



Серия «Биология. Экология»
2024. Т. 49. С. 52–66
Онлайн-доступ к журналу:
<http://izvestiabiio.isu.ru/ru>

ИЗВЕСТИЯ
Иркутского
государственного
университета

Научная статья

УДК 631.47+502.3
<https://doi.org/10.26516/2073-3372.2024.49.52>

Экологическая устойчивость почв рекреационных зон восточного побережья озера Байкал

Л. Д. Балсанова*

Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, г. Улан-Удэ, Россия
E-mail: balsanova@mail.ru

Аннотация. Проанализированы результаты исследований свойств почв, формирующихся в прибрежной полосе восточного побережья оз. Байкал на восьми ключевых участках в зонах, подверженных значительной рекреационной нагрузке. Выполнена оценка суммарной экологической устойчивости исследованных почв с применением предложенной автором количественной характеристики по ряду критериев физико-химических и морфологических свойств с использованием балльного рейтинга в диапазоне от категории «почвы с высокой устойчивостью» до категории «почвы с очень слабой устойчивостью».

Ключевые слова: устойчивость почв, показатель, рекреационная нагрузка, критерий, физико-химические свойства.

Благодарности. Работа выполнена в рамках темы № 121030100228-4 государственного задания программы фундаментальных исследований ИОЭБ СО РАН.

Для цитирования: 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. <https://doi.org/10.26516/2073-3372.2024.49.52>

Research article

Ecological Sustainability of Soils of Recreational Zones of the Eastern Shore of Lake Baikal

L. D. Balsanova*

Institute of General and Experimental Biology SB RAS, Ulan-Ude, Russian Federation

Abstract. Tourist activities on the eastern coast of Lake Baikal have a significant impact on soils. The main load falls on its coastal territory, which is characterized by the greatest vulnerability. There is also the problem of assessing the resistance of soils to anthropogenic impacts, taking into account the natural and climatic characteristics of the territory. Soil studies were carried out within the middle part of the eastern coast of Lake Baikal from the Barguzinsky Bay to the Ust-Selenginsky depression. In soil samples, the pH was determined by a potentiometric method; exchangeable cations - complexometric; organic carbon content according to Tyurin, mobile phosphorus, potassium according to Kirsanov with photocolometric ending. Indicators of physical properties were determined by the tube method (water permeability), by the thermostat-weight method using a drill (density of undisturbed soil). The particle size distribution was determined by the laser diffraction method on a particle size analyzer Analysette-22 of the German company Fritsch. The paper considers the natural

© Балсанова Л. Д., 2024

*Полные сведения об авторе см. на последней странице статьи.
For complete information about the author, see the last page of the article.

conditions of the study area. The soils are represented by cambisols, podzols, albic podzols, haplic fluvisols and gleyi-histic fluvisols. They have their morphological features. The particle size distribution of soils varies from loose sandy in Haplic Fluvisols to medium loamy in Leptic Cambisols. Chemical analysis shows an acidic to the neutral reaction of the medium, predominantly low humus content in all soils, except for Leptic Cambisols, the predominance of calcium cations in the absorbed bases, and predominantly low supply of nutrients. Changes in the morphological and physicochemical properties of soils occur under recreational stress. It is known that the properties of soils determine their stability. To assess it, control and threshold values of various soil parameters are required, which is a current global challenge. For this, it is necessary to develop appropriate indicators, taking into account the sensitivity to the impact of anthropogenic factors and the natural characteristics of the region. These include pH, humus content, exchangeable cations, mobile forms of phosphorus and potassium, CEC, density, filtration coefficient, the content of physical clay, percentage of coverage of the site with grassy vegetation, the thickness of litter, and humus strata. Next, we used a point rating for various properties. Points were assigned by soil groupings based on the work of different researchers with additions and adjustments to the analysis of the authors' data. The highest points were given to Umbric Fluvisols (40 points) and Leptic Cambisols (42 points). The least weakly resistant soils are Umbric Podzols and Gleyi-Histic Fluvisols (27 points). The weak stability of the studied soils is due to their formation on sandy sediments and genetic properties. Light particle size distribution, short profile, thin organogenic horizons, and unfavorable physicochemical properties increase the degree of their vulnerability.

Keywords: soil stability, index, recreational load, criterion, physicochemical properties, Fluvisols, Cambisols, Podzols.

For citation: Balsanova L. D. Ecological Sustainability of Soils of Recreational Zones of the Eastern Shore of Lake Baikal. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Biology. Ecology*, 2024, vol. 49, pp. 52-66. <https://doi.org/10.26516/2073-3372.2024.49.52> (in Russian)

Введение

Оценка устойчивости почв к различного рода воздействиям с учётом природно-климатических особенностей территории и видов использования земель – одна из актуальных задач по управлению их качеством [Яковлев, Евдокимова, 2011]. Особую важность имеют разработка, дополнение или корректировка критериев экологического состояния почв с учётом выявления наибольшей чувствительности их свойств к определённым антропогенным нагрузкам. К настоящему времени разработаны и опробованы многочисленные критерии и методы оценки экологического состояния почв. Исследователи используют разные показатели их физических, химических и биологических свойств [Некоторые критерии ... , 2006; Determining soil indicators ... , 2014; Selection of biological ... , 2016]. Тем не менее данных о степени устойчивости почв недостаточно, и территориально они представлены крайне неравномерно. В то же время использование широкого перечня показателей при оценке устойчивости почв для практических целей достаточно сложно, затрудняет сбор и обработку данных и не всегда является целесообразным [Ludwig, Wilmes, Schrader, 2018].

Выделяют три основных типа деградации почв: физическую, химическую и биологическую [Деградация и охрана почв, 2002]. В каждой группе отмечаются разные виды воздействий и источников загрязнения, приводящие к ухудшению почвенных функций. К деградационным процессам, вызывающим воздействие комбинированного характера, относится рекреационная нагрузка. Почвы, подверженные рекреационной нагрузке, испытывают

изменения, связанные с нарушением почвенного профиля, уменьшением мощности органогенных горизонтов, изменением физических, химических свойств и биоты.

Актуальность исследований экологического состояния почв рекреационных территорий с последующей оценкой их экологической устойчивости обусловлена активизацией туристической деятельности в зонах, обладающих высокой привлекательностью. К одной из таких зон относится восточное побережье оз. Байкал. Байкальский регион ежегодно посещают более 2 млн туристов, и их число стремительно растёт. Ширина подпираемой горными хребтами узкой полосы восточного побережья оз. Байкал едва достигает первых километров, поэтому основная нагрузка приходится на прибрежную территорию.

Усиливающаяся рекреационная деградация почв в прибрежных зонах всё чаще становится предметом исследований во всем мире [Zhevelev, Sarah, Oz, 2013; Korkanc, 2014; Sarah, Zhevelev, Oz, 2016; Kuznetsov, Ryzhova, Stoma, 2019]. Предложенное Европейской комиссией понятие «прибрежная территория», или «прибрежная зона», указывает на особую интенсивность происходящего в достаточно хрупкой пограничной полосе между гидросферой и литосферой взаимодействия человека с окружающей средой. Здесь наблюдается ускорение истощения природных ресурсов и деградации окружающей среды.

Ранее полученные нами результаты позволили диагностировать типы почв разных участков восточного побережья Байкала, выявить их основные генетические свойства [Генетические особенности ... , 2014; Балсанова, Гынинова, 2018], однако специальные исследования по их рекреационной деградации практически не проводились. Имеющиеся данные касаются лишь оценок содержания тяжёлых металлов, и их наблюдаемая разность обусловлена ареалом исследования, генетическим типом почв, реакцией среды и особенностями геохимических барьеров [Итоги мониторинга ... , 2003; Содержание микроэлементов ... , 2012; Почвы дельты ... , 2012].

Целью настоящей работы является оценка экологической устойчивости почв рекреационных зон восточного побережья оз. Байкал.

Материалы и методы

Объектом исследований послужили почвы в пределах средней части восточного побережья Байкала от Баргузинского залива до Усть-Селенгинской впадины. Пробные площади заложены в пределах популярных рекреационных территорий на ключевых участках в окрестностях следующих населённых пунктов: Глинка, Усть-Баргузин, Максимиха, Горячинск, Турка, Сухая, Лемасово, Большая Речка. Почвенные разрезы закладывались на условно не нарушенных (контрольных) рекреацией территориях с общим проективным покрытием растительности 80–100 %. Для выявления критических показателей почв разрезы закладывались на площадях третьей стадии дигрессии, выявленных ранее [Балсанова, Гынинова, 2018]. Морфологическая диагностика и классифицирование почв проводились согласно принципам, изложенным в

современной классификации почв России [Классификация и диагностика ... , 2004] и Мировой реферативной базе почвенных ресурсов [World Reference Base ... , 2022]. В почвенных образцах проводилось определение таких показателей, как кислотность, содержание гумуса, обменные катионы кальция и магния, подвижные фосфор и калий согласно общепринятым в почвоведении методам: рН водной и солевой суспензии – потенциометрическим; обменные катионы Ca^{2+} ; Mg^{2+} – комплексонометрическим; содержание органического углерода по Тюрину; подвижные фосфор, калий по Кирсанову с фотоколориметрическим окончанием [Теория и практика ... , 2006]. Основные показатели физических свойств определены методом трубок (водопроницаемость), термостатно-весовым с помощью бура (плотность почв ненарушенного сложения) [Вадюнина, Корчагина, 1986]. Гранулометрический состав определялся лазерно-дифракционным методом на анализаторе размера частиц Analysette-22 NeXT (Fritsch GmbH, Германия).

Результаты и обсуждение

Рельеф восточной береговой зоны Байкала на ключевых участках равнинный, аккумулятивный, террасированный с преобладанием абразионно-аккумулятивных берегов. Последние заняты низкими террасами песчано-галечного и аллювиально-пролювиального составов, подверженными влиянию абразионно-эоловых процессов и тектонической подвижности.

На фоне общего резко континентального типа климата в регионе прибрежная территория Байкала отличается чертами приморского с относительно тёплым и влажным микроклиматом, связанного с термическим влиянием водной толщи озера. Средняя многолетняя годовая температура воздуха составляет $-1,6^{\circ}\text{C}$, а годовое количество осадков на побережье может превышать 500 мм. Летний период короткий, тёплый и дождливый во второй половине со среднемесячной температурой июля $17,1^{\circ}\text{C}$. Зима холодная, продолжительная и малоснежная со средней температурой января $-20,5^{\circ}\text{C}$ [Атлас Байкала, 1993]. Растительность на террасах представлена преимущественно сосняками рододендроновой группы [Syntaxonomy of forest vegetation ... , 2019], в Усть-Селенгинской впадине – берёзово-ивовым лесом, ивово-осоковым разнотравьем. Побережья озера ниже границы лесного пояса заняты псаммофитной растительностью со значительным числом эндемичных видов [Дулепова, 2016].

Потенциал рекреационных ресурсов береговой зоны довольно высок. Здесь отмечаются следующие типы рекреационного природопользования: круглогодичный массовый отдых и санаторно-курортное лечение, бальнеотерапия водами, пляжно-бивуачная рекреация, рыбная ловля, пешие, водные, автотранспортные и лыжные туристические маршруты. Организация стихийных стоянок, прокладка автомобильных дорог, многочисленных троп и тропинок приводят к существенному изменению почвенно-растительного покрова.

Морфологическая и физико-химическая характеристика почв. По результатам проведённых исследований выявлены почвы, относящиеся к разной типовой принадлежности. В самой северной точке (ключевой участок

Глинка) почвы представлены бурозёмами (Cambisols). Они занимают предгорную лесную часть на расстоянии не более 300 м от береговой линии Байкала. Формируются под мохово-разнотравной растительностью с кедровым стлаником на суглинистых отложениях. Рядом проходит туристический маршрут «Тропа испытаний» по восхождению на хребет Святой Нос. В морфологическом строении этих почв диагностируется серогумусовый горизонт с непрочно-комковатой структурой и рыхлым сложением. Залегающий под ним структурно-метаморфический горизонт имеет неоднородную окраску от желтоватых до охристо-буроватых тонов. Горизонт отличается уплотнённым сложением и выраженной ореховато-комковатой структурой.

Ключевые участки Усть-Баргузин, Максимиха, Горячинск, Турка и Сухая представлены почвами альфегумусового ряда: дерново-подзолы, подзолы, дерново-подбуры (Albic Podzols, Podzols, Leptosol). Почвы залегают на песчаных отложениях. Подзолы формируются сочетанием подстильно-торфяного (до 10 см), подзолистого (5–10 см) и альфегумусового горизонтов. Дерново-подзолы отличаются присутствием серогумусового и маломощного подзолистого горизонтов (до 5 см). Слабая оструктуренность почвенной массы, рыхлое сложение верхних и уплотнённое нижних горизонтов, легкий гранулометрический состав с максимальным содержанием илистой фракции (3 %), короткий почвенный профиль являются характерными признаками этих почв.

В местности Лемасово диагностируются два типа почв: аллювиальные слоистые (Haplic Fluvisols) из отдела слабообразованных синлитогенного ствола на галечно-гравийном побережье и аллювиальные торфяно-глеевые почвы (Gleyi-Histic Fluvisols). Последние формируются под лугово-травянистой и кустарниковой растительностью в условиях избыточного грунтового увлажнения в понижениях рельефа. В морфологическом строении аллювиальных слоистых почв выделяется влажный, маломощный (до 2 см) гумусово-слабообразованный горизонт тёмно-бурого цвета, который залегают непосредственно на аллювиальных песчаных отложениях разного гранулометрического состава. В профиле аллювиальных торфяно-глеевых почв близкое залегание грунтовых вод способствует оглеению. Под слоем сухой ветоши развит маломощный торфяно-песчаный горизонт. Он представляет собой рыхлую слабообразованную торфяную толщу с примесью большого количества песчаного материала. Ниже залегают оглеённый песчаный горизонт C_g с маломощными погребёнными оторфованными прослоями среди песчаного уплотнённого материала, сменяющийся оглеённым неоднородным аллювием.

В окрестностях с. Большая Речка под берёзово-ивовым лесом залегают аллювиальные серогумусовые почвы (Umbric Fluvisols), в морфологическом строении которых серогумусовый горизонт мощностью до 9 см буровато-серого цвета с порошисто-комковатой структурой. Ниже находится переходный горизонт буроватой окраски, залегающий на горизонте неоднородного аллювия с большим количеством камней и гальки.

Под бруснично-рододендроново-сосново-берёзовым лесом с богатым лесным разнотравьем в местности Сухая вскрыт профиль дерново-подбура.

Морфологическое строение почвы включает подстилку мощностью 10 см, гумусовый горизонт порошисто-комковатой структуры, скреплённой корнями растений. Далее он сменяется минеральным горизонтом желтовато-бурых тонов, залегающим на песчаных отложениях.

Гранулометрический состав почв варьирует от рыхлопесчаного в аллювиальных слоистых почвах до среднесуглинистого в бурозёмах (рис. 1).

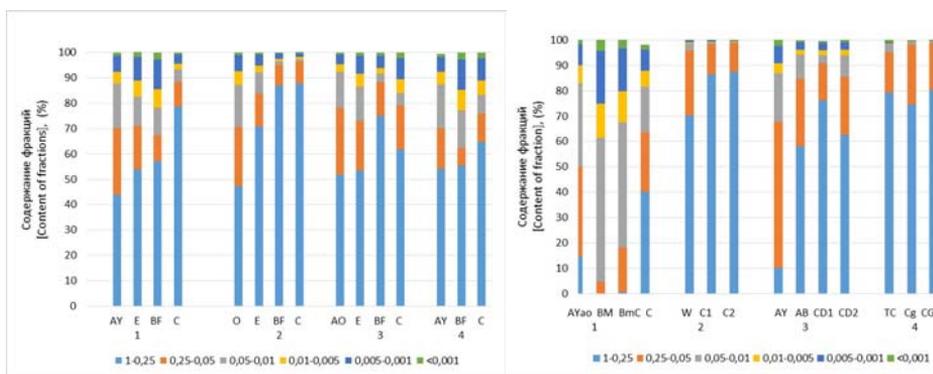


Рис. 1. Гранулометрический состав почв рекреационных зон восточного побережья оз. Байкал: а – почвы альфегумусового ряда: 1 – дерново-подзол (Усть-Баргузин), 2 – подзол (Максимиха), 3 – подзол (Турка), 4 – дерново-подбур (Сухая); б – бурозём и аллювиальные почвы: 1 – бурозём (Глинка), 2 – аллювиальная слоистая (Лемасово), 3 – аллювиальная серогумусовая (Бол. Речка), 4 – аллювиальная торфяно-глеевая (Лемасово)

Метаморфический горизонт бурозёмов отличается повышенным содержанием илистой и пылевой фракций. Увеличение содержания фракции ила характерно и для других «прибайкальских» бурозёмов, описанных ранее нами [Балсанова, Найданов, Мангатаев, 2017], а также Ц. Х. Цыбжитовым и В. И. Убугуновой [Цыбжитов, Убугунова, 1992]. Данные химического анализа всех почв показывают кислую до нейтральной реакцию среды (табл. 1). По количеству гумуса почвы характеризуются как очень низким (1,1 %), так и высоким (8,9 %) уровнем содержания. Для всех почв характерны резкое снижение содержания гумуса с глубиной, преобладание катионов кальция в составе поглощённых оснований и преимущественно низкая обеспеченность элементами питания. Показатель ёмкости катионного обмена (ЕКО) в почвах соответствует градации «низкая», за исключением органогенного горизонта аллювиальной серогумусовой почвы.

Изменения почв при рекреационной нагрузке, указывающие на сильную степень деградации, отражены в данных по критическим показателям (см. табл. 1, 2). Показатели химических свойств часто носят неоднозначный характер, однако общие тенденции, выраженные в снижении кислотности, уменьшении или, наоборот, увеличении содержания гумуса, ЕКО, подвижных форм фосфора и калия в различных типах почв, все же выявляются.

Противоречивые показатели содержания органического вещества в сторону уменьшения или увеличения зависят от стадии и интенсивности рекреационной нагрузки [Kuznetsov, Ryzhova, Stoma, 2019; Impacts of visitors ... ,

2005]. При начальных стадиях нагрузки отмечается повышение его содержания за счёт механического вдавливания измельчённых растительных остатков и накопления, а при более длительном воздействии рекреации – его снижение, т. е. изменение почвенных показателей может происходить в разных временных масштабах и влиять на скорость изменения значений [Фрид, 2008].

Таблица 1

Физико-химические характеристики почв
рекреационных зон восточного побережья оз. Байкал*

| Горизонт, глубина, см | pH _{H2O} | Гумус, % | Обменные катионы, мг-экв/100 г. | | Подвижные формы, мг/100 г | | ЕКО, мг- экв/100 г |
|--|-------------------|----------|------------------------------------|------------------|-------------------------------|------------------|--------------------------|
| | | | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | P ₂ O ₅ | K ₂ O | |
| Дерново-подзол, ключевой участок Усть-Баргузин | | | | | | | |
| AY (0–7) | 4,7/4,1 | 2,6/1,6 | 3,3/4,4 | 0,9/2,9 | 4,8/7,3 | 7,5/7,5 | 11,5/17,4 |
| E (7–11) | 4,8/4,4 | 0,6/0,5 | 2,7/2,1 | 1,3/2,1 | 4,3/2,3 | 4,5/4,5 | 8,7/7,7 |
| BF (11–36) | 5,4/5,3 | 0,7/0,3 | 2,8/1,8 | 0,9/1,8 | 3,3/3,8 | 4,5/4,5 | 6,8/4,8 |
| C (36–50) | 5,8/5,6 | 0,5/0,2 | 2,2/0,3 | 1,5/2,3 | 12,5/12,0 | 4,5/4,5 | 4,9/3,4 |
| Подзол, ключевой участок Максимиха | | | | | | | |
| O (0–10) | 3,6/5,2 | 1,0/1,7 | 4,2/5,6 | 1,0/1,9 | 8,0/11,3 | 12,1/15,1 | 12,6/13,9 |
| E (10–20) | 4,7/4,5 | 0,4/0,5 | 2,2/2,3 | 1,1/0,3 | 12,3/10,3 | 4,5/4,5 | 6,9/7,2 |
| BF (20–30) | 6,2/5,6 | 0,4/0,4 | 2,1/1,5 | 1,0/1,0 | 3,5/8,0 | 4,5/4,5 | 5,4/5,0 |
| C (30–80) | 6,7/6,0 | 0,4/0,1 | 2,3/2,2 | 0,9/0,8 | 12,3/7,8 | 4,5/4,5 | 4,3/4,3 |
| Подзол, ключевой участок Турка | | | | | | | |
| AO (0–8/10) | 4,2/4,5 | 0,6/1,2 | 3,3/11,3 | 1,1/3,8 | 2,5/2,8 | 7,5/15,1 | 9,4/19,8 |
| E (8/10–13) | 4,2/4,6 | 1,6/0,7 | 2,2/2,5 | 1,7/1,7 | 2,0/1,8 | 7,5/4,5 | 9,9/8,5 |
| BF (13–35) | 5,2/5,6 | 0,7/0,5 | 1,8/2,4 | 1,1/1,4 | 3,5/1,5 | 7,5/4,5 | 4,9/5,1 |
| C (35–60) | 5,6/5,6 | 0,4/0,1 | 1,9/1,5 | 1,1/1,4 | 7,8/13,0 | 4,5/4,5 | 3,7/3,1 |
| Дерново-подбур, ключевой участок Сухая | | | | | | | |
| AY (0–21) | 5,0/5,3 | 3,2/4,9 | 4,5/5,7 | 3,6/3,8 | 7,0/3,3 | 21,1/9,0 | 9,8/16,2 |
| BF (21/25–47) | 5,3/5,3 | 0,6/0,5 | 2,7/3,0 | 3,3/2,2 | 3,5/5,3 | 6,0/4,5 | 8,4/7,0 |
| C (47–56) | 5,7/5,5 | 0,3/0,4 | 0,4/2,2 | 4,1/6,7 | 2,8/2,3 | 6,0/6,0 | 5,3/10,7 |
| Бурозём, ключевой участок Глинка | | | | | | | |
| AУао (6/7–14) | 5,2/5,5 | 8,9/2,2 | 24,1/14,1 | 1,7/1,4 | 14,5/10,8 | 69,3/53,3 | 32,6/18,5 |
| ВМ (14–65) | 6,0/6,1 | 0,4/0,3 | 17,6/11,3 | 6,8/6,7 | 2,0/4,3 | 21,1/20,0 | 26,2/19,2 |
| ВмС (70–95) | 6,7/6,7 | 0,5/0,5 | 13,1/14,2 | 6,0/5,8 | 95,0/92,8 | 3,6/3,5 | 20,3/20,1 |
| C (95–110) | 6,7/6,7 | 0,2/0,2 | 6,0/6,2 | 2,0/2,1 | 83,6/83,3 | 3,6/3,5 | 8,4/8,5 |
| Аллювиальная слоистая, ключевой участок Лемасово | | | | | | | |
| W (0–0,5/1) | 6,3/6,4 | 1,4/0,9 | 5,4/5,8 | 3,6/1,7 | 18,3/9,8 | 27,1/15,1 | 10,3/8,7 |
| C1 (0,5/1–10) | 6,6/6,7 | 0,3/0,2 | 2,6/1,7 | 1,6/5,0 | 11,8/13,3 | 4,5/3,0 | 4,3/7,6 |
| C2 (10–40) | 6,8/6,8 | 0,2/0,1 | 2,0/0,9 | 0,7/2,2 | 7,0/13,8 | 4,5/3,0 | 3,0/3,5 |
| Аллювиальная серогумусовая, ключевой участок Большая Речка | | | | | | | |
| AY (5–9) | 5,8/5,5 | 7,2/7,0 | 30,0/18,8 | 5,0/4,5 | 2,5/3,3 | 58,7/42,2 | 38,7/28,4 |
| AB (10–17) | 6,3/5,9 | 1,5/3,3 | 7,8/8,0 | 2,1/3,0 | 9,8/1,0 | 6,0/15,0 | 11,3/15,2 |
| СД 1(17–32) | 6,7/6,5 | 0,3/0,3 | 2,8/2,2 | 3,3/2,6 | 14,8/12,0 | 4,5/12,1 | 6,6/5,0 |
| СД 2(32–46) | 5,5/6,4 | 1,1/0,8 | 4,7/5,2 | 3,8/3,3 | 17,3/7,8 | 5,0/6,0 | 4,6/9,6 |
| Аллювиальная торфяно-глеевая, ключевой участок Лемасово | | | | | | | |
| ТС (3–8) | 5,4/5,8 | 1,1/1,5 | 4,4/2,3 | 2,2/2,7 | – | – | 10,2/8,3 |
| Cg (8–28) | 6,1/6,0 | 0,3/0,4 | 2,5/0,4 | 1,7/2,9 | 11,25/7,3 | 3,0/3,0 | 5,1/4,4 |
| CG (28–45) | 5,7/6,1 | 0,2/0,2 | 2,5/2,2 | 1,3/1,5 | 6,5/13,3 | 3,0/3,0 | 4, ¼/3 |

Примечание для табл. 1 и 2: * – показатель фоновый / показатель критический.

Таблица 2

Физические и морфологические показатели почв рекреационных зон восточного побережья оз. Байкал

| Горизонт, глубина, см | Плотность, г/см ³ | Коэффициент фильтрации, мм/час | Физическая глина, % | Проективное покрытие участка травами, % | Мощность подстилки, см | Мощность гумусированной толщи, см |
|--|------------------------------|--------------------------------|---------------------|---|------------------------|-----------------------------------|
| Дерново-подзол, ключевой участок Усть-Баргузин | | | | | | |
| AУ (0–7) | 0,6/0,9 | 20,4/4,8 | 17,6/5,3 | 80/3 | 2/0 | 5/1 |
| E (7–11) | 1,1/1,2 | 13,7/3,9 | 12,4/3,9 | | | |
| Подзол, ключевой участок Максимиха | | | | | | |
| O (0–10) | 0,4/-0,9 | 30,2/6,4 | 12,9/4,7 | 100/0 | 10/0 | 3/0 |
| E (10–20) | 0,9/1,2 | 13,6/8,4 | 7,9/6,9 | | | |
| Подзол, ключевой участок Турка | | | | | | |
| AO (0–8/10) | 0,5/0,9 | 27,9/8,2 | 13,6 /7,4 | 100/1 | 8–10/2–5 | 2–3/1 |
| E (8/10–13) | 1,0/1,1 | 28,3/20,5 | 7,61/21,6 | | | |
| Дерново-подбур, ключевой участок Сухая | | | | | | |
| AУ (0–21) | 0,6/1,1 | 41,8/5,6 | 15,1/37,2 | 80–100/0–5 | 10/0 | 11–14/10 |
| Бурозём, ключевой участок Глинка | | | | | | |
| AУao (6/7–14) | 0,5/1,2 | 12,7/3,2 | 16,9/14,3 | 70/5 | 7/2 | 7/4 |
| BM (14–65) | 1,3/1,7 | 2,2/1,3 | 38,5/40,2 | | | |
| Аллювиальная слоистая, ключевой участок Лемасово | | | | | | |
| W (0–0,5/1) | 0,6/1,0 | 32,1/25,8 | 2,7/1,6 | 5–10/0 | – | 1,5/0,3 |
| C1 (0,5/1–10) | 1,1/1,6 | 19,4/17,3 | 0,4/1,6 | | | |
| Аллювиальная серогумусовая, ключевой участок Большая Речка | | | | | | |
| AУ (5–9) | 0,6/1,2 | 11,4/3,2 | 13,9/10,9 | 80–100/0–5 | – | 9/1,5 |
| AB(10–17) | 0,7/1,4 | 22,1/2,7 | 7,3/8,7 | | | |
| Аллювиальная торфяно-глебовая, ключевой участок Лемасово | | | | | | |
| TC (3–8) | 0,6/0,9 | 51,3/10,5 | 4,7/2,5 | 80–100/40 | – | 8/2–5 |
| Cg (8–28) | 1,0/1,1 | 27,1/10,5 | 1,5/0,6 | | | |

Показатель плотности верхних горизонтов ненарушенных почв (см. табл. 2) соответствует показателям, характерным для органических горизонтов. Нижележащие горизонты входят в диапазон оптимальных значений для песчаных и супесчаных почв. Все почвы обладают излишне высоким и провальным коэффициентом фильтрации, за исключением горизонта BM в бурозёме, где значение соответствует категории «наилучшее».

Устойчивость почв. Концепция устойчивости экосистем используется широко, и существует несколько различных моделей объяснений её механизма [Spatially explicit assessment ... , 2014]. В том числе предлагаются различные формулировки термина «устойчивость почв». Устойчивостью почв называют поддержание функциональной целостности почвы [Ludwig, Wilmes, Schrader, 2018]. В понимании И. Н. Росновского «устойчивость – это свойство почвы как компонента экосистемы сохранять собственные свойства, параметры режимов, соотношение фаз и структурную организацию в некоторых пределах, определяемых естественной вариабельностью в границах её классификационного выдела в условиях действующих внешних возмущений различной (в том числе и антропогенной) природы» [Росновский, 2001]. Большинство исследователей устойчивость почв к деградации понимается как способность противостоять негативным воздействиям, поддержи-

вать имеющийся режим функционирования и относительное постоянство отдельных характеристик, восстанавливаться после их прекращения [Лебедева, Тонконогов 2002]. При оценке устойчивости почвы возможно оценивать степень деградации и её составляющие (механическую, химическую, физическую, биологическую) с учётом количественных и скоростных показателей [Некоторые критерии ... , 2006].

Количественные методы определения степени устойчивости почв продолжают разрабатываться и в настоящее время. Поскольку устойчивость является измеримым биоиндикатором, то для её оценки требуются контрольные и пороговые значения различных параметров почв, что представляет собой текущую глобальную задачу. Для этого необходимо разработать соответствующие показатели [Ludwig, Wilmes, Schrader, 2018]. В минимальном рекомендуемом перечне показателей почв для мониторинга предложены наиболее актуальные физические, химические и биологические индикаторы почвы: морфология почвы, плотность, мощность верхнего горизонта, рН, содержание органического вещества, фосфора, соотношение C/N, концентрация опасных элементов и гидравлические свойства [Monitoring soil ... , 2018]. А. С. Фёдоров выделяет следующие параметры устойчивости почв: гранулометрический и минералогический состав, мощность гумусового горизонта, содержание гумуса в гумусовом горизонте (%) и запасы гумуса в верхних 20 см (т/га), тип гумуса по соотношению гуминовых и фульвокислот, рН, Eh, содержание подвижных форм химических элементов и аморфных гидроксидов железа и алюминия, наличие карбонатов [Федоров, 2008]. В. В. Снакин с соавторами среди перечня показателей уделяют внимание положению в ландшафте, крутизне склонов, водному режиму, мощности гумусового горизонта, ЕКО [Оценка состояния ... , 1992]. Таким образом, оценка устойчивости почв носит интегральный характер, а исследователей объединяет схожесть во мнениях о том, что показатели должны быть представлены на основе обобщения и анализа эмпирических данных с учётом чувствительности к воздействию антропогенных факторов и природных особенностей региона.

Предложенные нами показатели отражают физические и химические свойства почв. Критические показатели данных свойств указывают на высокую степень деградации, отмечающуюся в последней выделенной нами ранее третьей стадии рекреационной дигрессии исследованных почв [Балсанова, Гынинова, 2018]. Поскольку воздействие рекреации проявляется до глубины 10–15 см, представленные данные касаются верхних горизонтов. Выбор показателей физико-химических свойств обусловлен их наибольшей информативностью и чувствительностью к степени рекреационной нагрузки. В качестве показателей нами использованы: рН, содержание гумуса, обменные катионы, подвижные формы фосфора и калия, ЕКО, плотность, коэффициент фильтрации, содержание физической глины, процент покрытия участка травянистой растительностью, мощности подстилки и гумусированной толщи. Таким образом, совокупность показателей с учётом их вклада в общую оценку представляет собой интегральную оценку устойчивости почв.

Для количественной оценки устойчивости почв к рекреационному воздействию нами был использован балльный рейтинг различных свойств. Баллы присвоены в соответствии с группировками почв на основе работ разных исследователей с дополнениями и корректировкой анализа собственных данных автора. Суммарная экологическая устойчивость оценена по шести критериям химических и шести показателям физических и морфологических свойств (табл. 3).

Таблица 3

Рейтинговые показатели балльной оценки экологической устойчивости почв рекреационных зон восточного побережья оз. Байкал

| Показатели* | Баллы | | | | |
|--|-------|---------|---------|----------|---------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Химические показатели | | | | | |
| pH _{вод} ¹ | 2–3 | 3–4 | 4–5 | 5–6; 7–8 | 6–7 |
| Содержание гумуса, % ² | < 2 | 2–4 | 4–6 | 6–10 | > 10 |
| Сумма Са+Mg ¹ | < 10 | 11–20 | 21–30 | 31–40 | > 40 |
| Содержание подвижного фосфора, мг/100 г ³ | < 2,5 | 2,5–5 | 5–10 | 10–15 | > 15 |
| Содержание подвижного калия, мг/кг ³ | < 4 | 4–8 | 8–12 | 12–17 | > 17 |
| ЕКО, мг-экв/100 г почвы ⁴ | < 10 | 10–20 | 21–30 | 31–40 | > 40 |
| Физические показатели | | | | | |
| Плотность, г/куб. см ⁵ | < 0,4 | 0,4–0,5 | 0,6–1,0 | 1,1–1,3 | > 1,3 |
| Коэффициент фильтрации, мм/час ⁶ | > 500 | < 30 | 70–30 | 100–70 | 500–100 |
| Содержание физической глины, % ⁵ | < 3 | 4–10 | 11–20 | 21–30 | > 30 |
| Морфологические показатели | | | | | |
| Проективное покрытие участка травами, % ⁵ | 1–10 | 11–30 | 31–50 | 51–80 | 81–100 |
| Мощность подстилки, см ⁵ | 0–1 | 2–3 | 4–6 | 7–8 | 9–10 |
| Мощность гумусированной толщи, см ⁵ | < 2 | 3–5 | 6–10 | 11–18 | > 18 |

Примечание: * – выделены в соответствии с группировками почв по [Мартынова, Пушкарева, 2019]¹; [Орлов, Гришина, 1981]²; [Ганжара, Борисов, Байбеков, 2002]³; [Система оценки ... , 2014]⁴; (данные автора)⁵; [Коркина, 2015]⁶.

Использование пятибалльной системы даёт возможность оценить устойчивость почв по предложенным нами показателям с максимальным количеством баллов 60, распределение которых соответствует следующим градациям почвы:

- 55–60 – с высокой устойчивостью;
- 45–54 – со средней устойчивостью;
- 35–44 – относительно устойчивые;
- 25–34 – слабой устойчивости;
- ниже 25 – очень слабой устойчивости.

В соответствии с данными градациями исследованные почвы распределились следующим образом: дерново-подбуры, аллювиальные серогумусовые и бурозёмы с суммарным баллом 37–42 вошли в категорию почв относительно устойчивых; дерново-подзолы, подзолы, аллювиальные слоистые и аллювиальные торфяно-глеевые с суммарным баллом 27–29 – в категорию

почв слабой устойчивости. Слабая устойчивость исследованных почв обусловлена их формированием на песчаных отложениях и генетическими свойствами. Лёгкий гранулометрический состав, короткопрофильность, маломощные органогенные горизонты и неблагоприятные физико-химические свойства повышают степень их уязвимости.

Заключение

Формирующиеся в прибрежной полосе почвы туристических зон восточного побережья оз. Байкал подвержены активному рекреационному воздействию. На трансформацию свойств почв указывают их изменения, отражающиеся в критических показателях. Предложенная количественная характеристика различных параметров почв с использованием балльного рейтинга позволила оценить их устойчивость. Изученные почвы распределились по двум категориям: «почвы слабой устойчивости» и «почвы относительно устойчивые». Наиболее высокие баллы присвоены аллювиальным серогумусовым почвам (40 баллов) и бурозёмам (42 балла). К самым слабоустойчивым почвам отнесены дерново-подзолы и аллювиальные торфяно-глеевые (27 баллов). В рамках усиливающегося рекреационного освоения региона своевременная оценка устойчивости почв позволит уберечь их от развития деградационных процессов и способствовать оптимальному использованию территории.

Список литературы

- Атлас Байкала. М. : Роскартография, 1993. 160 с.
- Балсанова Л. Д., Гынинова А. Б. Рекреационное воздействие на морфологические и физико-химические свойства почв Усть-Селенгинской впадины // География и природные ресурсы. 2018. № 2. С. 80–86. [https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2018-2\(80-86\)](https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2018-2(80-86))
- Балсанова Л. Д., Найданов Б. Б., Мангатаев А. Ц. Элементы почвенной катены полуострова Святой Нос (Восточное Прибайкалье) // Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН. 2017. № 1. С. 44–51.
- Вадюнина А. Ф., Корчагина З. А. Методы исследования физических свойств почв. М. : Агропромиздат, 1986. 416 с.
- Ганжара Н. Ф., Борисов Б. А., Байбеков Р. Ф. Практикум по почвоведению. М. : Агроконсалт. 2002. 280 с.
- Генетические особенности почв бассейна озера Котокельское (Восточное Прибайкалье) / Л. Д. Балсанова, А. Б. Гынинова, Ц. Ц. Цыбикдоржиев, Б.-М. Н. Гончиков, Е. Ю. Шахматова // Почвоведение. 2014. № 7. С. 1–9. <https://doi.org/10.7868/S0032180X14070041>
- Деградация и охрана почв. М. : Изд-во Моск. гос. ун-та, 2002. 654 с.
- Дулепова Н. А. Растительность песчаных побережий озера Байкал // Растительность России. 2016. № 29. С. 46–66. <https://doi.org/10.31111/vegrus/2016.29.46>
- Итоги мониторинга тяжелых металлов в объектах природной среды на территории бассейна озера Байкал и анализ онкологических новообразований у населения Республики Бурятия / Т. Н. Чимитдоржиева, Г. Д. Чимитдоржиева, Е. Э. Валова, Б. Б. Цыденова // Сибирский медицинский журнал. 2003. Т. 41, № 6. С. 76–80.
- Коркина Е. А. Самовосстановление нарушенных техногенезом почв Среднего Приобья. Нижневартовск : Изд-во Нижневарт. гос. ун-та, 2015. 158 с.
- Классификация и диагностика почв. Смоленск : Ойкумена, 2004. 342 с.
- Лебедева И. И. Тонконогов В. Д. Деградация почв и устойчивость почв к деградации: общие представления и понятия // Устойчивость почв к естественным и антропогенным воздействиям. М. : Изд-во Почвенного ин-та им. В. В. Докучаева, 2002. С. 9.

Мартынова Н. А., Пушкарева В. С. Экологическая устойчивость почв лесных ландшафтов г. Иркутска и его окрестностей // Почвы и окружающая среда. 2019. Т. 2, № 1. С. 1–14. <https://doi.org/10.31251/pos.v2i1.48>

Некоторые критерии и методы оценки экологического состояния почв в связи с озеленением городских территорий / А. В. Смагин, Н. А. Азовцева, М. В. Смагина, А. Л. Степанов, А. Д. Мягкова, А. С. Курбатова // Почвоведение. 2006. № 5. С. 603–615.

Орлов Д. С., Гришина Л. А. Практикум по химии гумуса. М. : Изд-во МГУ, 1981. 272 с.

Оценка состояния и устойчивости экосистем / В. В. Снакин, В. Е. Мельченко, Р. О. Бутовский, Л. И. Воронцова, Н. П. Васильева, А. Л. Ресин, И. О. Алябина, С. С. Барина, Л. Н. Ербанова, Н. И. Кочетова, П. П. Кречетов, Г. А. Ломакина, Л. В. Моргун, М. В. Головина, Г. С. Барабанова. М. : Ин-т охраны природы, 1992. 128 с.

Почвы дельты реки Селенги (генезис, география, геохимия) / А. Б. Гынинова, С. А. Шоба, Л. Д. Балсанова, Б. Д. Гынинова. Улан-Удэ : Изд-во БНЦ СО РАН, 2012. 344 с.

Росновский И. Н. Устойчивость почв в экосистемах как основа экологического нормирования. Томск : Изд-во Ин-та оптики атмосферы СО РАН, 2001. 251 с.

Система оценки и нормирования антропогенной нагрузки для формирования экологически сбалансированных агроландшафтов / ред. Н. П. Масютенко. Курск : Изд-во ВНИИЗиЗиПЭ, 2014. 187 с.

Содержание микроэлементов и железа в почвах и растениях бассейна озера Котокельское (Западное Забайкалье) / С. Б. Сосорова, А. Б. Гынинова, М. Г. Меркушева, Л. Л. Убугунов, Л. Н. Болонева // Почвоведение. 2012. № 4. С. 429–438.

Теория и практика химического анализа почв / ред. Л. А. Воробьева. М. : ГЕОС, 2006. 400 с.

Федоров А. С. Устойчивость почв к антропогенным воздействиям. СПб. : Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2008. 204 с.

Фрид А. С. Современное состояние вопроса о нормировании статистики и динамики показателей почвенных свойств // Агрохимия. 2008. № 8. С. 5–12.

Цыбжитов Ц. Х., Убугунова В. И. Генезис и география таежных почв бассейна озера Байкал. Улан-Удэ : Бурят. кн. изд-во, 1992. 237 с.

Яковлев А. С., Евдокимова М. В. Экологическое нормирование почв и управление их качеством // Почвоведение. 2011. № 5. С. 582–586.

Determining soil indicators for soil sustainability assessment using principal component analysis of Astan Quds- east of Mashhad- Iran / M. Ghaemi, A. R. Astaraei, H. Emami, M. M. Nassiri, S. H. Sanacinejad // J. Soil Sci. Plant Nutr. 2014. Vol. 14, N 4. P. 987–1004. <https://doi.org/10.4067/S0718-95162014005000077>

Impacts of visitors on soil and vegetation of the recreational area “Nacimiento del Río Mundo” (Castilla-la Mancha, Spain) / M. Andrés-Abellán, J. B. Del Álamo, T. Landette-Castillejos, F. R. López-Serrano, F. A. García-Morote, A. Del Cerro-Barja // Env. Monit. Assess. 2005. Vol. 101. P. 55–67.

Kuznetsov V. A., Ryzhova I. M., Stoma G. V. Transformation of Forest Ecosystems in Moscow Megapolis under Recreational Impacts // Eurasian Soil Sc. 2019. Vol. 52. P. 584–592. <https://doi.org/10.1134/S1064229319050065>

Korkanç S. Y. Impacts of recreational human trampling on selected soil and vegetation properties of Aladag Natural Park, Turkey // Catena. 2014. Vol. 113. P. 219–225. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2013.08.001>

Ludwig M., Wilmes P., Schrader S. Measuring soil sustainability via soil resilience // Sci. Total Environ. 2018. Vol. 626. P. 1484–1493. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.043>

Monitoring soil for sustainable development and land degradation neutrality / G. Tóth, T. Hermann, M. R. da Silva, L. Montanarella // Env. Monit. Assess. 2018. Vol. 190, Is. 57. 4 p. <https://doi.org/10.1007/s10661-017-6415-3>

Sarah P., Zhevelev H., Oz A. Human activities modify soil properties in urban parks: a case study of Tel Aviv-Jaffa // J. Soils Sedim. 2016. Vol. 16. P. 2538–2547. <https://doi.org/10.1007/s11368-016-1458-6>

Selection of biological indicators appropriate for European soil monitoring / D. Stone, K. Ritz, B. S. Griffiths, A. Orgiazzi, R. E. Creamer // *Appl. Soil Ecol.* 2016. Vol. 97. P. 12–22. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2015.08.005>

Spatially Explicit Assessment of Ecosystem Resilience: An Approach to Adapt to Climate Changes / H. Yan, J. Zhan, B. Liu, W. Huang, Z. Li. // *Advances in Meteorology.* 2014. 2014. Vol. 2014. 98428, 9 p. <https://doi.org/10.1155/2014/798428>

Syntaxonomy of forest vegetation of the central zone of the Lake Baikal eastern coast / E. Brianskaia, K. Schmieder, R. Boecker, A. Gyninova, L. Balsanova // *Tuexenia.* 2019. Vol. 39. P. 139–160. <https://doi.org/10.14471/2019.39.003>

World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th ed. USS Working Group WRB, 2022. Vienna, Austria.

Zhevelev H., Sarah P., Oz A. The Spatial Variability and Temporal Dynamics of Soil Properties as Affected by Visitors' Pressure in an Urban Park // *J. Environ. Protect.* 2013. Vol. 4, N 8. P. 52–64. <http://doi.org/10.4236/jep.2013.48A2007>

References

Atlas Baikala [Atlas of Baikal Lake]. Moscow, Roskartografija Publ., 1993, 160 p. (in Russian)

Balsanova L.D., Gyninova A.B. Rekreatsionnoe vozdeistvie na morfologicheskie i fiziko-khimicheskie svoistva pochv Ust'-Selenginskoi vpadiny [Recreation impact on morphological and physicochemical properties of soils of the Ust'-Selenga depression]. *Geogr. Nat. Resour.*, 2018, vol. 2, pp. 80-86. [https://doi.org/10.21782/GIPRO206-1619-2018-2\(80-86\)](https://doi.org/10.21782/GIPRO206-1619-2018-2(80-86)) (in Russian)

Balsanova L.D., Naydanov B.B., Mangatayev A.Ts. Jelementy pochvennoj kateny poluostrova Svjatoj Nos (Vostochnoe Pribajkal'e) [Elements of the soil catena of the Svyatoy Nos peninsula (East Transbaikal area)]. *Bull. North-East Sci. Cen.*, 2017, no. 1, pp. 44-51. (in Russian)

Vadjunina A.F., Korchagina Z.A. *Metody issledovanija fizicheskikh svoystv pochv* [Methods for studying the physical properties of soils]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1986, 416 p. (in Russian)

Ganzhara N.F., Borisov B.A., Baybekov R.F. *Praktikum po pochvovedeniyu* [Workshop on soil science]. Moscow, Agrokonsalt Publ., 2002, 280 p. (in Russian)

Balsanova L.D., Gyninova A.B., Tsybikdorzhiev Ts.Ts., Gonchikov B-M.N., Shakhmatova E.Y. Geneticheskie osobennosti pochv basseina ozera Kotokel'skoe (Vostochnoe Pribaikal'e) [Genetic features of soils in the basin of lake Kotokel, the Transbaikal region]. *Eurasian Soil Sci.*, 2014, vol. 47, is. 7, pp. 641-649. <https://doi.org/10.7868/S0032180X14070041> (in Russian)

Degradatsiya i okhrana pochv [Degradation and protection of soils]. Moscow, Moscow St. Univ. Publ., 2002, 654 p. (in Russian)

Dulepova N.A. Rastitel'nost' peschanyh poberezhij ozera Bajkal [Vegetation of sandy coasts of Lake Baikal]. *Rastitel'nost' Rossii* [Vegetation of Russia], 2016, no. 9, pp. 46-66. <https://doi.org/10.31111/vegrus/2016.29.46> (in Russian)

Chimitdorzhieva T.N., Chimitdorzhieva G.D., Valova E.E., Tsidenova B.B. *Itogi monitoringa tjazhelyh metallov v ob'ektah prirodnoj sredy na territorii bassejna ozera Bajkal i analiz onkologicheskikh novoobrazovaniy u naselenija Respubliki Burjatija* [Totals of heavy metals (HM) monitoring in objects of natural ambience on territory of the basin of Lake Baikal and their relationship with frequency of neoplasms among the population of Buryat Republic]. *Sibirskiy Meditsinskiy Zhurnal* [Siberian Med. J.], 2003, vol. 41, is. 6, pp. 76-80. (in Russian)

Korkina E.A. *Samovosstanovlenie narushennykh tekhnogenezom pochv Srednego Priob'ya* [Self-healing of the soils of the Middle Ob region disturbed by technogenesis]. Niznevartovsk, Niznevartovsk St. Univ. Publ., 2015, 158 p. (in Russian)

Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii [Russian Soil Classification System]. Smolensk, Oykumena Publ., 2004, 342 p. (in Russian)

Lebedeva I.I., Tonkonogov V.D. Degradatsiya pochv i ustoychivost' pochv k degradatsii: obshchie predstavleniya i ponyatiya [Soil degradation and soil resistance to degradation: general concepts and terms]. *Ustoichivost' pochv k estestvennym i antropogennym vozdeistviyam* [Resistance of soils to natural and anthropogenic impacts]. Moscow, Docuchaev Soil Sci. Inst. Publ., 2002, pp. 9. (in Russian)

Martynova N.A., Pushkareva V.S. Ekologicheskaya ustoichivost' pochv lesnykh landshaftov g. Irkutsk i ego okrestnostei [Soil resource and ecological potential of forest landscapes of Irkutsk City and surroundings]. *J. Soils Environ.*, 2019, vol. 2, no. 1, pp. 1-14. <https://doi.org/10.31251/pos.v2i1.48> (in Russian)

Smagin A.V., Stepanov A.L., Azovtseva N.A., Smagina M.V., Myagkova A.D., Kurbatova A.S. Criteria and methods to assess the ecological status of soils in relation to the landscaping of urban territories. *Eurasian Soil Sci.*, 2006, vol. 39, no. 5, pp. 539-551. <https://doi.org/10.1134/S1064229306050115>

Orlov D.S., Grishina L.A. *Praktikum po khimii gumusa* [Workshop on humus chemistry]. Moscow, Moscow Sy. Univ. Publ., 1981, 272 p. (in Russian)

Snakin V.V., Melchenko V.E., Butovskiy R.O., Vorontsova L.I., Vasil'eva N.P., Resin A.L., Al'yabina I.O., Barinova S.S., Erbanova L.N., Morgun L.V., Golovina M.V., Barabanova G.S. *Otsenka sostoyaniya i ustoichivosti ekosistem* [Assessment of the state and stability of ecosystems]. Moscow, Inst. Environ. Protect. Publ., 1992, 128 p. (in Russian)

Gyninova A.B., Shoba S.A., Balsanova L.D., Gyninova B.D. *Pochvy delty reki Selengi (genезis, geografiya, geokhimiya)* [Soils of the Selenga River delta (genesis, geography, geochemistry)]. Ulan-Ude, Buryat SC SB RAS Publ., 2012, 344 p. (in Russian)

Rosnovskiy I.N. *Ustoichivost' pochv v ekosistemakh kak osnova ekologicheskogo normirovaniya* [Soil stability in ecosystems as the basis for environmental regulation]. Tomsk, Inst. Atmosph. Optics SB RAS Publ., 2001, 251 p. (in Russian)

Sistema otsenki i normirovaniya antropogennoy nagruzki dlya formirovaniya ekologicheskoi sbalansirovannykh agrolandshaftov [The system of assessment and regulation of anthropogenic pressure for the formation of ecologically balanced agricultural landscapes]. Masyutenko N.P. (ed.). Kursk, Instit. Agric. Soil Protect. Publ., 2014, 187 p. (in Russian)

Sosorova S.B., Gyninova A.B., Merkusheva M.G., Ubugunov L.L., Boloneva L.N. The content of microelements and iron in soils and plants in the basin of Lake Kotokel in Western Transbaikalia. *Eurasian Soil Sci.*, 2012, vol. 45, pp. 376-385. <https://doi.org/10.1134/S1064229312040138>

Teoriya i praktika himicheskogo analiza pochv [Theory and practice chemical analysis of soils] Vorob'eva L.A. (Ed.). Moscow, GEOS Publ., 2006, 400 p. (in Russian)

Fedorov A.S. *Ustoichivost' pochv k antropogennym vozdeystviyam* [Resistance of soils to anthropogenic impact]. St. Petersburg, St. Petersburg St. Univ. Publ., 2008, 204 p. (in Russian)

Frid A.S. Sovremennoe sostoyanie voprosa o normirovanii statiki i dinamiki pokazateley pochvennykh svoystv [Current state of standartization of static and dynamic of soil properties]. *Agrokhimiya*, 2008, no. 8, pp. 5-12. (in Russian)

Tsybzhitov Ts.Kh., Ubugunova V.I. *Genезis i geografiya taezhnykh pochv basseyna ozera Baykal* [Genesis and geography of the taiga soils of Lake Baikal]. Ulan-Ude, Buryat. Book Publ., 1992. 237 p. (in Russian)

Yakovlev A.S., Evdokimova M.V. Ecological standardization of soils quality control. *Eurasian Soil Sci.*, 2011, vol. 44, pp. 534-546. <https://doi.org/10.1134/S1064229311050152>

Andrés-Abellán M., Del Álamo J.B., Landette-Castillejos T., López-Serrano F.R., García-Morote F.A., Del Cerro-Barja A. Impacts of visitors on soil and vegetation if the recreational are "Nacimiento del Río Mundo" (Castilla-la Mancha, Spain). *Env. Monit. Assess.*, 2005, vol. 101(1-3), pp. 55-67.

Ghaemi M., Astarai A.R., Emami H., Nassiri M.M., Sanaeinejad S.H. Determining soil indicators for soil sustainability assessment using principal component analysis of Astan Quds- east of Mashhad- Iran. *J. Soil Sci. Plant Nutr.*, 2014, vol. 14, no. 4, pp. 987-1004. <https://doi.org/10.4067/S0718-95162014005000077>

Kuznetsov V.A., Ryzhova I.M., Stoma G.V. Transformation of Forest Ecosystems in Moscow Megapolis under Recreational Impacts. *Eurasian Soil Sci.*, 2019, vol. 52, pp. 584-592. <https://doi.org/10.1134/S1064229319050065>

Korkanç S.Y. Impacts of recreational human trampling on selected soil and vegetation properties of Aladag Natural Park, Turkey. *Catena*. 2014. Vol. 113. pp. 219-225. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2013.08.001>

Ludwig M., Wilmes P., Schrader S. Measuring soil sustainability via soil resilience. *Sci. Total Environ.*, 2018, vol. 626, pp. 1484-1493. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.043>

Tóth G., Hermann T., da Silva M.R., Montanarella L. Monitoring soil for sustainable development and land degradation neutrality. *Environ. Monit. Assess.*, 2018, vol. 190, is. 57, 4 p. <https://doi.org/10.1007/s10661-017-6415-3>

Sarah P., Zhevelev H., Oz A. Human activities modify soil properties in urban parks: a case study of Tel Aviv-Jaffa. *J. Soils Sedim.*, 2016, vol. 16, pp. 2538–2547. <https://doi.org/10.1007/s11368-016-1458-6>

Stone D., Ritz K., Griffiths B. S., Orgiazzi A., Creamer R. E. Selection of biological indicators appropriate for European soil monitoring. *Appl. Soil Ecol.*, 2016, vol. 97, pp. 12–22. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2015.08.005>

Yan H., Zhan J., Liu B., Huang W., Li Z. Spatially Explicit Assessment of Ecosystem Resilience: An Approach to Adapt to Climate Changes. *Advances in Meteorology*, 2014, vol. 2014, 98428, 9 p. <https://doi.org/10.1155/2014/798428>

Brianskaia E., Schmieder K., Boecker R., Gyninova A., Balsanova L. Syntaxonomy of forest vegetation of the central zone of the Lake Baikal eastern coast. *Tuexenia*. 2019, vol. 39, pp. 139–160. <https://doi.org/10.14471/2019.39.003>

World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th ed. USS Working Group WRB, 2022. Vienna, Austria.

Zhevelev H., Sarah P., Oz A. The Spatial Variability and Temporal Dynamics of Soil Properties as Affected by Visitors' Pressure in an Urban Park. *J. Environ. Protect.*, 2013, vol. 4, no. 8, pp. 52–64. <http://doi.org/10.4236/jep.2013.48A2007>

Сведения об авторе

Балсанова Лариса Даниловна
кандидат биологических наук,
старший научный сотрудник
Институт общей и экспериментальной
биологии СО РАН
Россия, 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6
e-mail: balsanova@mail.ru

Information about the author

Balsanova Larisa Danilovna
Candidate of Science (Biology),
Senior Research Scientist
Institute of General and Experimental Biology
SB RAS
6, Sakhyanova st., Ulan-Ude, 670047,
Russian Federation
e-mail: balsanova@mail.ru

Статья поступила в редакцию **08.04.2024**; одобрена после рецензирования **28.05.2024**; принята к публикации **17.06.2024**
Submitted **April, 08, 2024**; approved after reviewing **May, 28, 2024**; accepted for publication **June, 17, 2024**