Научная статья

УДК 502.45:379.85(571.53)

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РЕКРЕАЦИОННОЙ ДИГРЕССИИ ПРИБРЕЖНЫХ ЛАНДШАФТОВ ОСТРОВА ОЛЬХОН ПО ГРАДИЕНТУ ТУРИСТИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

Топчая Виктория Юрьевна, кандидат географических наук, научный сотрудник, Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Россия, Калининград, topchaia59@yandex.ru

Аннотация. Рост посещаемости особо охраняемых природных территорий Байкальского региона усиливает противоречие между рекреационным использованием природных комплексов и необходимостью сохранять их устойчивое состояние. Для острова Ольхон данная проблема имеет отчетливо выраженный пространственный характер: туристический поток концентрируется на ограниченном числе прибрежных участков, маршрутов и мест кратковременной остановки, тогда как экологическая устойчивость почвенно-растительного покрова существенно различается в зависимости от субстрата, увлажнения, рельефа и характера использования территории. Цель исследования состоит в разработке геоэкологического подхода к оценке рекреационной дигрессии прибрежных ландшафтов Ольхона, при котором фактически измеренная интенсивность посещения сопоставляется с количественным откликом почвы, растительности и тропной сети. Информационную основу составили опубликованные в 2024–2026 гг. материалы мониторинга Прибайкальского национального парка, исследования туристического потока на Ольхоне, работы по состоянию прибрежных почв Байкала, а также современные исследования рекреационной экологии, посвященные вытоптанности, уплотнению грунтов, деградации троп и управлению посетительской нагрузкой. Предлагается отказаться от представления о рекреационной емкости как об одной неизменной нормативной

величине. Экологически значимую величину рекреационной емкости следует определять по положению точки перелома в зависимости «нагрузка — отклик» и корректировать с учетом сезона, устойчивости конкретной ландшафтной фации и эффективности защитной инфраструктуры. Для полевого мониторинга обосновано совместное измерение посетительской нагрузки, плотности сложения и сопротивления почвы проникновению, влажности, мощности подстилки, доли оголенной поверхности, проективного покрытия растительности, видового богатства, распространения рудеральных видов, морфометрии троп и количества рекреационных отходов. Стадии дигрессии предлагается выделять не путем экспертного присвоения, а на основе многомерной классификации наблюдаемых состояний с последующим сопоставлением выделенных классов с интенсивностью посещения. Разработана схема геоэкологического зонирования, разделяющая участки устойчивого использования, регулируемой нагрузки, восстановления и временного ограничения посещения. Подход позволяет увязать природоохранный мониторинг ООПТ с решениями по размещению настилов, локализации движения, восстановлению неофициальных троп и распределению туристического потока.

Ключевые слова: остров Ольхон; рекреационная дигрессия; туристическая нагрузка; тропная эрозия; ландшафтная устойчивость; геоэкологический мониторинг.

Original article

GEOECOLOGICAL ASSESSMENT OF RECREATIONAL DIGRESSION OF OLKHON ISLAND COASTAL LANDSCAPES ALONG A TOURISM PRESSURE GRADIENT

Topchaia Viktoriia Iurevna, Candidate of Geographical Sciences, Researcher, Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences, Kaliningrad, Russia, topchaia59@yandex.ru

Abstract. Increasing visitation to protected natural areas in the Baikal region intensifies the conflict between recreational use and the conservation of environmentally sensitive landscapes. On Olkhon Island, this conflict has a pronounced spatial dimension because visitor flows are concentrated within a limited number of coastal sites, routes and stopping areas, whereas the resistance of soil and vegetation to disturbance varies with substrate, moisture conditions, relief and land-use pattern. The study develops a geoecological framework for assessing recreational digression in the coastal landscapes of Olkhon Island by directly relating measured visitor pressure to quantitative responses of soils, vegetation and trail surfaces. The evidence base comprises studies published in 2024–2026 on visitor loads in Pribaikalsky National Park, tourism flows on Olkhon, recreationally affected soils along Lake Baikal, and recent international research on trampling, soil compaction, trail degradation and adaptive visitor management. Recreational carrying capacity is treated not as a fixed universal number but as a site- and season-specific management parameter that should be linked to empirically determined breakpoints in pressure–response relationships. The proposed monitoring design combines visitor counts with measurements of soil bulk density, penetration resistance, soil moisture, litter depth, bare-ground cover, vegetation cover, species richness, ruderal species share, trail width and incision, and recreational litter. Digression stages are to be obtained from multivariate classification of observed conditions rather than assigned through expert judgement. Seasonal surveys before, during and after peak visitation make it possible to distinguish reversible disturbance from persistent degradation. UAV imagery, GPS mapping and repeated high-resolution surveys are integrated into the monitoring of informal trails and erosion. The resulting framework supports geoecological zoning into areas of sustainable use, regulated pressure, ecological restoration and temporary access restriction. It also provides a defensible basis for adapting visitor infrastructure and redistributing recreational flows without equating the numerical capacity of a site with its ecological resistance.

Keywords: Olkhon Island; recreational degradation; tourist pressure; trail

erosion; landscape resilience; geoecological monitoring.

Введение. Природоохранное значение Байкальской природной территории сочетается с устойчивым ростом ее востребованности как пространства отдыха. Особенно отчетливо это противоречие проявляется на острове Ольхон, где сравнительно малочисленное постоянное население соседствует с сезонным туристическим потоком, во много раз превышающим численность местных жителей. По данным О.В. Евстропьевой с соавторами, Хужирское муниципальное образование принимает ориентировочно от 200 до 500 тыс. туристов и отдыхающих в год при численности постоянных жителей около 2 тыс. человек. Посещаемость имеет два выраженных сезонных максимума: летний приходится на июль–август, зимний — на февраль–март; при этом средства коллективного размещения и автомобильные туристы преимущественно концентрируются в Хужире, его окрестностях и у Хужирского залива [3].

Сам по себе большой поток людей еще не является достаточным доказательством деградации природного комплекса. Для геоэкологической оценки существенно другое: где именно проходит поток, сколько времени люди проводят на конкретном участке, каким образом перемещаются, остается ли воздействие в пределах устойчивой поверхности или смещается на растительный покров, возникает ли система параллельных троп, насколько быстро участок восстанавливается после окончания сезона. Один и тот же показатель посещаемости может иметь неодинаковые последствия на оборудованном настиле, плотной грунтовой дороге, степном дерновом покрове или рыхлом песчаном субстрате. Поэтому исследование рекреационной нагрузки, оторванное от свойств геосистемы, дает административную характеристику посещаемости, но еще не дает полноценной оценки геоэкологического состояния.

Материалы Прибайкальского национального парка хорошо показывают

эту разницу. Для 93 участков и троп парка А.Д. Калихманом и Т.П. Калихман была рассчитана допустимая единовременная численность 5285 человек. Почти половина выданных разрешений в рассмотренный авторами период была связана с Ольхоном, на который одновременно приходилось около трети совокупной предельной нагрузки парка [1]. Особый интерес представляет установленный авторами эффект благоустройства: настильные тропы, организованные площадки, ограничения въезда транспорта, санитарная инфраструктура и локализация движения позволяли увеличивать число посетителей без соответствующего увеличения давления на прилегающие природные поверхности. Для Сарайского залива приводится рекреационная емкость 350 человек, для мыса Хобой — 150 человек; в обоих случаях изменение инфраструктуры существенно повлияло на соотношение между числом посетителей и экологическими последствиями [1].

Из этого следует принципиальное для настоящей работы положение. Рекреационная емкость не тождественна устойчивости ландшафта и тем более не должна пониматься как универсальное количество людей на гектар. Ее значение определяется взаимодействием трех групп факторов: свойств природного комплекса, характера рекреационного использования и системы управления. Если потоки направлены на устойчивые поверхности, инфраструктура предотвращает рассредоточение посетителей по территории, а нарушенные участки восстанавливаются после сезона, одно и то же количество посетителей оказывает меньшее воздействие, чем на необустроенном участке с сетью стихийных троп.

Современная дискуссия развивается именно в этом направлении. Обзор 2026 г. показывает, что подход, основанный на поиске одного «максимально допустимого» числа посетителей, недостаточен для управления охраняемыми территориями. Рабочая система должна включать описание желаемого состояния, набор измеримых индикаторов, приемлемые пределы их изменения, повторный мониторинг и заранее определенную управленческую реакцию [15].

Для Ольхона такая постановка особенно оправданна, поскольку фактическая нагрузка распределена крайне неравномерно, а природные комплексы острова сочетают участки с разной устойчивостью к механическому нарушению.

Дополнительно следует учитывать пространственное накопление рекреационного воздействия. В начале сезона единичные проходы могут лишь сминать травостой. При повторении маршрута формируется узкая тропа, затем происходит потеря растительного покрова, верхний слой почвы уплотняется, уменьшается шероховатость поверхности, меняется инфильтрация осадков. На наклонных участках формируется более выраженное русло поверхностного стока. Если посетители обходят переувлажненные или разрушенные фрагменты, тропа расширяется либо распадается на несколько параллельных ветвей. Возникает уже пространственная перестройка микроландшафта.

Работы последних лет подтверждают, что отклик почв и растительности нельзя сводить к одному индикатору. В эксперименте Q. Shang, C. Li и Y. Liu вытоптанность сопровождалась изменением физических свойств почвы, в том числе плотности и пористости, а также перестройкой микробного сообщества [2]. T. Chisholm и J.L. McCune обнаружили зависимость дальности распространения воздействия троп от типа растительности и характера использования маршрута [12]. Российское исследование 2026 г. на экологической тропе особо охраняемой территории также показало целесообразность рассматривать рекреационную нагрузку как самостоятельный фактор уплотнения почв, причем оценивать ее следует в контексте конкретного защищаемого ландшафта [14].

Именно здесь обнаруживается основной методический разрыв применительно к Ольхону. По острову накоплены сведения о количестве отдыхающих, посещаемости маршрутов, расчетной рекреационной емкости, отходах и ограничениях природопользования. Однако эти сведения пока недостаточно сопоставлены с синхронными измерениями реакции почвы и растительности на тех же участках. Следовательно, невозможно надежно

определить, при какой интенсивности использования начинается переход от обратимого сезонного нарушения к устойчивой дигрессии.

Цель исследования состоит в обосновании системы геоэкологической оценки рекреационной дигрессии прибрежных ландшафтов острова Ольхон, позволяющей количественно связать фактическую посетительскую нагрузку с состоянием почвенного и растительного покрова, параметрами тропной сети и поверхностной эрозией, определить локальные пороги устойчивости и использовать полученные зависимости для пространственного регулирования рекреации.

В соответствии с этой целью объектом исследования выступают прибрежные природные комплексы Ольхона в границах Прибайкальского национального парка, а предметом — пространственно и сезонно изменяющаяся реакция сопоставимых ландшафтных фаций на разную интенсивность туристического использования.

Обзор литературы. Современные исследования Ольхона образуют достаточно содержательную, но методически неоднородную базу. Одну ее часть составляют работы, где измеряется или рассчитывается туристическая нагрузка. Другая посвящена состоянию инфраструктуры, отходам и режиму природопользования. Отдельный блок формируют почвенные и ландшафтные исследования Байкальского побережья. Однако исследования, в которых количественные показатели посещения анализируются совместно с синхронно зарегистрированной реакцией конкретного природного комплекса, пока немногочисленны.

Работа А.Д. Калихмана и Т.П. Калихман [1] важна тем, что переводит рассуждения о «перегруженности» территории в систему измеряемых параметров. Авторы рассматривают 93 рекреационных объекта Прибайкальского национального парка и используют логику пределов допустимых изменений. Для Сарайского залива разработана схема, где 250 посетителей распределяются по прибрежной полосе, а еще 100 — по настильной

тропе «Сарайское кольцо». Авторы особо отмечают, что средний показатель в человеко-гектарах не передает реальных условий использования крупных неоднородных участков: допустимая нагрузка должна определяться применительно к конкретному ограниченному объекту с учетом его состояния и инфраструктуры.

Эта мысль получает дополнительное развитие в публикации Е.Н. Соловьевой и С.Г. Бабиной [19], рассматривающей практику применения действующих правил определения предельно допустимой рекреационной емкости непосредственно на маршруте «Север острова Ольхон». Методически важен сам переход от абстрактной «вместимости» территории к расчету, зависящему от экологических и инфраструктурных ограничений. Авторы показывают, что работа с пропускной способностью ООПТ неизбежно требует постоянного обновления исходных параметров, а не однократного получения нормативной цифры.

В то же время рекреационная емкость, рассчитанная по нормативно-управленческой методике, и эмпирический экологический порог — не одно и то же. Первая отвечает на вопрос, какое использование допускается при существующей системе управления. Второй показывает, начиная с какой интенсивности давления конкретный природный компонент меняется быстрее, чем в диапазоне естественной или обратимой сезонной вариабельности. В идеальной системе управления эти величины согласованы; на практике между ними возможен разрыв. Поэтому геоэкологическое исследование должно не повторять административный расчет, а проверять его экологическую состоятельность по наблюдаемому отклику ландшафта.

Исследование туристического потока на Ольхоне, выполненное О.В. Евстропьевой, Т.И. Заборцевой, П.В. Роговым, О.А. Игнатовой и К.В. Дулей [3], добавляет к этой проблеме пространственное измерение. Авторы характеризуют распределение потока как монофокальное: значительная часть коллективных средств размещения сосредоточена в Хужире и его окрестностях,

автомобильные туристы также тяготеют к побережью Хужирского залива. При этом 200–500 тыс. приезжающих в течение года распределяются крайне неравномерно по времени. Для мониторинга дигрессии это обстоятельство принципиально: годовая посещаемость плохо характеризует фактическую нагрузку на почву или растительный покров, если несколько десятков процентов проходов приходятся на ограниченное число летних недель.

Именно поэтому в настоящей работе предлагается считать базовой единицей воздействия не общее годовое число туристов, а интенсивность использования конкретного участка за стандартизованный временной интервал. Для площадных объектов это могут быть посетитель-часы на гектар в сутки; для троп — количество проходов через сечение в сутки и суммарное число проходов между двумя последовательными обследованиями. Подобное разделение дает возможность сопоставить воздействие с изменением физического состояния почвы за тот же период.

Состояние рекреационной инфраструктуры также имеет самостоятельное экологическое значение. Е.Н. Соловьева, И.И. Подлипский и А.М. Стронская рассматривают состояние Ольхона в совокупности с дорожной сетью, туристическим сектором, выпасом и коммунальным обеспечением [11]. В более узкой работе Е.Н. Соловьевой, Л.А. Эповой и И.И. Подлипского [5] показано, что отходы на туристических маршрутах нельзя интерпретировать только как эстетическое нарушение. По их расчетам, на одного туриста приходится в среднем 0,38 ± 0,06 кг отходов в рассматриваемой системе учета, а неустойчивое обращение с ними связано также с распространением синантропных животных и рудеральных растений.

Однако мусорное загрязнение не следует делать единственным или главным индикатором рекреационной дигрессии. Количество отходов сильно зависит от частоты уборки, наличия контейнеров, организации вывоза и поведения посетителей. Два одинаково вытоптанных участка способны существенно различаться по числу обнаруженных предметов только потому, что

на одном уборка проводилась накануне. Поэтому этот показатель целесообразно использовать как характеристику рекреационного использования и качества управления, но анализ почвенно-растительной деградации должен опираться прежде всего на физически устойчивые и повторяемые признаки.

Региональные почвенные исследования дают основания для такого выбора. Л.Д. Балсанова в 2024 г. проанализировала рекреационно используемые прибрежные участки восточного побережья Байкала и показала необходимость оценивать устойчивость почв по сочетанию морфологических и физико-химических характеристик [7]. Хотя восточное побережье нельзя использовать как прямой фон для Ольхона, этот материал подтверждает общую для Байкальской природной территории закономерность: почвенный покров рекреационных зон неодинаково переносит механическое воздействие, поэтому норматив без учета свойств субстрата методически недостаточно обоснован.

Сходный вывод следует из результатов O. Gordienko, A. Mitrofanova и T.J. Novák [14]. На экологической тропе природного парка авторы рассматривают изменение уплотнения почвы в связи с рекреационной нагрузкой и подчеркивают необходимость систематического мониторинга на охраняемых территориях. Работа особенно полезна для настоящего исследования тем, что относится к российскому объекту и опубликована в 2026 г., то есть отражает современную практику количественной оценки давления на почвенный покров.

Зарубежные исследования уточняют механизм реакции. Q. Shang с соавторами [2] зарегистрировали при туристическом вытаптывании изменение объемной плотности и пористости почвы, показав, что механическое нарушение распространяется глубже визуально заметного повреждения поверхности. T. Chisholm и J.L. McCune [12] установили, что величина и пространственная дальность изменений растительного сообщества возле троп определяются совместным действием типа растительности и способа использования маршрута. Это важное предупреждение против прямого переноса порога, полученного на одном участке, на другой.

Исследования тропной сети в 2024–2026 гг. существенно расширили набор инструментальных методов рекреационной экологии. Обзор M.V.R.C. Simão, E.I. Farías-Torbidoni и M. Llena охватывает современные подходы к восстановлению деградированных троп на охраняемых природных территориях и показывает, что устойчивое управление требует одновременно диагностировать форму нарушения, причины его возникновения и эффективность последующего вмешательства [4]. В другой работе та же исследовательская школа сопоставила поперечное профилирование и максимальную глубину с наземным лазерным сканированием, SfM-фотограмметрией и съемкой с беспилотной платформы. Повторные обследования позволяли отделять текущую эрозионную динамику от накопленного за длительный период врезания [16].

Эксперимент Y.S. Hayakawa и соавторов [10] дополняет эти наблюдения на микроуровне. Авторы применили SfM-MVS и LiDAR для регистрации деформации поверхности при повторном прохождении и показали, что особенности контакта обуви и дополнительное использование треккинговых палок влияют на латеральное смещение грунта. Для Ольхона непосредственный перенос полученных численных значений был бы неправомерен, но методический результат важен: ширина и глубина тропы являются интегральными последствиями не только количества посетителей, но и характера движения, состояния поверхности и микрорельефа.

В 2024 г. N. Bruno, A. Valletta, A. Segalini и R. Roncella продемонстрировали возможности относительно недорогих фотограмметрических и лазерных методов для повторного контроля эрозии горных троп [18]. Авторы отмечают, что разные масштабы нарушения требуют различного пространственного разрешения: небольшие деформации поверхности рационально измерять наземными методами, тогда как протяженные участки удобнее обследовать посредством БПЛА.

Отдельное направление последних исследований связано с цифровыми следами посетителей. J. Zink и соавторы [6] использовали данные outdoor-

платформ для обнаружения отклонений от разрешенных маршрутов и оценки соблюдения ограничений в охраняемых природных территориях. Подобные данные перспективны и для Прибайкалья, однако они не заменяют прямой учет. Пользователи цифровых сервисов образуют селективную часть посетительского потока, поэтому треки целесообразно применять для поиска пространственных очагов и неофициальных путей, но не как единственный источник абсолютной численности.

Места стоянок представляют собой отдельную форму рекреационного воздействия. J.L. Marion и N. Maretzki [8], анализируя интенсивно используемые участки природной территории, предлагают начинать управление с полной инвентаризации стоянок: необходимо зафиксировать их количество, площадь, состояние, степень использования и устойчивость местоположения. После этого часть площадок может быть закреплена и оборудована, а экологически неудачные — закрыта и восстановлена. Этот подход представляется особенно продуктивным для прибрежных территорий Ольхона, поскольку пространственная концентрация отдыха при правильно выбранных площадках способна уменьшить суммарную площадь нарушения.

Наконец, геоэкологическую проблему острова нельзя полностью изолировать от институциональной среды. A. Shkaruba, R. Mnatsakanian, I. Molodikova, V. Kireyeu и K. Sepp [17] на примере Ольхона показали, что экологические риски прибрежной зоны связаны не только с физическим воздействием туристов, но и с несогласованностью мер управления, землепользования, коммунальной инфраструктуры и контроля. Вместе с тем в рамках настоящей статьи эти факторы рассматриваются как контекст.

Анализ литературы позволяет сформулировать основной пробел. Современные источники дают надежную информацию либо о посетительской нагрузке, либо о состоянии отдельных компонентов окружающей среды, либо о практике управления. Для выявления экологически обоснованного порога необходимо синхронизировать эти данные в единой пространственно-временной

схеме исследования. Такая схема лежит в основе предлагаемой методики.

Научная новизна исследования определяется переходом от описательной оценки «рекреационно нарушенных» участков к количественной модели, в которой нагрузка измеряется непосредственно и рассматривается как непрерывная переменная. Такой подход исключает ситуацию, когда площадку заранее относят к определенной стадии дигрессии, а затем отбирают показатели, подтверждающие уже принятое решение.

Второе отличие состоит в ландшафтной сопоставимости наблюдений. Фоновая площадка подбирается не по принципу максимальной удаленности от туристов, а как участок той же фации с близкими условиями рельефа, субстрата, экспозиции и исходной растительности. Если сравнивается прибрежно-степной участок, его контроль должен принадлежать той же группе геосистем; сосновое редколесье или дюнный комплекс не могут служить корректным фоном только потому, что туда реже заходят люди.

Третье положение связано с пониманием порога. В работе не вводится произвольная универсальная норма, одинаковая для всей территории острова. Порог устойчивости определяется статистически как диапазон нагрузки, после которого зависимость между интенсивностью посещения и выбранным откликом меняет наклон либо начинается устойчивое расхождение с сопоставимым контролем. Для разных компонентов один и тот же участок может иметь разные чувствительные точки: растительный покров способен реагировать раньше, чем появляется измеримая эрозионная врезка.

Наконец, стадии дигрессии предлагается выделять после получения данных. Входными признаками становятся фактически измеренные характеристики почвы, растительности и троп. Многомерная классификация группирует близкие состояния, после чего группы сопоставляются с нагрузкой, сезонной восстановимостью и пространственным положением. Таким образом, стадии определяются на основе наблюдаемых показателей и перестают зависеть исключительно от экспертной шкалы.

Организация и методология исследования. Настоящая работа выполнена как аналитико-методическое геоэкологическое исследование. Численные сведения о современном рекреационном использовании Ольхона заимствованы только из публикаций 2024–2026 гг.; полевые показатели, которых нет в открытых источниках, не подменяются расчетными или вымышленными значениями. На основе выявленного информационного разрыва разработан дизайн синхронного мониторинга, пригодный для последующей полевой реализации и статистической проверки.

Территориальное ядро исследования образуют прибрежные участки острова в пределах Прибайкальского национального парка, находящиеся под неодинаковой интенсивностью рекреационного использования. При этом градиент формируется внутри повторяющихся ландшафтных типов. Сарайский залив, Хужир и маршрут северной части острова рассматриваются как ключевые пункты учета посетительского потока и размещения управленческой инфраструктуры, но при статистическом сравнении каждая опытная площадка должна иметь контроль в той же фациальной группе.

Исходная нагрузка Ольхона характеризуется несколькими опубликованными параметрами, приведенными в табл. 1.

Таблица 1 — Параметры рекреационного использования Ольхона, пригодные для формирования исходной модели нагрузки

Показатель	Опубликованное значение / характеристика	Геоэкологическое значение
Годовой поток в Хужирском муниципальном образовании	200–500 тыс. туристов и отдыхающих; постоянное население около 2 тыс. человек [3]	Показывает многократное сезонное превышение временного населения над постоянным
Сезонность	Летний максимум в июле–августе, зимний — в феврале–марте [3]	Требует минимум трех повторов мониторинга в теплый сезон и отдельного зимнего дизайна
Пространственная структура	Концентрация размещения в Хужире и окрестностях; тяготение автотуристов к Хужирскому заливу [3]	Обосновывает пространственно неодинаковое давление на береговые комплексы

Совокупная единовременная емкость Прибайкальского национального парка	5285 человек на 93 участках и тропах [1]	Дает управленческий фон, но не заменяет локального экологического порога
Сарайский залив	350 человек единовременно [1]	Участок с высокой посещаемостью и развитой направляющей инфраструктурой
Мыс Хобой	150 человек единовременно [1]	Высокая концентрация потока на ограниченном природном объекте
Роль инфраструктуры	Устройство настилов, площадок и ограничение движения транспорта позволяли увеличить пропускную способность без пропорционального роста воздействия [1]	Подтверждает необходимость отделять число посетителей от фактической площади контакта с природной поверхностью
Отходы на туристических маршрутах	Зафиксирована нестабильная динамика; расчетный показатель авторов — 0,38 ± 0,06 кг на туриста в принятой системе учета [5]	Используется как вспомогательный индикатор интенсивности и качества управления

Источник: составлено автора по данным [1], [3], [5].

Посещаемость целесообразно регистрировать автоматическими счетчиками с контрольной ручной калибровкой. На ключевых площадках ручной учет проводится в заранее заданные временные окна, охватывающие будние и выходные дни. Одновременно фиксируются длительность пребывания групп, число палаток и занятых мест стоянок. GPS-треки и обезличенные данные outdoor-платформ могут выявлять повторяемые сходы с официальной сети, однако абсолютная численность посетителей по ним не рассчитывается вследствие селективности пользователей цифровых сервисов [6].

Экологический отклик предлагается исследовать на парных или многократно сопоставленных площадках. В каждой фации закладывается серия трансект от зоны максимального контакта с туристами к участку с минимальным использованием. При этом трансекта не должна пересекать резкую границу почвы, экспозиции или растительного сообщества. Если такое условие невыполнимо, исследуемые фрагменты относятся к разным блокам анализа.

Состав измерений представлен в табл. 2.

Таблица 2 — Система показателей для оценки зависимости «рекреационная нагрузка — геоэкологический отклик»

Компонент	Показатель	Единица / форма учета	Способ получения	Диагностический смысл
Рекреационная нагрузка	Интенсивность посещения	посетитель-ч/га/сут	счетчики + натурный учет	Интенсивность площадного использования
	Число проходов	проходов/сут	счетчик на тропе	Кумулятивное механическое воздействие
	Плотность стоянок	объектов/га	GPS-инвентаризация	Степень пространственного распространения рекреационной нагрузки
	Удаленность от подъезда / официальной тропы	м	ГИС	Фактор пространственной доступности
Почва	Плотность сложения	г/см³	цилиндр известного объема	Уплотнение верхнего горизонта
	Сопротивление проникновению	МПа	полевой пенетрометр	Механическое уплотнение и ограничение корнеобитаемого слоя
	Влажность	% или м³/м³	гравиметрически / TDR	Контроль природной изменчивости уплотнения
	Мощность подстилки	см	линейное измерение	Сохранность органогенного покрова
Поверхность	Доля оголенного грунта	%	площадочная съемка	Потеря защитного покрова
Растительность	Проективное покрытие	%	площадки / фотофиксация	Интегральная реакция растительного покрова
	Видовое богатство	видов/площадку	геоботаническое описание	Упрощение сообщества
	Доля рудеральных видов	%	геоботаническое описание	Замещение исходной растительности
	Повреждение кустарников и подроста	% особей	натурный учет	Механическое воздействие вне троп
Тропа	Ширина	м	повторные створы / ортофото	Латеральное расширение
	Максимальная глубина	см	профиль	Врезание поверхности

	Площадь поперечного сечения потери грунта	см²	профиль / 3D-модель	Количественная оценка эрозии
	Параллельные ответвления	число, длина, площадь	GPS + БПЛА	Формирование неофициальной сети
Отходы	Число предметов / масса	шт./100 м²; кг/100 м²	стандартизованный сбор	Дополнительная характеристика использования и управления

Источник: разработано автора с учетом [2], [4], [6], [7], [8], [10], [12], [14], [16], [18].

Для почвенных измерений особенно важна повторяемость. Плотность сложения следует определять в одном и том же горизонте, предпочтительно в верхних 0–5 см, где механическая реакция проявляется наиболее быстро. Сопротивление проникновению существенно зависит от влажности, поэтому значения пенетрометра интерпретируются только совместно с измерением влажности. Иначе сухой контрольный участок способен ошибочно выглядеть более уплотненным, чем влажная рекреационная площадка.

Растительность оценивается на стационарных квадратах. Прибрежные степные сообщества и участки редколесья должны анализироваться раздельно, поскольку их естественная структура и способность восстанавливаться неодинаковы. Помимо общего покрытия, необходимо учитывать появление рудеральных видов. Такой признак особенно значим для Ольхона: исследования отходов на острове указывают на риск распространения синантропной и рудеральной биоты в связи с рекреационно-коммунальным воздействием [5].

Для троп применяются два уровня морфометрии. На всех маршрутах через фиксированный шаг выполняется стандартное измерение ширины и максимальной глубины. На участках, где наблюдается активное врезание или расширение, создается повторная трехмерная модель. Исследования 2024-2026 гг. показывают, что SfM-фотограмметрия, БПЛА и лазерное сканирование позволяют выявлять малые пространственные изменения, которые сложно надежно оценить визуально [10], [16], [18].

Неформальные тропы картируются полностью в пределах выбранных

полигонов. Для каждой фиксируется длина, средняя ширина, площадь оголенного грунта, связь с официальной сетью и объектом притяжения. Повторная съемка в одинаковой системе координат позволяет установить, возникло ли новое ответвление в текущем сезоне, расширилась ли прежняя тропа или, наоборот, восстановилась после ограничения доступа.

Временная организация наблюдений должна соответствовать сезонности острова. Минимальная схема теплого периода включает обследование до массового наплыва посетителей, в июле–августе и после завершения пикового периода в сентябре. Именно летний максимум подтверждается современными данными по структуре туристического потока Ольхона [3].

Наиболее информативно сопоставление состояния участка в период максимальной нагрузки с его состоянием после завершения пикового сезона и перед началом следующего сезона. Если проективное покрытие в августе снизилось, но к следующему предпиковому обследованию восстановилось и не сопровождается ростом оголенной поверхности, говорить о устойчивой деградации преждевременно. Иная ситуация складывается, когда участок сохраняет повышенную плотность почвы, расширенную тропу и оголенный грунт после окончания сезона. В таком случае воздействие вышло за пределы кратковременной деформации и приобрело накопительный характер.

Для статистической оценки порога предлагается кусочно-линейная регрессия.

Если функция остается плавной и статистически значимой точки перелома не обнаружено, искусственно вводить порог не следует. Тогда управленческий стандарт определяется по пределу приемлемого состояния выбранного индикатора. Для нелинейных зависимостей дополнительно применима обобщенная аддитивная модель, позволяющая проверить, не маскирует ли линейная аппроксимация более сложную реакцию.

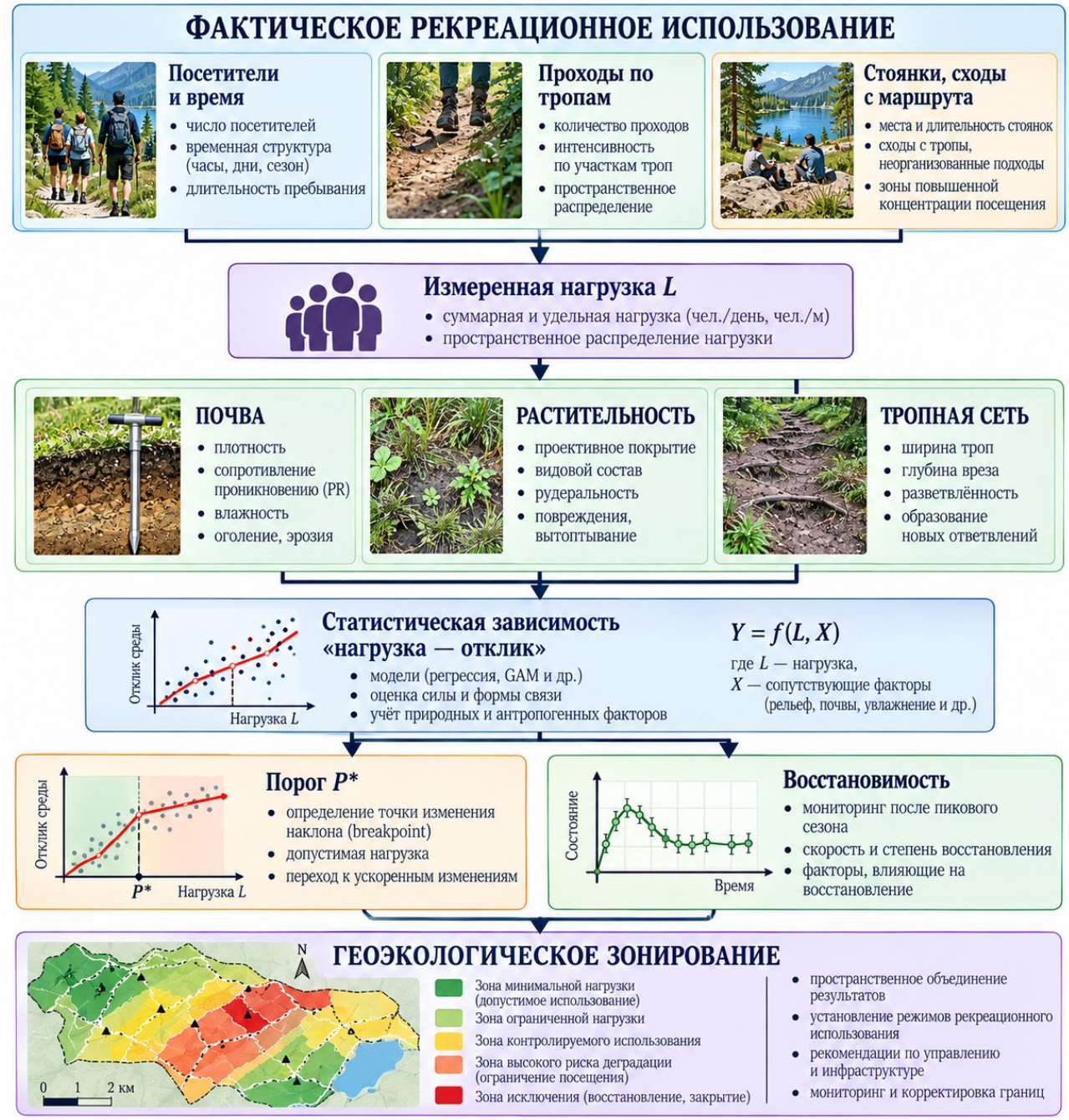


Рисунок 1 — Схема совмещенного мониторинга нагрузки и геоэкологического отклика (источник: разработано автором)

Стадии дигрессии формируются на следующем шаге. Показатели стандартизируются, а признаки, отражающие один и тот же процесс и имеющие крайне высокую взаимосвязь, не дублируются. После этого проводится многомерная классификация. Число устойчивых групп выбирается по качеству кластеризации, а не задается заранее как обязательные четыре или пять стадий. Затем группы упорядочиваются по медианной нагрузке, площади оголенного

грунта, устойчивости растительного покрова и способности к послесезонному восстановлению.

Результаты исследования и их обсуждение. Анализ публикаций 2024–2026 гг. позволяет прежде всего уточнить сам характер рекреационной проблемы Ольхона. Она не состоит в том, что «слишком много туристов» воздействуют на остров как на единое пространство. Нагрузка локализована. Ее основная доля стягивается к населенным пунктам, автомобильным подъездам, известным природным объектам, пляжам и нескольким экскурсионным направлениям. Такая структура означает, что средний показатель посещаемости на площадь острова будет систематически сглаживать наиболее важные для управления локальные максимумы.

Особенно показателен Сарайский залив. В опубликованной оценке на участке зафиксированы элементы направляющей инфраструктуры: настильная кольцевая тропа, смотровые площадки, ответвления к берегу, информационные объекты и ограничение въезда транспорта. При этом авторы исследования приводят конкретные индикаторы состояния, включая места схода с настила на травяной покров, а общую текущую рекреационную емкость оценивают в 350 человек [1]. Для геоэкологии важен не сам показатель 350, а то, каким образом достигается его экологическая приемлемость. Значительная часть потока удерживается на устойчивой или специально оборудованной поверхности.

Мыс Хобой демонстрирует другой тип пространственной организации. Допустимая единовременная нагрузка в рассматриваемой методике составляет 150 человек, а опубликованная оценка состояния объекта характеризовалась как «удовлетворительная». Вместе с тем развитие инфраструктуры позволило повысить пропускную способность по сравнению с прежним состоянием без сопоставимого роста воздействия [1]. Это еще раз подтверждает: прямой перенос численного лимита между Сарайским заливом, Хобоем и любым третьим участком не имеет научного основания. У каждого объекта свой микрорельеф, пространственная конфигурация движения и доля контакта посетителя с

незащищенной природной поверхностью.

Отсюда вытекает первое содержательное положение предлагаемой модели: единицей управления должен быть не остров и даже не крупный маршрут, а экологически однородный участок контакта рекреации с ландшафтом. Для Сарайского залива одним таким объектом может стать сама оборудованная тропа, другим — участок растительного покрова возле неофициального схода, третьим — зона пребывания на прибрежном песке. Их нагрузка и отклик должны анализироваться раздельно.

Второй результат связан с различием между концентрацией и расползанием воздействия. Высокая посещаемость необязательно означает большую нарушенную площадь. Организованная инфраструктура способна концентрировать интенсивное использование на небольшой устойчивой поверхности. Напротив, сравнительно скромный поток на участке без четко заданного маршрута может создавать разветвленную сеть параллельных троп. Именно поэтому число посетителей необходимо рассматривать вместе с площадью их фактического контакта с почвой и растительностью.

Современные исследования мест стоянок подтверждают данное положение. J.L. Marion и N. Maretzki показали, что при интенсивном кемпинге задача управления заключается не в максимально широком рассредоточении любого количества площадок, а в сохранении ограниченного числа правильно расположенных устойчивых мест и восстановлении избыточных либо экологически неблагоприятных [8].

Третий результат касается почвенного блока. Почва реагирует на механическое воздействие раньше, чем формируются крупные эрозионные формы. Первоначальное уплотнение меняет поровое пространство, затем — условия инфильтрации и развития корней. Это хорошо согласуется с данными Q. Shang с соавторами о физических изменениях почвы под действием вытаптывания [2] и российскими результатами О. Gordienko с соавторами по уплотнению почв вдоль рекреационной тропы [14]. Поэтому плотность

сложения и сопротивление проникновению следует рассматривать как ранние диагностические признаки, но только после поправки на естественную влажность и свойства субстрата.

На Ольхоне такая поправка имеет особое значение. Сухой открытый участок и более увлажненный фрагмент растительности способны различаться по сопротивлению проникновению без какой-либо рекреации. Сравнение средних значений по острову эту неоднородность не устраняет. Более надежен парный дизайн, в котором нагруженная и контрольная площадки расположены в одной фациальной обстановке.

Четвертый результат связан с растительностью. Проективное покрытие остается одним из самых наглядных показателей, но без видового анализа оно недостаточно. Стабильное общее покрытие может скрывать замену исходных видов более устойчивыми к нарушению рудеральными растениями. Исследование T. Chisholm и J.L. McCune подтверждает, что влияние троп на состав растительных сообществ меняется в зависимости от типа растительности и вида рекреационного использования [12]. Для острова этот вывод согласуется с работой по отходам и синантропизации [5], где распространение рудеральной растительности рассматривается как один из сопутствующих экологических рисков.

Следовательно, геоботанический блок должен отвечать на два разных вопроса. Первый — сколько растительного покрова утрачено. Второй — сохранилась ли исходная структура сообщества на той площади, где растительность еще присутствует. Эти процессы могут идти с разной скоростью, поэтому объединять их в один условный балл до анализа нецелесообразно.

Пятый результат касается тропной эрозии. Расширение тропы, потеря растительности, поверхностное врезание и перенос грунта находятся в значительно более непосредственной связи с повторным механическим воздействием.

Современная методическая база позволяет измерять эти изменения с

необходимой точностью. M.V.R.C. Simão с соавторами в 2026 г. сравнили традиционные профили и максимальную глубину с TLS, наземной SfM-съемкой и БПЛА, показав пригодность многократных высокоточных обследований для оценки динамики эрозии [16]. N. Bruno с соавторами подчеркивают возможность подбирать относительно недорогой метод под масштаб нарушения [18]. Для регулярного мониторинга Ольхона это практичнее, чем попытка выполнять максимально детальную съемку всей маршрутной сети: массовые створы могут измеряться простыми средствами, а БПЛА используется на проблемных фрагментах.

Здесь проявляется еще одно методическое преимущество повторной съемки. Однократная трехмерная модель показывает состояние, но не скорость процесса. Глубокая тропа может быть старой и относительно стабильной, тогда как неглубокое ответвление, быстро расширившееся за один сезон, представляет более актуальную угрозу. Управленческое решение должно учитывать не только величину накопленного нарушения, но и его текущую динамику.

Шестой результат относится к сезонной обратимости. Наиболее посещаемый теплый период Ольхона приходится на июль–август [3]. Если обследование проводить только в конце августа, исследователь увидит максимум нарушения, но не узнает, какая его часть исчезает после прекращения интенсивного воздействия. Поэтому послесезонное и следующее предпиковое обследование имеют диагностическое значение. Способность системы возвращаться к исходному диапазону состояния входит в само понятие устойчивости.

В этой связи предлагается различать нарушение и деградацию. Под нарушением понимается статистически обнаружимое изменение состояния в период воздействия, которое может быть обратимым. Деградация диагностируется тогда, когда изменение сохраняется после окончания пикового использования либо проявляет накопительную отрицательную динамику в последовательных циклах. Это разграничение уменьшает риск завышать степень

неблагополучия только по летней картине.

Седьмой результат связан с мусором. Данные по Ольхону подтверждают реальность проблемы отходов [5], но в системе оценки дигрессии этот показатель следует оставить вспомогательным. Причина состоит в том, что значение этого показателя зависит не только от посещаемости, но и от частоты уборки. Поэтому количество предметов или масса отходов должны фиксироваться после стандартизованного интервала, а сведения о проведенной уборке заноситься в протокол. Без этого сравнение участков может привести к ошибочному выводу.

Восьмой результат затрагивает рекреационную емкость. Исследования Прибайкальского национального парка показывают практическую полезность расчетных лимитов [1], [19], однако современный международный подход требует рассматривать емкость как адаптивный показатель [15]. В настоящей работе предлагается разграничить три понятия.

Физическая вместимость описывает, сколько людей реально помещается на объекте при заданной организации пространства. Управленческая емкость отражает число посетителей, допускаемое при действующей инфраструктуре и режиме. Геоэкологический порог характеризует такую интенсивность воздействия, после которой наблюдаемые природные показатели начинают устойчиво выходить из диапазона приемлемых изменений. Эти величины могут совпадать, но их совпадение должно быть результатом измерений, а не исходным предположением.

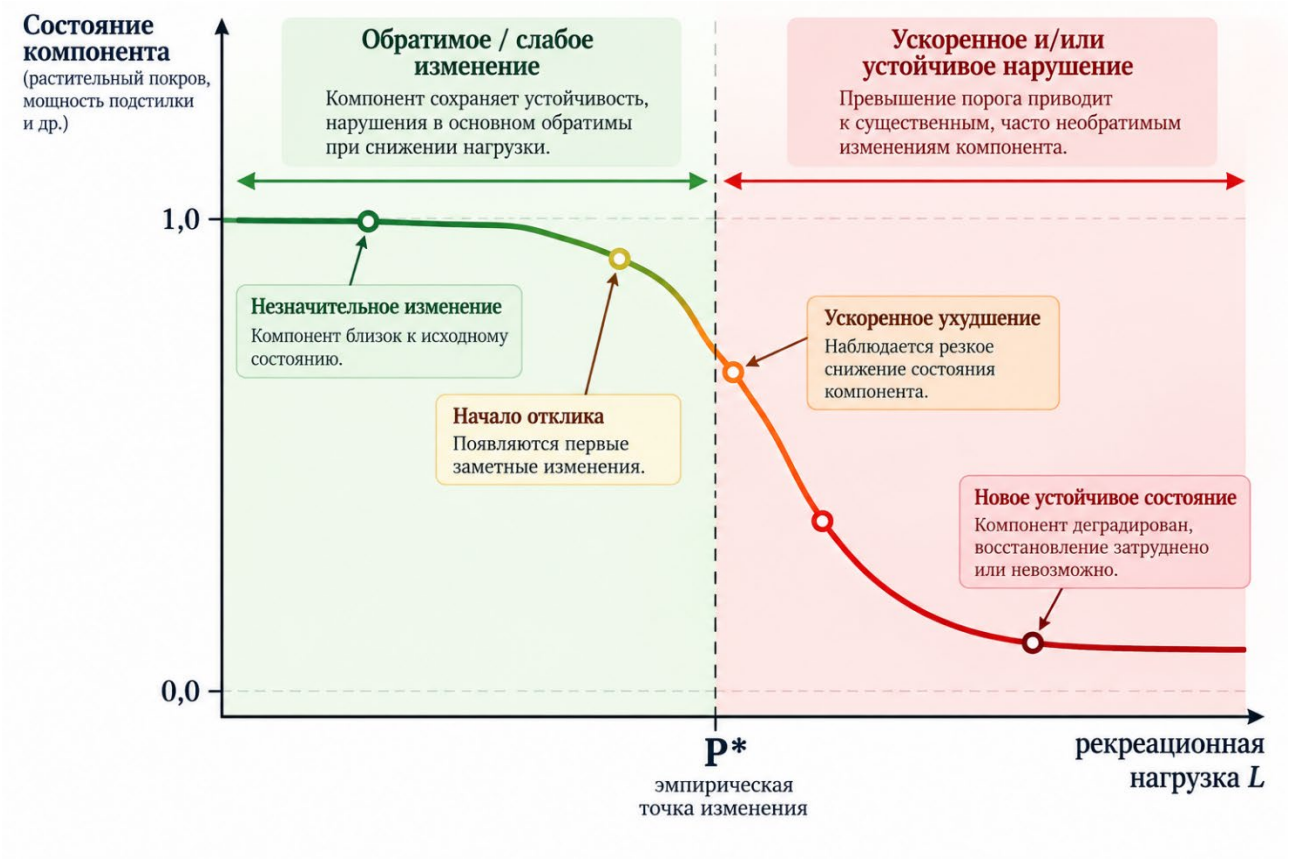


Рисунок 2 — Концептуальная зависимость между рекреационной нагрузкой и состоянием чувствительного компонента ландшафта (источник: разработано автором)

Для выявления устойчивой рекреационной дигрессии предлагается использовать согласованную оценку нескольких независимых характеристик состояния ландшафта. В обычном случае основанием для отнесения участка к категории выраженного нарушения является устойчивое ухудшение не менее двух групп показателей, например состояния почвы и растительного покрова либо растительности и морфометрии тропы. Вместе с тем отдельные нарушения могут требовать управленческого реагирования независимо от состояния остальных компонентов. К таким случаям относятся активная эрозия с превышением заранее установленного критического предела, быстрое расширение оголённой поверхности или развитие процесса, создающего непосредственную угрозу необратимого повреждения участка.

Рекреационную ёмкость острова Ольхон целесообразно рассматривать как совокупность ограничений, устанавливаемых для отдельных ландшафтно

однородных участков с различной чувствительностью к механическому воздействию. Физическая вместимость, управленчески допустимое число посетителей и геоэкологический порог нарушения представляют собой разные показатели. Их значения зависят от организации маршрутов, состояния почв и растительности, наличия направляющей инфраструктуры и сезонного режима использования.

Разработанная логика зонирования приведена в табл. 3.

Таблица 3 — Геоэкологическое зонирование по результатам мониторинга

Функциональное состояние	Диагностические признаки	Режим использования
Устойчивое использование	Показатели находятся в диапазоне сопоставимого контроля либо отклонения малы и восстанавливаются после сезона; активной эрозии нет	Сохранение текущего режима; стандартный мониторинг
Регулируемая нагрузка	Устойчиво изменяется один блок показателей либо нагрузка приближается к найденной точке P*; появляются локальные сходы и расширение троп	Локализация движения, настилы, ограждение чувствительных фрагментов, перераспределение потока
Восстановление	Порог превышен; изменения подтверждаются несколькими блоками; нарушение сохраняется после пикового сезона	Закрытие неофициальных троп и избыточных стоянок, восстановительные работы, перенос точек притяжения
Временное ограничение посещения	Наблюдается продолжающееся увеличение площади оголенного грунта, активная эрозия либо отсутствие восстановления в последовательных циклах мониторинга	Сезонное или локальное закрытие до достижения заранее определенного состояния восстановления

Источник: разработано автором с учетом [4], [8], [15], [16].

Цифровое картирование способно существенно снизить трудоемкость этой работы. ГИС-моделирование туристских территорий Байкальской природной территории уже используется для объединения разнородных пространственных данных [13]. Применительно к Ольхону в единой системе целесообразно связать официальную маршрутную сеть, фактические GPS-треки, автоматические счетчики, ортофотопланы БПЛА, расположение стоянок, участки почвенных измерений и результаты геоботанических описаний. Тогда разрозненные полевые протоколы превращаются в многолетнюю пространственную модель

состояния.

При этом дистанционные данные не должны заменять полевые наблюдения. По снимку можно достаточно надежно определить расширение открытой тропы, но нельзя непосредственно получить плотность сложения почвы или видовое богатство травостоя. Геоэкологический мониторинг эффективен именно в сочетании масштабов: спутниковые и ГИС-данные показывают территориальную конфигурацию, БПЛА — детальную структуру поверхности, а стационарные площадки раскрывают механизм изменения компонентов.

Аналогичная осторожность необходима при интерпретации больших массивов пользовательских треков. Исследование «digital ranger» демонстрирует их способность обнаруживать нарушения режима и сходы с разрешенных маршрутов [6]. Однако отсутствие цифрового трека не означает отсутствия человека. Поэтому данные платформ служат дополнительным пространственным слоем, который помогает размещать счетчики и полевые площадки, но не заменяет репрезентативный учет посетителей.

Совокупность рассмотренных результатов позволяет предложить для Ольхона не еще одну статичную карту «нарушенных территорий», а динамическую систему наблюдения. Единицей ее обновления становится сезонный цикл. В начале теплого периода фиксируется состояние после восстановления, в пик — максимальный отклик, осенью — остаточное нарушение. Через год выясняется, накопился ли эффект. Если одновременно известна фактическая нагрузка, можно ответить на наиболее важный для управления вопрос: не просто где стало хуже, а при какой интенсивности и каком пространственном типе использования это произошло.

Подобная информация делает природоохранное решение проверяемым. Ограничение посещения, новый настил, перенос стоянки или закрытие неофициального ответвления должны сопровождаться последующим измерением. Если экологический показатель возвращается к контрольному

диапазону, мера работает. Если улучшения нет, необходимо искать другую причину либо менять способ управления. Такая логика ближе к адаптивному управлению, чем к однократному установлению численного лимита [15].

Следует подчеркнуть и ограничения предложенного подхода. Во-первых, разные компоненты восстанавливаются с разной скоростью. Почва после уплотнения может сохранять измененное состояние дольше, чем надземный травостой. Во-вторых, экстремально сухой или влажный сезон способен изменить чувствительность участка независимо от посещаемости. В-третьих, на части Ольхона рекреационное воздействие накладывается на выпас и транспортную нагрузку, о чем свидетельствуют современные исследования природопользования острова [11]. В таких местах причинное выделение туристического фактора требует либо исключения смешанных площадок, либо отдельного учета сопутствующей нагрузки.

Еще одно ограничение связано с временной глубиной. Публикация 2026 г., посвященная истории освоения Ольхона, показывает, что современное состояние острова формировалось под действием длительного хозяйственного использования, а не только туризма последних лет [9]. Поэтому современный «фон» не равнозначен первозданному состоянию. В настоящей методике он понимается как наименее рекреационно нагруженный аналог в пределах той же современной ландшафтной системы. Такое определение скромнее, но научно корректнее.

Для научно обоснованного регулирования необходима система локальных порогов, связанных с конкретными геосистемами и типами использования. Существующие показатели рекреационной емкости Прибайкальского национального парка дают важный управленческий каркас, а предлагаемая схема «нагрузка — отклик» добавляет к нему экологическую проверку.

Выводы. Рекреационная дигрессия прибрежных ландшафтов острова Ольхон должна исследоваться как пространственно неоднородный процесс, а не как прямое следствие общей годовой туристической посещаемости.

Современные материалы показывают сильную концентрацию потока в Хужире, его окрестностях, на популярных береговых объектах и маршрутах. В результате средние показатели по острову скрывают локальные участки, где механическая нагрузка многократно выше фоновой. Данные 2025 г. о 200–500 тыс. туристов и отдыхающих в год при постоянном населении около 2 тыс. человек подтверждают масштаб сезонного давления, но сами по себе не характеризуют степень экологического нарушения [3].

Опубликованная оценка рекреационной емкости Прибайкальского национального парка доказывает эффективность объектного подхода. Единовременная емкость 5285 человек распределена между 93 участками и тропами, причем Сарайский залив и мыс Хобой существенно различаются по допустимому числу посетителей и организации рекреационного пространства [1]. Еще важнее, что направляющая инфраструктура на ряде объектов позволяла повышать пропускную способность без соответствующего расширения воздействия. Следовательно, число посетителей нельзя использовать в качестве самостоятельной меры экологического давления.

Для установления собственно рекреационной дигрессии необходимо синхронно измерять нагрузку и ответ природного комплекса. В качестве базовых параметров нагрузки обоснованы посетитель-часы на единицу площади, число проходов по тропе, плотность мест стоянок и пространственная удаленность от официальной сети. Экологический отклик целесообразно характеризовать плотностью и сопротивлением почвы проникновению, влажностью, мощностью подстилки, площадью оголенной поверхности, проективным покрытием и структурой растительности, параметрами тропной морфометрии и признаками поверхностной эрозии.

Фоновый контроль должен быть ландшафтно сопоставим с рекреационной площадкой. Простая удаленность от туристического объекта не делает участок корректным контролем, если меняются почва, экспозиция, рельеф или тип растительности. Такой принцип особенно важен на Ольхоне, где на небольшом

расстоянии соседствуют степные участки, песчаные поверхности, редколесья и скальные комплексы.

Представление о единой геоэкологической емкости всего острова методически неоправданно. Для каждого типа прибрежного ландшафта требуется эмпирически устанавливать положение точки, после которой реакция выбранных показателей ускоряется либо возникает устойчивое расхождение с контролем. При отсутствии статистически обнаружимого перелома допустимый уровень воздействия должен определяться по состоянию самого индикатора. Современные исследования управления также свидетельствуют о преимуществе динамического подхода, связывающего показатели, стандарты состояния, мониторинг и управленческую реакцию, перед поиском одной неизменной предельной численности [15].

Стадии рекреационной дигрессии целесообразно выделять после получения данных путем многомерной классификации измеренных состояний. Это позволяет отказаться от экспертного присвоения стадии до анализа. Дополнительным критерием выступает послесезонная восстановимость: кратковременное снижение растительного покрытия в пик посещаемости и устойчивое сохранение оголенной поверхности после окончания сезона имеют разный геоэкологический смысл.

Для тропной сети приоритетным экзогенным процессом следует считать поверхностную и тропную эрозию. Современная SfM-фотограмметрия, БПЛА и наземная высокоточная съемка позволяют количественно измерять расширение и врезание поверхности при повторных наблюдениях [10], [16], [18]. Причинные выводы о рекреационном происхождении оползней без отдельного геологического и гидрогеологического исследования, напротив, не имеют достаточного основания.

Практическим итогом предлагаемой системы является геоэкологическое зонирование. Участки, где отклик остается в диапазоне контроля и восстанавливается после сезона, могут сохранять действующий режим. При

приближении к установленному порогу необходимо направлять движение, укреплять наиболее уязвимую поверхность и устранять стихийные сходы. Устойчивое превышение порога по нескольким независимым группам индикаторов требует восстановления нарушенных участков, а продолжающаяся эрозия и отсутствие послесезонного восстановления — временного ограничения посещения.

Таким образом, геоэкологическое регулирование рекреации на Ольхоне целесообразно строить вокруг более конкретного вопроса: какую фактическую нагрузку способен выдержать определенный природный комплекс при заданном типе использования и существующей инфраструктуре, не переходя к устойчивой деградации.

Список литературы

1. Калихман А. Д., Калихман Т. П. Оценка посетительских нагрузок и предельно допустимые нормы в Прибайкальском национальном парке // География и природные ресурсы. 2024. Т. 45, № 1. С. 164–177. DOI: 10.15372/GIPR20240116.

2. Shang Q., Li C., Liu Y. The Negative Effects of Tourist Trampling on the Soil Physical Properties and Microbial Community Composition in a Natural Oak Forest // Forests. 2024. Vol. 15, No. 8. Art. 1419. DOI: 10.3390/f15081419.

3. Евстропьева О. В., Заборцева Т. И., Рогов П. В., Игнатова О. А., Дуля К. В. Структурный анализ туристического потока и прогноз антропогенного воздействия: на примере острова Ольхон (Байкал, Иркутская область) // География и природные ресурсы. 2025. Т. 46, № 1. С. 84–94. DOI: 10.15372/GIPR20250108.

4. Simão M. V. R. C., Farías-Torbidoni E. I., Llena M. Management of Degraded Trails in Protected Natural Areas Worldwide: A Systematic Review of Scientific Literature // Land Degradation & Development. 2025. Vol. 36. P. 3279–3293. DOI: 10.1002/ldr.5579.

5. Соловьева Е. Н., Эпова Л. А., Подлипский И. И. Проблема обращения с

отходами при развитии туристско-рекреационной деятельности на особо охраняемых природных территориях (Прибайкальский национальный парк, о. Ольхон) // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о Земле». 2024. Т. 49. С. 130–145. DOI: 10.26516/2073-3402.2024.49.130.

6. Zink J., Mangold M., Porst F., Steinbauer M., Heurich M. Towards a Digital Ranger: Using Data from Outdoor Platforms to Detect Rule Violations in Protected Areas and Improve Visitor Management // Journal of Outdoor Recreation and Tourism. 2024. Vol. 48. Art. 100835. DOI: 10.1016/j.jort.2024.100835.

7. Балсанова Л. Д. Экологическая устойчивость почв рекреационных зон восточного побережья озера Байкал // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Биология. Экология». 2024. Т. 49. С. 52–66. DOI: 10.26516/2073-3372.2024.49.52.

8. Marion J. L., Maretzki N. A Management Process for Improving the Resource and Social Sustainability of Camping: A Case Study in the US Desolation Wilderness // Land. 2025. Vol. 14, No. 11. Art. 2264. DOI: 10.3390/land14112264.

9. Соловьева Е. Н., Калихман А. Д. Остров Ольхон: от антропогенного освоения до формирования режима особо охраняемой природной территории // Региональные геосистемы. 2026. Т. 50, № 2. С. 245–260. DOI: 10.52575/2712-7443-2026-50-2-245-260.

10. Hayakawa Y. S., Gomez C., Watanabe T., Wang T., Kobayashi Y., Inomata M., Sakai T., Imagawa S. Effects of Ground-Contacting Gear on Trail Surface Deformation from Trampling // Environmental Challenges. 2025. Vol. 18. Art. 101107. DOI: 10.1016/j.envc.2025.101107.

11. Соловьева Е. Н., Подлипский И. И., Стронская А. М. Состояние и лимитирующие факторы использования территории острова Ольхон (Прибайкальский национальный парк) // Известия Байкальского государственного университета. 2024. Т. 34, № 1. С. 122–133. DOI: 10.17150/2500-2759.2024.34(1).122-133.

12. Chisholm T., McCune J. L. Vegetation Type and Trail Use Interact to Affect the

Magnitude and Extent of Recreational Trail Impacts on Plant Communities // Journal of Environmental Management. 2024. Vol. 351. Art. 119817. DOI: 10.1016/j.jenvman.2023.119817.

13. Евстропьева О. В., Бардаш А. В., Лесных С. И., Распутина Е. А., Цыганкова М. В. Геоинформационное моделирование туристских территорий с особыми условиями природопользования на примере центральной экологической зоны Байкальской природной территории // Геодезия и картография. 2025. № 9. С. 25–34. DOI: 10.22389/0016-7126-2025-1023-9-25-34.

14. Gordienko O., Mitrofanova A., Novák T. J. Recreational Load as a Factor of Soil Compaction in Protected Landscapes // Eurasian Journal of Soil Science. 2026. Vol. 15, No. 3. P. 335–347. DOI: 10.18393/ejss.1920975.

15. Sakrak Ekin G., Ekin Y., Akbulut O., Celik T. Carrying Capacity and Adaptive Visitor Use Management for Sustainable Parks and Protected Recreation Areas: A Critical Narrative Review // Sustainability. 2026. Vol. 18, No. 16. Art. 8037. DOI: 10.3390/su18168037.

16. Simão M. V. R. C., Farías-Torbidoni E. I., Dorado V. et al. Trail Erosion Assessment and Monitoring in Natural Areas: A Comparison of Traditional and High-Resolution Topographic Surveying Methods // Environmental Monitoring and Assessment. 2026. Vol. 198. Art. 423. DOI: 10.1007/s10661-026-15212-5.

17. Shkaruba A., Mnatsakanian R., Molodikova I., Kireyeu V., Sepp K. Why Is the Eutrophication Governance over the Lake of Baikal Failing? Land Use Governance Solutions Need to Account for Barriers across Sectors, Scales, and Actor Groups // Land Use Policy. 2024. Vol. 141. Art. 107136. DOI: 10.1016/j.landusepol.2024.107136.

18. Bruno N., Valletta A., Segalini A., Roncella R. Low-Cost Techniques for Soil Erosion Monitoring on Mountain Trails // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2024. Vol. XLVIII-2/W8-2024. P. 53–60. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLVIII-2-W8-2024-53-2024.

19. Соловьева Е. Н., Бабина С. Г. Практика применения правил расчета предельно допустимой рекреационной емкости на территории Прибайкальского национального парка // 2024. Вып. 8. С. 232–241. DOI: 10.55959/MSU012129-2-2024-8-232-241.

References

1. Kalixman A. D., Kalixman T. P. Ocenka posetitel`skix nagruzok i predel`no dopustimy`e normy` v Pribajkal`skom nacional`nom parke // Geografiya i prirodny`e resursy`. 2024. T. 45, № 1. S. 164–177. DOI: 10.15372/GIPR20240116.

2. Shang Q., Li C., Liu Y. The Negative Effects of Tourist Trampling on the Soil Physical Properties and Microbial Community Composition in a Natural Oak Forest // Forests. 2024. Vol. 15, No. 8. Art. 1419. DOI: 10.3390/f15081419.

3. Evstrop`eva O. V., Zaborceva T. I., Rogov P. V., Ignatova O. A., Dulya K. V. Strukturny`j analiz turisticheskogo potoka i prognoz antropogennogo vozdejstviya: na primere ostrova Ol`xon (Bajkal, Irkutskaya oblast`) // Geografiya i prirodny`e resursy`. 2025. T. 46, № 1. S. 84–94. DOI: 10.15372/GIPR20250108.

4. Simão M. V. R. C., Farías-Torbidoni E. I., Llena M. Management of Degraded Trails in Protected Natural Areas Worldwide: A Systematic Review of Scientific Literature // Land Degradation & Development. 2025. Vol. 36. P. 3279–3293. DOI: 10.1002/ldr.5579.

5. Solov`eva E. N., E`pova L. A., Podlipskij I. I. Problema obrashheniya s otxodami pri razvitii turistsko-rekreacionnoj deyatel`nosti na osobo oxranyaemy`x prirodny`x territoriyax (Pribajkal`skij nacional`ny`j park, o. Ol`xon) // Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya «Nauki o Zemle». 2024. T. 49. S. 130–145. DOI: 10.26516/2073-3402.2024.49.130.

6. Zink J., Mangold M., Porst F., Steinbauer M., Heurich M. Towards a Digital Ranger: Using Data from Outdoor Platforms to Detect Rule Violations in Protected Areas and Improve Visitor Management // Journal of Outdoor Recreation and Tourism. 2024. Vol. 48. Art. 100835. DOI: 10.1016/j.jort.2024.100835.

7. Balsanova L. D. E`kologicheskaya ustojchivost` pochv rekreacionny`x zon

vostochnogo poberezh`ya ozera Bajkal // Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya «Biologiya. E`kologiya». 2024. T. 49. S. 52–66. DOI: 10.26516/2073-3372.2024.49.52.

8. Marion J. L., Maretzki N. A Management Process for Improving the Resource and Social Sustainability of Camping: A Case Study in the US Desolation Wilderness // Land. 2025. Vol. 14, No. 11. Art. 2264. DOI: 10.3390/land14112264.

9. Solov`eva E. N., Kalixman A. D. Ostrov Ol`xon: ot antropogennogo osvoeniya do formirovaniya rezhima osobo oxranyaemoj prirodnoj territorii // Regional`ny`e geosistemy`. 2026. T. 50, № 2. S. 245–260. DOI: 10.52575/2712-7443-2026-50-2-245-260.

10. Hayakawa Y. S., Gomez C., Watanabe T., Wang T., Kobayashi Y., Inomata M., Sakai T., Imagawa S. Effects of Ground-Contacting Gear on Trail Surface Deformation from Trampling // Environmental Challenges. 2025. Vol. 18. Art. 101107. DOI: 10.1016/j.envc.2025.101107.

11. Solov`eva E. N., Podlipskij I. I., Stronskaya A. M. Sostoyanie i limitiruyushhie faktory` ispol`zovaniya territorii ostrova Ol`xon (Pribajkal`skij nacional`ny`j park) // Izvestiya Bajkal`skogo gosudarstvennogo universiteta. 2024. T. 34, № 1. S. 122–133. DOI: 10.17150/2500-2759.2024.34(1).122-133.

12. Chisholm T., McCune J. L. Vegetation Type and Trail Use Interact to Affect the Magnitude and Extent of Recreational Trail Impacts on Plant Communities // Journal of Environmental Management. 2024. Vol. 351. Art. 119817. DOI: 10.1016/j.jenvman.2023.119817.

13. Evstrop`eva O. V., Bardash A. V., Lesny`x S. I., Rasputina E. A., Cygankova M. V. Geoinformacionnoe modelirovanie turistskix territorij s osoby`mi usloviyami prirodopol`zovaniya na primere central`noj e`kologicheskoj zony` Bajkal`skoj prirodnoj territorii // Geodeziya i kartografiya. 2025. № 9. S. 25–34. DOI: 10.22389/0016-7126-2025-1023-9-25-34.

14. Gordienko O., Mitrofanova A., Novák T. J. Recreational Load as a Factor of Soil Compaction in Protected Landscapes // Eurasian Journal of Soil Science. 2026. Vol.

15, No. 3. P. 335–347. DOI: 10.18393/ejss.1920975.

15. Sakrak Ekin G., Ekin Y., Akbulut O., Celik T. Carrying Capacity and Adaptive Visitor Use Management for Sustainable Parks and Protected Recreation Areas: A Critical Narrative Review // Sustainability. 2026. Vol. 18, No. 16. Art. 8037. DOI: 10.3390/su18168037.

16. Simão M. V. R. C., Farías-Torbidoni E. I., Dorado V. et al. Trail Erosion Assessment and Monitoring in Natural Areas: A Comparison of Traditional and High-Resolution Topographic Surveying Methods // Environmental Monitoring and Assessment. 2026. Vol. 198. Art. 423. DOI: 10.1007/s10661-026-15212-5.

17. Shkaruba A., Mnatsakanian R., Molodikova I., Kireyeu V., Sepp K. Why Is the Eutrophication Governance over the Lake of Baikal Failing? Land Use Governance Solutions Need to Account for Barriers across Sectors, Scales, and Actor Groups // Land Use Policy. 2024. Vol. 141. Art. 107136. DOI: 10.1016/j.landusepol.2024.107136.

18. Bruno N., Valletta A., Segalini A., Roncella R. Low-Cost Techniques for Soil Erosion Monitoring on Mountain Trails // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2024. Vol. XLVIII-2/W8-2024. P. 53–60. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLVIII-2-W8-2024-53-2024.

19. Solov`eva E. N., Babina S. G. Praktika primeneniya pravil rascheta predel`no dopustimoj rekreacionnoj emkosti na territorii Pribajkal`skogo nacional`nogo parka // 2024. Vy`p. 8. S. 232–241. DOI: 10.55959/MSU012129-2-2024-8-232-241.

Статья поступила в редакцию 06.08.2026; одобрена после рецензирования 03.09.2026; принята к публикации 12.10.2026.

The article was submitted 06.08.2026; approved after peer review 03.09.2026; accepted for publication 12.10.2026.