

Геоинформатика. 2024. № 1. С. 78–83.
Geoinformatika. 2024;(1):78–83.

Геоэкология

Научная статья
 УДК 502.52
<https://doi.org/10.47148/1609-364X-2024-1-78-83>

Оценка устойчивости ландшафтов Республики Алтай к антропогенным воздействиям

© 2024 г. — Мария Геннадьевна Сухова^{1,2,a)}, Ольга Валерьевна Журавлева^{1,b)}, Андрей Владимирович Каранин^{1,c)}, Екатерина Фёдоровна Шамаева^{3,d)}

¹Горно-Алтайский государственный университет; Россия, Горно-Алтайск

²Институт водных и экологических проблем СО РАН; Россия, Барнаул

³Государственный университет управления; Россия, Москва

^{a)}mgs.gasu@yandex.ru, ^{b)}juravolg@mail.ru, ^{c)}vedmedk@bk.ru, ^{d)}ef_shamaeva@guu.ru

Аннотация: В настоящее время существует множество точек зрения на оценку устойчивости ландшафтов к антропогенному воздействию, однако отсутствуют общепризнанные методы количественной оценки эмерджентных свойств геосистем. Разработаны разнообразные методы и подходы, опирающиеся на индексы устойчивости и благополучия, а также модели-классификации, преимущественное большинство которых построено на балльно-индексном подходе. В работе приведена интегральная оценка экологической устойчивости ландшафтов Республики Алтай, которая базируется на основе ряда физико-географических факторов, оказывающих влияние на стабильность сложившихся геосистем. Наибольшее значение среди них играют: рельеф (в особенности крутизна склонов), растительный покров, почвы, густота речной сети, водный баланс и типы угодий. В результате установлено, что существует общая закономерность — с увеличением высоты над уровнем моря экологическая устойчивость ландшафтов уменьшается. На фоне этой закономерности выделяются выположенные участки межгорных котловин, где устойчивость несколько увеличивается. Таким образом на северо-западе республики преобладают ландшафты высокой экологической устойчивости, которые сменяются менее устойчивыми ландшафтами центральных районов, и на склонах Северо- и Южно-Чуйского, Катунского хребтов, массива Табын-Богдо-Ола экологическая устойчивость ландшафтов заметно снижается.

Ключевые слова: *устойчивость ландшафтов, Республика Алтай, антропогенное воздействие, интегральная оценка*

Для цитирования: Сухова М.Г., Журавлева О.В., Каранин А.В., Шамаева Е.Ф. Оценка устойчивости ландшафтов Республики Алтай к антропогенным воздействиям // Геоинформатика. — 2024. — № 1. — С. 78–83. <https://doi.org/10.47148/1609-364X-2024-1-78-83>.

Geoecology

Original article

Assessment of the resistance of landscapes of the Altai Republic to anthropogenic impacts

© 2024 — Maria G. Sukhova^{1,2,a)}, Olga V. Zhuravleva^{1,b)}, Andrey V. Karanin^{1,c)}, Ekaterina F. Shamaeva^{3,d)}

¹Gorno-Altai State University; Gorno-Altai, Russia

²Institute of Water and Environmental Problems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Science; Barnaul, Russia

³State University of Management; Moscow, Russia

^{a)}mgs.gasu@yandex.ru, ^{b)}juravolg@mail.ru, ^{c)}vedmedk@bk.ru, ^{d)}ef_shamaeva@guu.ru

Abstract: Currently, there are many points of view on assessing the resistance of landscapes to anthropogenic impact, but there are no generally accepted methods for quantitative assessment of the emergent properties of geosystems. Various methods and approaches have been developed that are based on indices of sustainability and well-being, as well as classification models, the vast majority of which are based on a score-index approach. The work provides an integral assessment of the environmental sustainability of the landscapes of the Altai Republic, which is based on a number of physical and geographical factors that influence the stability of the existing geosystems. The most important among them are: relief (especially the steepness of slopes), vegetation cover, soils, density of the river network, water balance and land types. As a result, it was established that there is a general pattern- with increasing altitude above sea level, the ecological sustainability of landscapes decreases. Against the background of this pattern, flattened areas of intermountain basins stand out, where stability increases somewhat. Thus, in the north-west of the republic, landscapes of high environmental sustainability predominate, which are succeeded by less stable landscapes of the central regions, and on the slopes of the North and South Chuysky, Katunsky ridges, the Tabyn-Bogdo-Ola massif, the ecological sustainability of landscapes is noticeably reduced.

Key words: *landscape sustainability, Altai Republic, anthropogenic impact, integral assessment*

For citation: Sukhova M.G., Zhuravleva O.V., Karanin A.V., Shamaeva E.F. Assessment of the resistance of landscapes of the Altai Republic to anthropogenic impacts. *Geoinformatika*. 2024;(1):78–83. <https://doi.org/10.47148/1609-364X-2024-1-78-83>. In Russ.

Введение

Независимое существование систем «общество» и «природа» невозможно, так как обе они объединены в единую, целостную экосистему. Человечество во всей своей совокупности оказывает огромное воздействие на природные системы и их устойчивость [8]. Устойчивость — это способность системы сохранять свои основные параметры при воздействии внешних и внутрисистемных факторов. Устойчивость природного ландшафта связана с его способностью сохранять структуру и тип функционирования в изменяющейся среде. Изменение ландшафтов может быть вызвано как природными факторами, так и антропогенными, соответственно, необходимо рассматривать эти изменения как минимум в двух ракурсах.

Важную роль в устойчивости ландшафта играют процессы изменений, обусловленные структурными генетическими особенностями природных систем. Этот тип устойчивости характеризуется стабильностью и изменчивостью ландшафтов в зависимости от климатических, геологических и геоморфологических условий. О стабильности можно говорить, когда это состояние сохраняется на протяжении неопределенного времени, при постоянных внешних условиях. Противоположность стабильности — изменяющаяся структура ландшафта, на которую могут воздействовать внешние силы и факторы самоорганизации [1]. Такие свойства, как стабильность и изменчивость ландшафтов, ярче всего проявляются в различных динамических состояниях. Свойства стабильности и изменчивости ландшафтов наиболее отчетливо выражаются через различные динамические состояния.

Устойчивость ландшафтов к антропогенным воздействиям зависит от их чувствительности и восстанавливаемости, то есть реакции на воздействия человека и возврата в исходную точку. Устойчивость природных ландшафтов во многом связана с их способностью адаптироваться к различным внешним воздействиям, а также со способностью системы выдерживать внешнее воздействие и продолжать свое функционирование. Наибольшее влияние на степень устойчивости ландшафтов на горных территориях оказывают такие показатели как энергия рельефа, крутизна склонов, тепло-влажностное обеспечение, развитость почвенно-растительного покрова, биопродуктивность ландшафта.

К основным антропогенным воздействиям в республике Алтай можно отнести сельское и лесное хозяйство и рекреацию. Устойчивость к этим воздействиям плодородных земель во многом зависит от интенсивности эрозионных процессов, загрязненности почв и их дефляции, а также потенциала естественной самоочистки. Устойчивость кормовых угодий зависит от уровня деградации пастбищ, сенокоса и пастбища, а также от того, как быстро восстанавливаются растительность и почва.

Устойчивость лесных ландшафтов определяется степенью их нарушенности вырубками, пожарами и сельскохозяйственными работами. Восстановление лесов зависит от соотношения тепла и влаги, интенсивности эрозионных и дефляционных процессов, а также процессов заболачивания земель. Важнейший показатель устойчивости леса — это его продуктивность и экологические условия произрастания, и первый класс бонитета наиболее продуктивен и устойчив, а пятый класс, как правило, характеризуется неблагоприятными почвенными и гидроклиматическими условиями произрастания, что снижает показатель его устойчивости.

Для оценки устойчивости ландшафтов могут использоваться показатели рекреационных дигрессий, которые определяются видом и интенсивностью рекреационных воздействий, чувствительностью и восстанавливаемостью ландшафтов.

Материал и методы. В настоящее время существует множество точек зрения на оценку состояния ландшафтов, однако отсутствуют общепризнанные методы количественной оценки энергетических свойств геосистем. Разработаны разнообразные методы и подходы, опирающиеся на индексы устойчивости и благополучия, а также модели-классификации, преимущественное большинство которых построено на балльно-индексном подходе. Интегральная оценка экологической устойчивости, на наш взгляд, наиболее применима по ряду причин [2, 3].

Имеющиеся авторские наработки интегральной оценки устойчивости ландшафтов [4] постоянно совершенствуются, и ведется поиск наиболее подходящих оценочных критериев. В данном исследовании в качестве критериев оценки были выбраны те, которые позволяют диагностировать устойчивость биоты и абиотических компонентов к внешним факторам. Для сохранения экологического равновесия территории необходимо соблюдать определенное соотношение состояний абиотических и биотических компонентов. Устойчивость первых достигается физико-механическими и химическими процессами переноса, разбавления, сорбции, миграции вещества; устойчивость вторых обусловлена способностью адаптации организмов к воздействию, как в результате внутренней резистентности биохимической организации, так и за счет способности к биохимическому разложению токсичных соединений и изменению удельных скоростей обменных процессов в геосистеме под влиянием воздействия

Таким образом индекс экологической устойчивости территории рассчитывался нами на основе ряда физико-географических факторов, оказывающих влияние на стабильность сложившихся геосистем. Наибольшее значение среди них играют: рельеф (в особенности крутизна склонов), растительный покров, почвы, густота речной сети, во-

дный баланс и типы угодий [4]. В качестве основы была использована карта Д.В. Черных и Г.С. Самойловой [7].

Крутизна склонов была вычислена на основе цифровой модели рельефа SRTMGL3 [11] пространственным разрешением 1 угловая секунда. При этом наивысшей считалась устойчивость склонов крутизной до 5 градусов, высокой от 5 до 10 градусов, средней от 10 до 15 градусов и наименьшей свыше 15 градусов.

В качестве оценочного показателя, характеризующего устойчивость почвенного покрова, нами была использована интегральная характеристика, так как учет только механического состава почв в условиях горной территории нам показался недостаточным. За основу нами был взят расчет балльной оценки устойчивости почвы к изменению параметров естественного и антропогенного режимов по В.В. Снакину, И.О. Алябиной, П.П. Кречетову [6], с небольшими изменениями.

Учитывался также тип угодий. Было выделено несколько типов: тундровые, болотные, лесные и луговые. Загрязнение потенциально опасно для болотных и лесных угодий, учитывая их роль в биоразнообразии, а для болотных также учитывается наличие торфяных горизонтов, влекущих ряд опасных для природной среды последствий нефтяного загрязнения. Такая же картина складывается и для механического воздействия, которое наиболее опасно для болотных угодий в силу влияния на гидродинамические показатели, динамику геохимических и биологических процессов.

Относительное значение густоты растительного покрова рассчитывался через медианный индекс NDVI [12] за летний период (с начала июня по конец августа) 2022 года, который определялся на основе данных спектрорадиометра MODIS, представляющих собой 16-дневные композиты разрешением 250 метров [9].

Значения индекса были перешкалированы, NDVI с величиной меньше 0,2 считался как 0 (отсутствие растительности), а интервал от 0,2 до 1 стал интервалом от 0 до 100.

Густота речной сети вычислялась на базе раstra цифровой модели рельефа SRTMGL3. С помощью модуля *r.watershed* геоинформационной системы GRASS [10] был построен растр аккумуляции стоков, затем водотоки были определены через выражение:

$$\ln(|Accumulation| + 1) > 9,5, \quad (1)$$

где *Accumulation* — значение пикселя раstra аккумуляции стока.

После этого результирующие водотоки были «истончены» до однопиксельных линий с помощью модуля *r.thin*. Затем полученные данные выгружались в векторный формат, после чего строился полигональный грид разрешением 1 км² и

рассчитывалась сумма расстояний в полигонах. Результирующим показателем стала длина расстояний водотоков на 1 квадратный километр территории.

Водообеспеченность территории устанавливалась на основе значений расхода воды для каждого пикселя цифровой модели рельефа. Для этого модульные величины раstra аккумуляции стока были сопоставлены с реальными объемами расхода воды, зафиксированными по 23 водомерным постам на территории республики. Коэффициент корреляции сопоставленных значений оказался достаточно высоким (0,98), что позволило построить ряд уравнений регрессии и на их основе экстраполировать данные водомерных постов на всю изучаемую территорию [5].

Все результирующие параметры были переформатированы в виде процентных величин (от 0% до 100%), где 0% считалось наименьшее значение оцениваемого фактора, а 100% — наибольшее значение. Это позволило произвести сопоставление количественных характеристик с качественными в едином масштабе весовых признаков.

Индекс относительной экологической устойчивости определялся по формуле:

$$\begin{aligned} \text{ЭУ} = & 0,25 (\text{крутизна склонов}) + 0,23 (\text{почвы}) + \\ & + 0,2 (\text{густота растительного покрова}) + \\ & + 0,12 (\text{тип угодий}) + 0,1 (\text{густота речной сети}) + \\ & + 0,1 (\text{водообеспеченность}), \end{aligned}$$

где ЭУ — относительная экологическая устойчивость; крутизна склонов — нормированный показатель уклона земной поверхности; почвы — интегральный показатель устойчивости почв; густота растительного покрова — нормированная величина медианного индекса NDVI; тип угодий — нормированная величина типа угодий; густота речной сети — нормированная величина густоты речной сети; водообеспеченность — нормированная величина водообеспеченности.

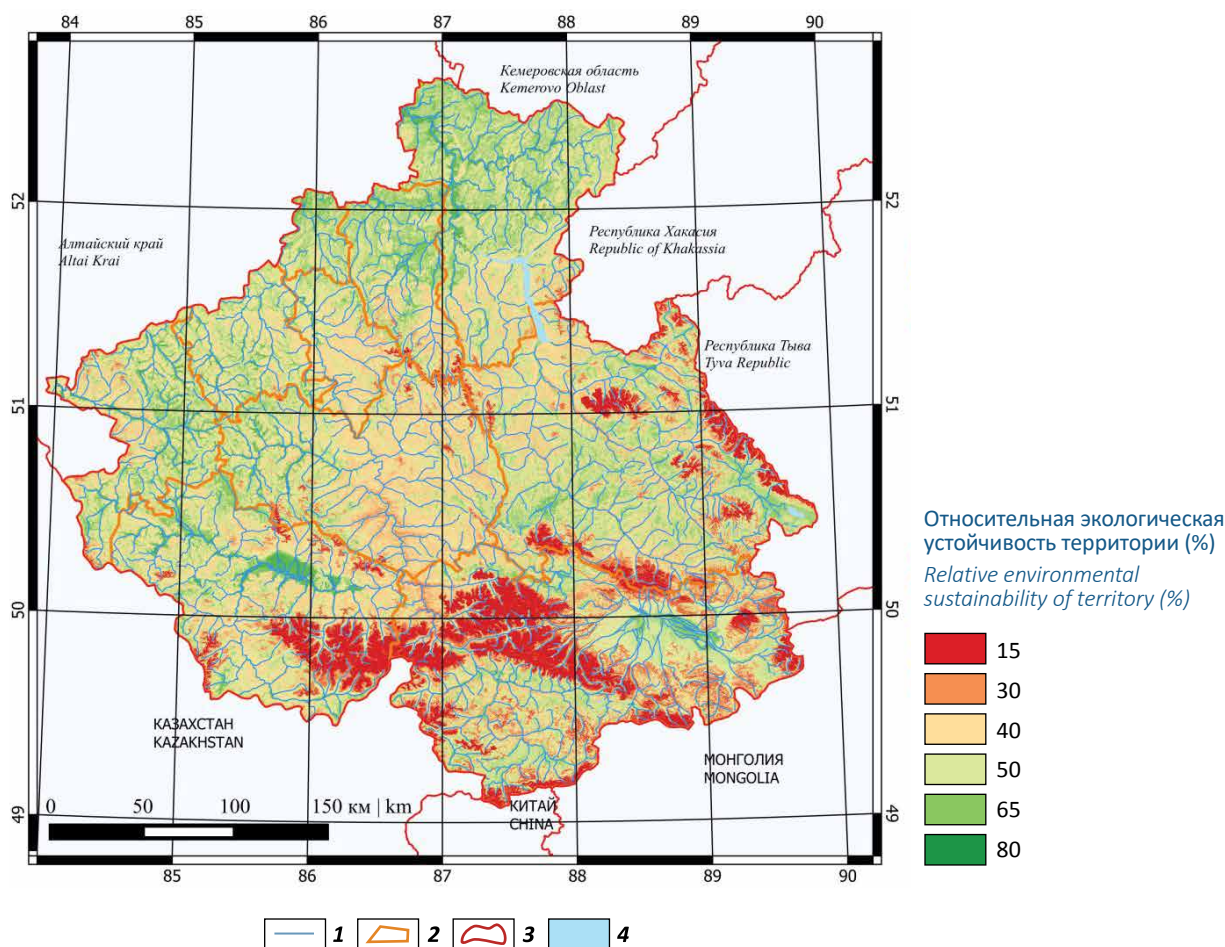
Результаты исследования

На завершающем этапе была построена карта экологической устойчивости ландшафтов территории Республики Алтай.

В результате установлено, что существует общая закономерность — с увеличением высоты над уровнем моря экологическая устойчивость ландшафтов уменьшается. На фоне этой закономерности выделяются выположенные участки межгорных котловин, где устойчивость несколько увеличивается. Таким образом на северо-западе республики преобладают ландшафты высокой экологической устойчивости, которые сменяются менее устойчивыми ландшафтами центральных районов, и на склонах Северо- и Южно-Чуйского, Катунского хребтов, массива Табын-Богдо-Ола экологическая устойчивость ландшафтов заметно снижается (рис. 1).

Рис. 1. Экологическая устойчивость ландшафтов Республики Алтай

Fig. 1. Ecological sustainability of landscapes of the Altai Republic



1 — реки; 2 — озёра; 3 — границы районов республики; 4 — административные и государственные границы
1 — rivers; 2 — lakes; 3 — regions borders of the republic; 4 — administrative and state borders

Уязвимыми геосистемами являются в основном гляциально-нивальные, альпийские и субальпийские луговые и тундровые ландшафты.

На крутых склонах более сильное воздействие оказывают негативные природные явления, таких как обвалы и оползни, которые могут привести к нарушению стабильности геосистемы.

Заключение

Показатели экологической устойчивости ландшафтов играют важнейшую роль в оценке степени

воздействия на окружающую среду и выявлении роли того или иного вида воздействия на нее.

Интегральная оценка степени устойчивости ландшафтов позволила дифференцировать геосистемы Республики Алтай по их отклику на внешние воздействия. Это впоследствии даст возможность предложить варианты пространственного размещения объектов хозяйствования, в том числе и рекреационного, минимизирующие возможные негативные последствия и деградацию природных комплексов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Республики Алтай в рамках научного проекта № 20-45-040016.

Список источников

- Абалаков А.Д., Лопаткин Д.А. Устойчивость ландшафтов и ее картографирование // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. – 2014. – № 8. – С. 2–14.
- Дмитриев В.В., Огурцов А.Н., Морозова А.С., Пилюгина А.А., Свердлова О.А., Сиротина П.М., Федорова М.Е., Черепанов С.В., Шакуров В.А. Интегральная оценка устойчивости ландшафтов: модели, результаты, перспективы // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2017. – № 9. – С. 110–114.

3. Дмитриев В.В., Примак Е.А., Скрыгина В.К. Интегральная оценка устойчивости и экологического благополучия геосистем // Международный журнал экспериментального образования. – 2011. – № 5. – С. 137–138.
4. Журавлева О.В., Сухова М.Г., Каранин А.В., Малков П.Ю. Дифференциация геосистем Юго-Восточного Алтая по степени относительной экологической устойчивости // Известия Алтайского республиканского отделения русского географического общества : материалы международной научно-практической конференции (Горно-Алтайск, 20 октября 2018 года) / Отв. ред. В.Г. Бабин. – Вып. 6. – Горно-Алтайск: ГАГУ, 2018. – С. 42–50.
5. Каранин А.В., Журавлева О.В., Сухова М.Г., Минаев А.И. Проблемы расчета водообеспеченности и водопотребления муниципальных образований Республики Алтай // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. – 2023. – № 2. – С. 47–55. – DOI: 10.17308/geo/1609-0683/2023/2/47-55.
6. Снакин В.В., Алябина И.О., Кречетов П.П. Экологическая оценка устойчивости почв к антропогенному воздействию // Известия Российской академии наук. Серия географическая. – 1995. – № 5. – С. 50–57.
7. Черных Д.В., Самойлова Г.С. Ландшафты Алтая (Республика Алтай и Алтайский край) : карта : масштаб 1 : 500 000. – Новосибирск : Новосибирская картографическая фабрика, 2011.
8. Шамаева Е.Ф. Вызовы окружающей природной среде, уровню и качеству жизни // Проблемы глобального переустройства в контексте социально-экономического развития стран, регионов и сельских территорий : сборник статей международной научно-практической конференции (Ереван, 3–8 ноября 2021 года) / Под редакцией Э.С. Казаряна, Х.А. Константиныди, В.В. Сорокожердьева. – Краснодар : Просвещение-Юг, 2021. – С. 144–154.
9. Didan K. (2015). MYD13Q1 MODIS/Aqua Vegetation Indices 16-Day L3 Global 250m SIN Grid V006 [Data set]. NASA EOSDIS Land Processes Distributed Active Archive Center. Accessed 2023-08-27 from <https://lpdaac.usgs.gov/products/srtmgl3v003/>.
10. GRASS GIS. Version 7.8 [Электронный ресурс] / GRASS Development Team. – 1998–2022. – Режим доступа: <https://grass.osgeo.org> (дата обращения 30.07.2022).
11. NASA JPL (2013). NASA Shuttle Radar Topography Mission Global 3 arc second [Data set]. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. Accessed 2021-10-27 from <https://lpdaac.usgs.gov/products/myd13q1v006/>.
12. Weier J., Herring D. Measuring Vegetation (NDVI & EVI) [Электронный ресурс] // NASA Earth Observatory. – 30.08.2000. – Режим доступа: <https://earthobservatory.nasa.gov/features/MeasuringVegetation> (дата обращения 01.02.2024).

References

1. Abalakov A.D., Lopatkin D.A. Mapping of landscape stability. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series: Earth Sciences*. 2014;(8):2–14.
2. Dmitriev V.V., Ogurtsov A.N., Morozova A.S., Pilyugina A.A., Sverdllova O.A., Sirotina P.M., Fedorova M.E., Cherepanov S.V., Shakurov V.A. Integrated Assessment of landscape sustainability: models, results, prospects. *Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*. 2017;(9):110-114.
3. Dmitriev V.V., Primak E.A., Skrygina V.K. Integral'naya otsenka ustoichivosti i ehkologicheskogo blagopoluchiya geosistem [Integral assessment of the sustainability and environmental well-being of geosystems]. *Mezhdunarodnyi zhurnal ehkspierimental'nogo obrazovaniya*. 2011;(5):137–138.
4. Zhuravleva O.V., Sukhova M.G., Karanin A.V., Malkov P.Yu. Differentsiatsiya geosistem Yugo-Vostochnogo Altaya po stepeni otноситel'noi ehkologicheskoi ustoichivosti [Differentiation of geosystems of South-Eastern Altai by the degree of relative environmental sustainability]. In: *Izvestiya Altaiskogo respublikanskogo otdeleniya russkogo geograficheskogo obshchestva: materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (Gorno-Altaysk, 20 October 2018)*. Babin V.G., ed. Iss. 6. Gorno-Altaysk: GAGU; 2018. pp. 42–50.
5. Karanin A.V., Zhuravleva O.V., Sukhova M.G., Minaev A.I. Problems of calculating water availability and water consumption in the municipalities of the Republic of Altai. *Proceedings of Voronezh State University. Series: Geography. Geoecology*. 2023;(2):47–55. DOI: 10.17308/geo/1609-0683/2023/2/47-55.
6. Snakin V.V., Alyabina I.O., Krechetov P.P. Ehkologicheskaya otsenka ustoichivosti pochv k antropogennomu vozdeistviyu [Ecological assessment of soil resistance to anthropogenic influence]. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii nauk. Seriya geograficheskaya*. 1995;(5):50–57.
7. Chernykh D.V., Samoilova G.S. Landshafty Altaya (Respublika Altai i Altaiskii krai) [Landscapes of Altai (Altai Republic and Altai Territory)]: map: scale 1: 500,000. Novosibirsk: Novosibirskaya kartograficheskaya fabrika; 2011.
8. Shamaeva E.F. Vyzovy okruzhayushchei prirodnoi srede, urovnyu i kachestvu zhizni [Challenges to the natural environment, level and quality of life]. In: *Problemy global'nogo pereustroystva v kontekste sotsial'no-ehkonomicheskogo razvitiya stran, regionov i sel'skikh territorii* : Sbornik statei mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (Yerevan, 3–8 November 2021). Kazaryan E.S., Konstantinidi H.A., Sorokozherdieva V.V., eds. Krasnodar: Prosveshchenie-Yug; 2021. pp. 144–154.
9. Didan K. (2015). MYD13Q1 MODIS/Aqua Vegetation Indices 16-Day L3 Global 250m SIN Grid V006 [Data set]. NASA EOSDIS Land Processes Distributed Active Archive Center. Accessed 2023-08-27 from <https://doi.org/10.5067/MODIS/MYD13Q1.006>.
10. GRASS GIS. Version 7.8 GRASS Development Team. 1998–2022. Available at: <https://grass.osgeo.org> (accessed 30.07.2022).
11. NASA JPL (2013). NASA Shuttle Radar Topography Mission Global 3 arc second [Data set]. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. Accessed 2021-10-27 from <https://lpdaac.usgs.gov/products/myd13q1v006/>.
12. Weier J., Herring D. Measuring Vegetation (NDVI & EVI). NASA Earth Observatory. 30.08.2000. Available at: <https://earthobservatory.nasa.gov/features/MeasuringVegetation> (accessed 01.02.2024).

Статья поступила в редакцию 13.11.2023, одобрена после рецензирования 15.12.2023, принята к публикации 20.01.2024.
The article was submitted 13.11.2023; approved after reviewing 15.12.2023; accepted for publication 20.01.2024.

Информация об авторах**Сухова Мария Геннадьевна**

Доктор географических наук, доцент
 Проректор по НИИД
 Горно-Алтайский государственный университет
 649000 Горно-Алтайск, ул. Ленкина, д. 1
 Старший научный сотрудник
 Институт водных и экологических проблем Сибирского
 отделения Российской академии наук
 656038 Барнаул, ул. Молодежная, д. 1
 e-mail: mgs.gasu@yandex.ru
 ORCID: 0000-0001-8648-2482

Журавлева Ольга Валерьевна

Кандидат географических наук
 Доцент кафедры географии и природопользования
 Горно-Алтайский государственный университет
 649000 Горно-Алтайск, ул. Ленкина, д. 1
 e-mail: juravolg@mail.ru
 ORCID: 0000-0003-1327-0483

Каранин Андрей Владимирович

Кандидат географических наук
 Доцент кафедры географии и природопользования
 Горно-Алтайский государственный университет
 649000 Горно-Алтайск, ул. Ленкина, д. 1
 e-mail: vedmedk@bk.ru
 ORCID: 0000-0003-3261-523X

Шамаева Екатерина Фёдоровна

Кандидат технических наук
 Доцент, руководитель научного проекта Центра
 проектирования устойчивого развития институтов
 гражданского общества
 Государственный университет управления
 109542 Москва, Рязанский проспект, д. 99 стр. 1
 e-mail: ef_shamaeva@guu.ru
 ORCID: 0000-0002-1070-8550

Information about authors**Maria G. Sukhova**

Doctor of Geography, Associate Professor
 Vice-Rector for Research and Development
 Gorno-Altai State University
 1, Lenkin str., Gorno-Altai 649000, Altai Republic, Russia
 Senior Researcher
 Institute for Water and Environmental Problems of the Siberian
 Branch of the Russian Academy of Sciences (IWEP SB RAS)
 1, Molodezhnaya str., Barnaul, Altai region, 656038, Russia
 e-mail: mgs.gasu@yandex.ru
 ORCID: 0000-0001-8648-2482

Olga V. Zhuravleva

Candidate of Geographical Sciences
 Associate Professor at the Department of Geography and Nature
 Management
 Gorno-Altai State University
 1, Lenkin str., Gorno-Altai, Altai Republic, 649000, Russia
 e-mail: juravolg@mail.ru
 ORCID: 0000-0003-1327-0483

Andrey V. Karanin

Candidate of Geographical Sciences
 Associate Professor at the Department of Geography and Nature
 Management
 Gorno-Altai State University
 1, Lenkin str., Gorno-Altai, Altai Republic, 649000, Russia
 e-mail: vedmedk@bk.ru
 ORCID: 0000-0003-3261-523X

Ekaterina F. Shamaeva

Candidate of Technical Sciences
 Associate Professor, Head of the scientific project of the Center for
 the Design of Sustainable Development of Civil Society Institutions
 The State University of Management
 99, Ryazansky Prospekt, Moscow, 109542, Russia
 e-mail: ef_shamaeva@guu.ru
 ORCID: 0000-0002-1070-8550