грунта. При крутизне склона от 5° до 9° устраивают естественные препятствия, например, с использованием крупных камней или валунов, также могут укладываться бревна поперек склона, а снизу вбиваются металлические анкеры. Помимо этого, для отведения стока талых и дождевых вод вдоль склона обязательно оборудуют дренажные каналы. Также можно задействовать современные геосинтетические материалы, которые стабилизируют почву. Среди обширной группы геосинтетических материалов целесообразнее использовать геоматы в сочетании с биоматами из скрепленной соломы местных злаковых растений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мыс “Бурхан” — уникальный памятник природы, испытывающий существенную рекреационную нагрузку на элементы рельефа. Вследствие особенностей литолого-геологического строения и морфометрических параметров рельефа, а также техногенного фактора происходит зарождение и активное проявление опасных геоморфологических процессов, среди которых наиболее интенсивно развиваются процессы линейной эрозии.

В результате проведенных научно-исследовательских работ даны рекомендации по предотвращению развития эрозионных процессов в пределах мыса Бурхан и представлен комплекс мероприятий, направленных на восстановление ландшафта, а также на регулирование антропогенной нагрузки. Рекультивации только одного оврага, расположенного на северо-восточном склоне, примыкающем к Сарайскому пляжу, недостаточно, это не обеспечит защиты от дальнейшего развития опасных геоморфологических процессов. Необходимы комплексные работы по территории всего участка, испытывающего рекреационную нагрузку. Частичная реализация противоэрозионных мер в условиях засушливого климата и высокой рекреационной нагрузки приве-

дет лишь к кратковременному эффекту от выполненной инженерной защиты территории.

Научная новизна данной работы заключается в методических и аналитических разработках коллектива и выбранном комплексе мер по рекультивации оврага и снижению влияния факторов активизации эрозионных процессов. Список собранных исходных данных и проведенных исследований может быть полезен читателям с методической точки зрения. Рассмотрены разные подходы к организации работ по рекультивации, и выбраны те, что учитывают охранный статус и особенности территории. Предлагаемые подходы к рекультивации могут быть использованы на другие овражные формы на о. Ольхон и в Приольхонье с учетом особенностей каждой отдельной формы.

Работы по комплексной оценке ландшафтов мыса Бурхан проводились в рамках государственных заданий АААА-А21-121012190056-4, АААА-А21-121012190017-5, АААА-А21-121012190055-7, аналитические работы выполнены на оборудовании ЦКП “Геодинамика и геохронология” ИЗК СО РАН в рамках гранта №075-12-2021-682; рекомендации по рекультивации разработаны по заказу Прибайкальского национального парка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агафонов Б.П., Акулов Н.И. О природе подвижных песков на Ольхоне // Известия РАН. Серия географическая. 2006. № 5. С. 101–108.
2. Бредихин А.В., Сазонова А.А. Рекреационно-геоморфологическое картографирование // Вестник Московского университета. Серия географическая. 5. 2007. № 1. С. 34–38.
3. Воробьева Л.А. Химический анализ почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1998. 272 с.
4. Галазий Г.И. Байкал в вопросах и ответах. Иркутск: Восточно-Сибирское книжное изд-во, 1987. 383 с.
5. Знаменская Т.И., Вантеева Ю.В., Солодянкина С.В. Дигрессия растительности и почв прибрежных ландшафтов озера Байкал на примере привлекательных туристических районов // Современные проблемы сервиса и туризма. 2018. Т. 12. № 3. С. 75–86. <https://doi.org/10.24411/1995-0411-2018-10307>
6. Конспект флоры Иркутской области (сосудистые растения) / Под ред. Л.И. Мальшева. Иркутск: Изд-во Ирк. ун-та, 2008. 327 с.
7. Мазаева О.А. Развитие овражной эрозии на острове Ольхон // Проблемы флювиальной геоморфологии: материалы XXIX Пленума Геоморфологической комиссии РАН (25–30 сентября 2006 г., г. Ижевск, Удмуртский гос. университет). Ижевск: изд-во Дельтаплан, 2006. С. 239–242.
8. Опекунова М.Ю., Макаров С.А. Оценка опасных геологических процессов при рекреационно-туристской деятельности в Прибайкалье (Иркутская область) // Современные проблемы сервиса и туризма. Научно-практический журнал. Т. 12. № 3. 2018. С. 121–132. <https://doi.org/10.24411/1995-0411-2018-10311>
9. Пономаренко Е.А., Солодянкина С.В. Рекреационная деятельность в Приольхонье и на острове Ольхон: Монография. Иркутск: Изд-во Иркутского ГАУ им. А.А. Ежовского, 2015. 112 с.
10. Рентгеновские методы изучения и структуры глинистых минералов / Под ред. Г. Брауна. М: “Мир”, 1965. 599 с.
11. Тимофеев Д.А., Борунов А.К. Геоморфологическая опасность и геоморфологический риск // Геоморфологический риск. Иркутск: Изд-во ИГ СО РАН, 1993. С. 8–12.
12. Чаповский Е.Г. Лабораторные работы по грунтоведению и механике грунтов: Учебное пособие. М.: Недра, 1975. 302 с.
13. Экологически ориентированное планирование землепользования в Байкальском регионе. Ольхонский район / Ю.М. Семенов, А.Н. Антипов, В.В. Буфал и др. Иркутск: Издательство Института географии СО РАН, 2004. 147 с.
14. Rybchenko A.A., Kadetova A.V., Kozyreva E.A., Yuriev A.A. Experience of using non-specialized unmanned aerial vehicles for aerial surveys in the studies of exogenous geological processes // Geodynamics & Tectonophysics. 2019. 10(4). P. 1045–1058. <https://doi.org/10.5800/GT-2019-10-4-0457>

Scientific Support of Gully Rehabilitation in Protected Landscapes

S. V. Solodyankina^{1, *}, Yu. V. Vanteeva^{1, **}, M. Yu. Opekunova^{1, ***}, A. A. Rybchenko^{2, ****},
E. A. Kozyreva^{2, *****}, O. A. Mazaeva^{2, *****},
T. I. Znamenskaya^{1, *****}, and A. A. Yuriev^{2, *****}

¹*V.B. Sochava Institute of Geography, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia*

²*Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia*

*E-mail: solodyankinasv@gmail.com

**E-mail: ula.vant@mail.ru

***E-mail: opek@mail.ru

****E-mail: rybchenk@crust.irk.ru

*****E-mail: kozireva@crust.irk.ru

*****E-mail: moks@crust.irk.ru

*****E-mail: tiznam@mail.ru

*****E-mail: zuzua2016@gmail.com

Abstract—The experience of scientific support of work on the rehabilitation of the gully on the Cape Burkhan on the Olkhon Island (south of Eastern Siberia, Lake Baikal) is considered in this article. Cape Burkhan is a unique natural monument with a recognizable landscape and a high-status tourist attraction, which is exposed to a high recreational impact. The processes of linear erosion develop in this area most intensively due to the characteristics of the lithological and geological structure and morphological parameters. The anthropogenic factor has the greatest influence on the activation of dangerous geomorphological processes, including erosional ones. As a result of the study, the comprehensive analysis of the territory was carried out: initial conditions, causes, and factors of vegetation and soils degradation, activation of erosion processes. Various approaches to the technological and biological stages of gully rehabilitation were analyzed. Detailed recommendations have been developed to reduce the recreational impact on the relief and carry out restoration work. The proposed approaches to rehabilitation can be used on other gullies on Olkhon Island and the Priolkhonskoe plateau.

Keywords: Olkhon Island, the Cape Burkhan, steppe landscape, digression stages, natural monument, dangerous geomorphological processes, recreational impact

REFERENCES

1. *Agafonov B.P., Akulov N.I.* O prirode podvizhnyh peskov na Ol'hone // *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya.* 2006. № 5. S. 101–108.
2. *Bredihin A.V., Sazonova A.A.* Rekreacionno-geomorfologicheskoe kartografirovanie // *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya geograficheskaja.* 5. 2007. № 1. S. 34–38.
3. *Vorob'eva L.A.* Himicheskij analiz pochv. M.: Izd-vo Mosk. un-ta, 1998. 272 s.
4. *Galazij G.I.* Bajkal v voprosah i otvetah. Irkutsk: Vostochno-Sibirskoe knizhnoe izd-vo, 1987. 383 s.
5. *Znamenskaya T.I., Vanteeva Yu.V., Solodyankina S.V.* Digressiya rastitel'nosti i pochv pribrezhnyh landshaftov ozera Bajkal na primere privlekatel'nyh turistichestkih rajonov // *Sovremennye problemy servisa i turizma.* 2018. T. 12. № 3. S. 75–86. <https://doi.org/10.24411/1995-0411-2018-10307>
6. *Konspekt flory Irkutskoj oblasti (sosudistye rasteniya) / Pod red. L.I. Malysheva.* Irkutsk: Izd-vo Irk. un-ta, 2008. 327 s.
7. *Mazaeva O.A.* Razvitie ovrazhnoj erozii na ostrove Ol'hon // *Problemy flyuvial'noj geomorfologii: materialy XXIX Plenuma Geomorfologicheskoy komissii RAN (25-30 sentyabrya 2006 g., g. Izhevsk, Udmurtskij gos. universitet).* Izhevsk: izd-vo Del'taplan, 2006. S. 239–242.
8. *Opekunova M.Ju., Makarov S.A.* Ocenka opasnyh geologicheskikh processov pri rekreacionno-turistskoj dejatel'nosti v Pribajkal'e (Irkutskaja oblast') // *Sovremennye problemy servisa i turizma. Nauchno-prakticheskij zhurnal.* T. 12. № 3. 2018. S. 121–132. <https://doi.org/10.24411/1995-0411-2018-10311>
9. *Ponomarenko E.A., Solodyankina S.V.* Rekreacionnaya deyatel'nost' v Priol'hon'e i na ostrove Ol'hon: Monografiya. Irkutsk: Izd-vo Irkutskogo GAU im. A.A. Ezhevskogo, 2015. 112 s.
10. *Rentgenovskie metody izucheniya i struktury glinistykh mineralov / Pod red. G. Brauna.* M: "Mir", 1965. 599 s.

11. *Timofeev D.A., Borunov A.K.* Geomorfologičeskaja opasnost' i geomorfologičeskij risk // Geomorfologičeskij risk. Irkutsk: Izd-vo IG SO RAN, 1993. S. 8–12.
12. *Čapovskij E.G.* Laboratornye raboty po gruntovedeniju i mekhanike gruntov: Učebnoe posobie. M.: Nedra, 1975. 302 s.
13. Ekologičeskij orientirovannoe planirovanie zemlepol'zovanija v Bajkal'skom regione. Ol'honskij rajon / Yu.M. Semenov, A.N. Antipov, V.V. Bufal i dr. Irkutsk: Izdatel'stvo Instituta geografii SO RAN, 2004. 147 s.
14. *Rybchenko A.A., Kadetova A.V., Kozyreva E.A., Yuriev A.A.* Experience of using non-specialized unmanned aerial vehicles for aerial surveys in the studies of exogenous geological processes // *Geodynamics & Tectonophysics*. 2019. 10(4). P. 1045–1058.
<https://doi.org/10.5800/GT-2019-10-4-0457>