

УДК 528.88:502.72:58.02

ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ КАК ИНСТРУМЕНТ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА РАСТИТЕЛЬНОСТИ В КАТУНСКОМ ЗАПОВЕДНИКЕ НА ПРИМЕРЕ МУЛЬТИНСКИХ ОЗЕР

Трапезникова Ксения Ильинична, студент, направление подготовки 05.03.02 География, Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия
e-mail: trapeznikova@sfedu.ru

Ровенский Михаил Константинович, студент, направление подготовки 05.03.02 География, Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия
e-mail: sssssht@mail.ru

Научный руководитель: **Михайленко Анна Владимировна**, кандидат географических наук, доцент кафедры физической географии, экологии и охраны природы, Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия
e-mail: avmihaylenko@sfedu.ru

***Аннотация.** В условиях глобального изменения климата и усиления антропогенной нагрузки актуальной задачей является мониторинг состояния растительного покрова особо охраняемых природных территорий (ООПТ). Целью исследования является анализ динамики растительности прибрежной зоны Мультинских озер Катунского заповедника и оценка ее связи с температурой воздуха. В работе использованы спутниковые данные Landsat 8–9 за период 2014–2024 гг., методы геоинформационного анализа и расчет вегетационного индекса NDVI. Выявлены изменения плотности растительного покрова и установлена статистически значимая связь между температурой воздуха и показателями NDVI ($r = 0,71$; $P < 0,01$). Полученные результаты демонстрируют возможности применения данных дистанционного зондирования для оценки состояния горных экосистем и могут быть использованы для экологического мониторинга и оценки рисков деградации экосистем горных озерных комплексов на территории ООПТ Российской Федерации.*

***Ключевые слова:** дистанционное зондирование Земли, NDVI, растительный покров, Мультинские озера, экологический мониторинг, изменение климата, антропогенная нагрузка, Landsat, особо охраняемые природные территории.*

***Для цитирования:** Трапезникова К. И., Ровенский М. К. Дистанционное зондирование как инструмент экологического мониторинга растительности в Катунском заповеднике на примере Мультинских озер // Шаг в науку. – 2026. – № 1. – С. 34–39.*

REMOTE SENSING AS A TOOL FOR ENVIRONMENTAL MONITORING OF VEGETATION IN THE KATUNSKY NATURE RESERVE USING THE MULTINSKY LAKES AS AN EXAMPLE

Trapeznikova Kseniya Ilyinichna, student, training program 05.03.02 Geography, Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia
e-mail: trapeznikova@sfedu.ru

Rovensky Mikhail Konstantinovich, student, training program 05.03.02 Geography, Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia
e-mail: sssssht@mail.ru

Research advisor: **Mikhaylenko Anna Vladimirovna**, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor of the Department of Physical Geography, Ecology, and Environmental Protection, Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia
e-mail: avmihaylenko@sfedu.ru



Abstract. In the context of global climate change and increasing anthropogenic pressure, monitoring the state of the vegetation cover in specially protected natural areas is a pressing issue. The aim of this study is to analyze vegetation dynamics in the coastal zone of the Multinsky Lakes in the Katunsky Nature Reserve and assess its relationship with air temperature. The study utilized Landsat 8–9 satellite data for the period 2014–2024, geoinformation analysis methods, and the calculation of the NDVI vegetation index. Changes in vegetation density were identified, and a statistically significant relationship between air temperature and NDVI values was established ($r = 0.71$; $P < 0.01$). The obtained results demonstrate the potential of using remote sensing data to assess the state of mountain ecosystems and can be used for environmental monitoring and assessing the risks of ecosystem degradation in mountain lake complexes in protected areas of the Russian Federation.

Key words: remote sensing of the Earth, NDVI, vegetation cover, Multinsky Lakes, environmental monitoring, climate change, anthropogenic load, Landsat, specially protected natural areas.

Cite as: Trapeznikova, K. I., Rovensky, M. K. (2026) [Remote sensing as a tool for environmental monitoring of vegetation in the Katunsky Nature Reserve using the Multinsky Lakes as an example]. *Shag v nauku* [Step into science]. Vol. 1, pp. 34–39.

Введение

Одним из наиболее важных вопросов в условиях глобального потепления и усиливающейся антропогенной нагрузки является сохранение экосистем особо охраняемых природных территорий и их достопримечательностей [7]. Так в настоящее время ученые наблюдают увеличение температуры воздуха более чем на 1°C [6], что влияет на экосистемы всех природных зон. Одними из таких уязвимых объектов являются Мультиинские озера. В последнее время туристическая инфраструктура приближается к территории озер все больше, в том числе процесс стройки удобств сопровождается загрязнением строительной пылью и неумышленным внесением в экосистему забытых стройматериалов. Данные ситуации оказывают прямое и косвенное влияние на состояние растительного покрова, его изменение, островное исчезновение и в дальнейшем нарушение общей экологической обстановки [5]. Анализ динамики растительного покрова позволит оценить экологическое состояние экосистемы, с его помощью можно будет выявить тенденции деградации или восстановления биогеоценоза, которые важно учитывать при организации охраны на территории ООПТ. Мониторинг изменения растительности за последние годы позволит планировать зоны ограничения доступа и экологические маршруты для туристов [5]. Оценка влияния климатических показателей на плотность растительности позволит проанализировать последствия изменения климата и выявить реальные причины изменения биоты в пределах ООПТ [3].

Мультиинские озера находятся на территории Усть-Коксинского района Республики Алтай, их территория принадлежит Катунскому заповеднику. Питание озер состоит из вод реки Мульта и ручьев из-за таяния ледников в теплый период [4]. Западные и Восточные берега озер крутые, так как это склоны хребтов [1]. Среднегодовая сумма осадков в районе озер от 550 до 650 мм. Сезон дождей приходится в период с мая по июль. В Нижнем и Среднем Мультиинских озерах почвы – бурые горнолесные, к Верхнему Мультиинскому озеру почвы меняются на субальпийские. Растительность в пределах Мультиинских озер разнообразна. В лесах преобладают сосна кедровая (*Pinus sibirica* Du Tour, 1803) и лиственница сибирская (*Larix sibirica* Ledeb., 1833), подлесок представлен травами и кустарниками, например, купальница азиатская (*Trollius asiaticus* L., 1753), можжевельник сибирский (*Juniperus sibirica* Burgsd., 1787), вероника длиннолистная (*Veronica longifolia* L., 1753). Из редких видов растений, занесенных в Красную книгу РФ, можно встретить ревень алтайский (*Rheum altaicum* Losinsk., 1936), кандык сибирский (*Erythronium sibiricum* Krylov, 1929), соссюрея Дорогостайского (*Saussurea dorogostaiskii* Palib., 1975)¹.

Данные физико-географические особенности и статус этой территории как памятника природы республиканского значения² подтверждают актуальность для проведения исследования.

Материалы и методы

Для исследования были использованы 112 спутниковых изображений Landsat 8-9 OLI/TIRS Collection 2

¹ Горбатовский В. В. Катунский заповедник // Большая российская энциклопедия: научно-образовательный портал – URL: <https://bigenc.ru/c/katunskii-zapovednik-3b41f1/?v=10652486>. (дата обращения: 02.02.2026).

² Приказ Министерства природных ресурсов, экологии и туризма Республики Алтай от 16.07.2019 № 595 «Об утверждении Положения и границ памятника природы республиканского значения «Мультиинские озера» // Официальное опубликование правовых актов. – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0401201907220001> (дата обращения: 02.02.2026).

Level-1 от Геологической службы США (USGS)³ в период с 2014 по 2024 гг.

Обработка изображений проводилась в комплексе геоинформационных программных продуктов ArcGIS 10.5, данные OSM (OpenStreetMap) были получены из модуля для QGIS. Буферная зона Мультиинских озер в 500 м была создана на основе полигона Мультиинских озер из OSM⁴.

В процессе работы с материалами спутниковой

съемки был использован алгоритм действий: восстановление коэффициентов спектральной яркости (КСЯ), удалены помехи облачности, посчитан и классифицирован по значениям спектральный индекс, представленный на рисунке 1. Облачность была удалена по набору Pixel Quality Assessment (QA_PIXEL)⁵. Для оценки динамики растительного покрова был рассчитан индекс NDVI⁶. Рассматривались положительные значения NDVI, классифицированные с шагом 0,1.

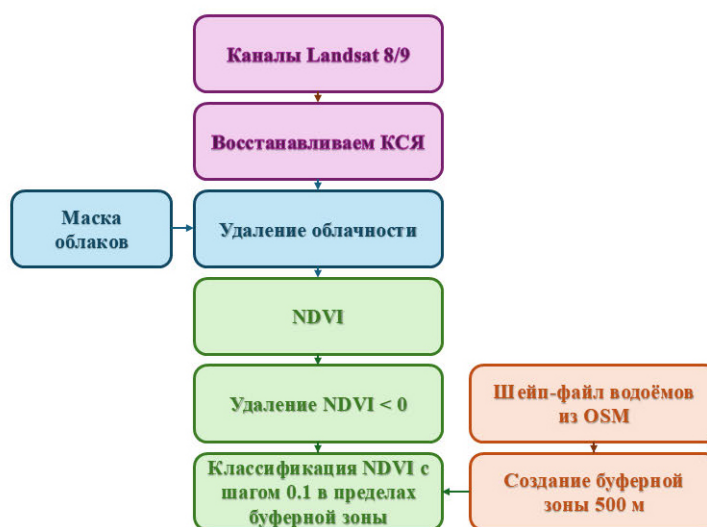


Рисунок 1. Алгоритм обработки снимков

Источник: разработано авторами

Также для построения графиков использовались ежедневные данные температуры воздуха⁷, которые напрямую связаны с динамикой площади растительного покрова в буферной зоне 500 метров Мультиинских озер, представленных на рисунке 2.

Результаты и обсуждения

Для анализа изменений в растительном покрове был построен график с данными температуры воздуха и средними значениями густоты растительно-

сти (NDVI) с 2014 по 2024 гг., представленный на рисунке 3.

Можно выделить тенденцию увеличения температуры воздуха за 11 лет более чем на 1°C. Экстремально высокие значения отмечены 18.06.2017 с +21,7°C, 24.06.2022 с +21,2°C, 13.07.2023 с +20,7°C и 29.06.2024 с +23,5°C. Так для этих максимумов характерны высокие значения густоты растительности: 26.07.2022 с 5,89 км², 13.07.2023 с 5,408 км² и 15.07.2024 с 5,883 км².

³ U.S. Geological Survey. EarthExplorer. – URL: <https://earthexplorer.usgs.gov/> (accessed: 20.05.2025).

⁴ OpenStreetMap. Некоммерческий веб-картографический проект по созданию свободной географической информации. – URL: <https://www.openstreetmap.org/> (дата обращения: 02.02.2026).

⁵ U.S. Geological Survey. Landsat Collection 2 Level 2 Science Products. – URL: <https://www.usgs.gov/media/files/landsat-8-9-collection-2-level-2-science-product-guide> (accessed: 20.05.2025).

⁶ U.S. Geological Survey. Landsat Normalized Difference Vegetation Index. – URL: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-normalized-difference-vegetation-index> (accessed: 02.02.2026).

⁷ Описание массива данных месячных сумм осадков на станциях России / О. Н. Булыгина [и др.]. – М.: Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, 2015. – URL: <http://meteoro.ru/data/total-precipitation/> (дата обращения: 10.01.2026).

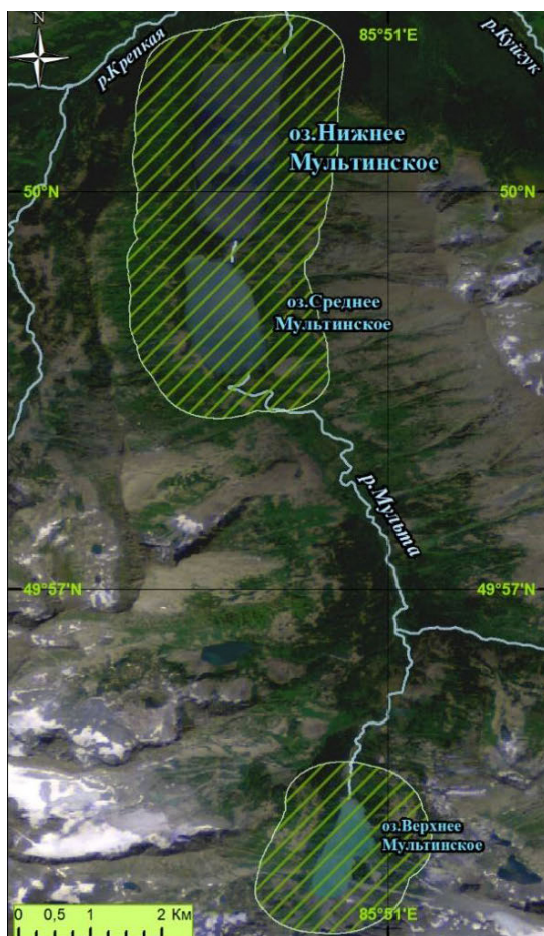


Рисунок 2. Мультиинские озера в буферной зоне 500 метров

Источник: взято из OpenStreetMap⁸

Для зимнего периода характерно повышение зимних температур после 2019 года и соответственно повышение густоты растительности. Так за 11 лет густота увеличилась примерно на 0,6 км².

Также для изучения зависимости растительного покрова в прибрежной зоне 500 метров Мультиинских озер от температуры воздуха был построен график зависимости, представленный на рисунке 4.

Анализ графика показывает, что наиболее важным фактором, влияющим на площадь и густоту растительного покрова в прибрежной зоне 500 метров Мультиинских озер, является температура воздуха. Между данными показателями за 11 лет установлена высокая корреляционная зависимость ($r = 0,71$; $P < 0,01$).

Заключение

На основании проведенного исследования мож-

но сделать вывод, что максимальная плотность растительности соответствует летнему периоду, когда температура воздуха наиболее благоприятна для активного роста растительности. Повышение температуры воздуха оказывает существенное влияние на густоту растительного покрова ($r = 0,71$; $P < 0,01$). Результаты анализа, полученные в ходе исследования, служат подтверждением выводов, полученных в работах авторов [2; 3], где анализ динамики растительного покрова в XX веке показывает, что наиболее существенное влияние изменения климата оказало на растительность горных районов, где наблюдалось перемещение верхней границы леса, увеличение сомкнутости крон деревьев, изменение видовой разнообразия сообществ, и также в Восточной Сибири преобладает положительная динамика значений тренда NDVI с положительной корреляцией температуры

⁸ OpenStreetMap. Некоммерческий веб-картографический проект по созданию свободной географической информации. – URL: <https://www.openstreetmap.org/> (дата обращения: 02.02.2026).

воздуха с индексом вегетации NDVI.

В пределах буферной зоны Мульгинских озер изменения растительного покрова усиливаются под влиянием роста числа туристов и застройки туристической инфраструктуры. В связи с определенной тесной корреляционной зависимостью между температурой и растительным покровом, следует учитывать современные тренды изменения климата при разработке планов управления Катунским заповедником. В периоды экстремальных температур стоит усилить меры

контроля за рекреационной нагрузкой. Также следует в целях безопасности экосистем расширить буферную зону в наиболее уязвимых участках, по данным вегетационного индекса NDVI, где растительность наиболее чувствительна к изменениям температуры и антропогенному воздействию. Необходимо дальнейшее изучение объектов горных экосистем, находящихся на территории ООПТ Российской Федерации, для выявления новых тенденций и исключения нарушения экологической обстановки.

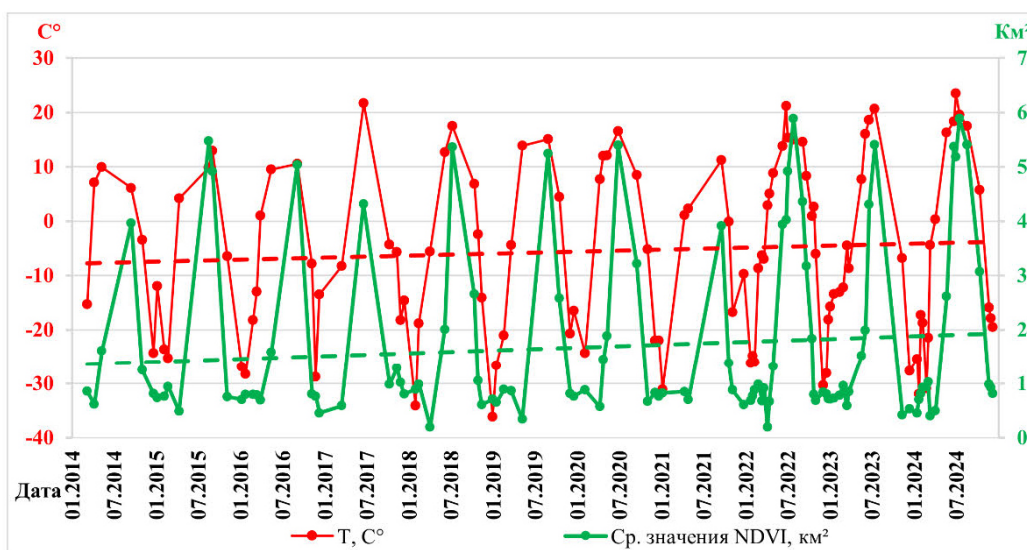


Рисунок 3. Динамика температуры воздуха и средних значений густоты растительности (NDVI)
 Источник: разработано авторами

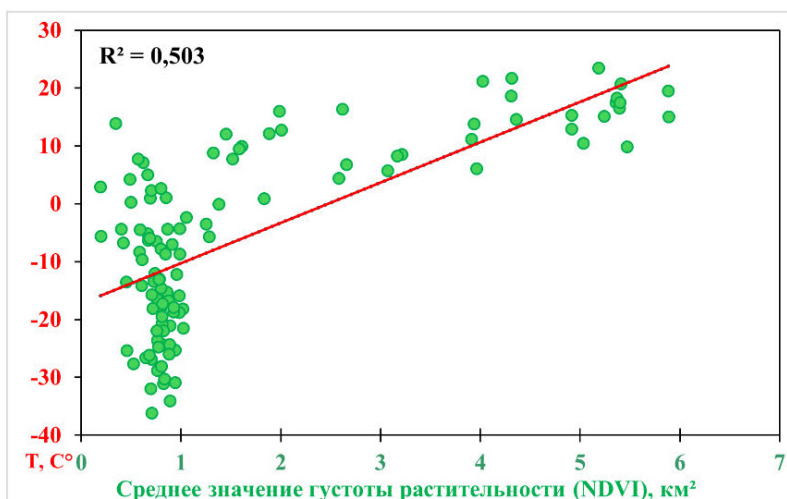


Рисунок 4. Зависимость густоты растительного покрова от температуры воздуха
 Источник: разработано авторами

Литература

1. Бородина Е. В., Бородина У. О. Формирование химического состава озерных вод особо охраняемых территорий Горного Алтая на примере бассейна р. Мульты // Водные ресурсы. – 2019. – Т. 46, № 4. – С. 405–416. – <https://doi.org/10.31857/S0321-0596464405-416>. – EDN: TVFATJ.
2. Варламова Е. В., Соловьев В. С. Влияние глобального потепления на пространственно-временные тренды индекса NDVI растительности Восточной Сибири // Международная конференция и школа молодых ученых по измерениям, моделированию и информационным системам для изучения окружающей среды ENVIROMIS-2018, Томск, 5–11 июня 2018 года. – Томск: Томский центр научно-технической информации, 2018. – С. 259–261. – EDN: YZIYLZ.
3. Голубятников Л. Л. Влияние климатических изменений на растительный покров России // Глобальные климатические изменения: региональные эффекты, модели, прогнозы: Материалы международной научно-практической конференции, Воронеж, 03–05 октября 2019 года / Под общей редакцией С. А. Куролапа, Л. М. Акимова, В. А. Дмитриевой. Том 2. – Воронеж: «Цифровая полиграфия», 2019. – С. 43–47. – EDN: EIFMHI.
4. Нарожный Ю. К., Никитин С. А. Современное оледенение Алтая на рубеже XXI века // Материалы гляциологических исследований. – 2003. – № 95. – С. 93–101. – EDN: VDSJKX.
5. Селезнева Е. В., Роганова И. Н. Анализ природно-антропогенных факторов проектируемой трансграничной природоохранно-туристической территории Западного Алтая // Геоэкология: теория и практика: сборник научных трудов Всероссийской студенческой конференции с международным участием, Москва, 20–21 ноября 2020 года. – М.: Российский университет дружбы народов (РУДН), 2020. – С. 472–438. – EDN: PVBORD.
6. Федоров В. М. Корреляционный анализ инсоляции Земли и аномалии приповерхностной температуры // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. – 2016. – № 45. – С. 151–168. – EDN: XTDUGN.
7. Шикалова Е. А. Экологический мониторинг по биологической оценке здоровья среды Шушенского района в 2016 г. // Мониторинг состояния природных комплексов и многолетние исследования на особо охраняемых природных территориях: Материалы международной научно-практической конференции, посвящённой 40-летию Саяно-Шушенского заповедника, Шушенское, 8 декабря 2016 года / Вып. 1. – Шушенское: Государственный природный биосферный заповедник «Саяно-Шушенский», 2016. – С. 95–97.

Статья поступила: 06.02.2026; принята в печать: 27.02.2026.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.