

УДК: 910.1

DOI:10.35595/2414-9179-2021-1-27-364-376

Т.З. Шахбазян¹

МОНИТОРИНГ ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ ЛЕСОСТЕПНЫХ ЛАНДШАФТОВ СТАВРОПОЛЬСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ СРЕДСТВАМИ ДДЗ

АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрена методика мониторинга особо охраняемых природных территорий с использованием данных дистанционного зондирования Земли. В качестве материалов исследования выступают космические снимки спутников Landsat 5 и Landsat 8, полученные через ресурс Геологической службы США. В качестве ключевых участков исследования выбраны 3 особо охраняемые территории, расположенные в границах лесостепных ландшафтов Ставропольской возвышенности, – заказники «Александровский», «Русский лес», «Стрижамент». Материалы космической съемки отбирались за период 1991–2020 гг., использовались данные съемки летних сезонов. В качестве метода обработки спектральных каналов спутниковой съемки выбран индекс Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). Для интеграции многолетней космической съемки в единый растровый снимок применялась методика дисперсии вариационного ряда для индекса NDVI. В статье изложен алгоритм обработки космических снимков, позволяющий выявить особенности динамики состояния растительности исследуемой территории за период 1991–2020 гг. Растровое изображение, построенное посредством дисперсии индекса NDVI, классифицировалось методом квантилей для перевода численных значений в классы с качественными характеристиками. Было выделено 4 класса территории по степени динамичности состояния растительности: «стабильные», «слабо изменчивые», «умеренно изменчивые», «сильно изменчивые». В работе перечислены природные и антропогенные факторы трансформации ландшафтов. В ходе исследования было отмечено определяющее влияние антропогенных факторов трансформации. Наибольшее воздействие оказывается на заказник «Александровский», наименьшее на заказник «Русский лес», в заказнике «Стрижамент» влияние выражено локально. В работе выделены ведущие антропогенные факторы трансформации растительного покрова, исходя из их влияния на растительность.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: NDVI, ООПТ, ландшафты Ставропольской возвышенности

¹ Северо-Кавказский федеральный университет, Институт наук о Земле, проспект Кулакова, 16/1, Ставрополь, Россия; e-mail: tt89620110598@yandex.ru

Tigran Z. Shahbazyan¹

MONITORING OF SPECIALLY PROTECTED NATURAL TERRITORIES OF FOREST-STEPPE LANDSCAPES OF THE STAVROPOL UPLAND BY MEANS OF REMOTE SENSING DATA

ABSTRACT

The article considers the methodology of monitoring specially protected natural areas using remote sensing data. The research materials are satellite images of the Landsat 5 and Landsat 8 satellites, obtained from the resource of the US Geological Survey. The key areas of the study were 3 specially protected areas located within the boundaries of the forest-steppe landscapes of the Stavropol upland, the reserves «Alexandrovskiy», «Russkiy Les», «Strizhament». The space survey materials were selected for the period 1991–2020, and the data from the summer seasons were used. The NDVI index is chosen as the method of processing the spectral channels of satellite imagery. To integrate long-term satellite imagery into a single raster image, the method of variance of the variation series for the NDVI index was used. The article describes an algorithm for processing satellite images, which allows us to identify the features of the dynamics of the vegetation state of the studied territory for the period 1991–2020. The bitmap image constructed by means of the variance of the NDVI index was classified by the quantile method, to translate numerical values into classes with qualitative characteristics. There were 4 classes of the territory according to the degree of dynamism of the vegetation state: “stable”, “slightly variable”, “moderately variable”, “highly variable”. The paper highlights the factors of landscape transformation, including natural and anthropogenic ones. In the course of the study, the determining influence of anthropogenic factors of transformation was noted. The greatest impact is on the reserve «Alexandrovskiy», the least on the reserve «Russkiy Les», in the reserve «Strizhament» the impact is expressed locally. The paper identifies the leading anthropogenic factors of vegetation transformation, based on their influence on vegetation.

KEYWORDS: NDVI, protected areas, landscapes of the Stavropol upland

ВВЕДЕНИЕ

Провинция лесостепных ландшафтов располагается на территории Ставропольской возвышенности и включают в себя ландшафты байрачных и типичных лесостепей. Благодаря благоприятному климату и богатым природным ресурсам, на этой территории сложились хорошие условия для хозяйственной деятельности [Шальнев, 2004].

Несмотря на это, в провинции лесостепных ландшафтов сформировался кластер особо охраняемых природных территорий (ООПТ), их площадь составляет порядка 48000 га, или 4,5 % территории.

Ввиду вышеназванных обстоятельств, в провинции лесостепных ландшафтов Ставропольской возвышенности возникают конфликты природоохранных и хозяйственных интересов. Кроме того, сохранение ландшафтного разнообразия Ставропольской возвышенности требует пристального внимания к проблеме охраны природы, поскольку хозяйственная деятельность человека вносит большие изменения в структуру и функциональные особенности природных ландшафтов [Шальнев, 2004].

С целью снижения антропогенной нагрузки и уменьшения ущерба, наносимого охраняемым ландшафтам, необходим эффективный мониторинг их состояния.

¹ North-Caucasus federal university, Institute of Earth Sciences, Kulakov Avenue, 16/1, Stavropol, Russian Federation; e-mail: tt89620110598@yandex.ru

Мониторинг – система наблюдений, контроля за состоянием территории с целью рационального использования природных ресурсов и охраны окружающей среды [Преображенский, 1982].

Понятие «состояние ландшафта» тесно связано с понятием «динамики ландшафта», под которым понимаются изменения ландшафта, не сопровождающиеся изменением его структуры, то есть происходящие в рамках единого инварианта [Преображенский, 1982].

Учитывая, что компоненты ландшафта тесно связаны между собой и изменение одного компонента влечет за собой изменение других компонентов (цепные реакции) [Преображенский, 1982], важной задачей становится мониторинг состояния растительности как наиболее динамичного компонента.

Изучению динамики состояния растительности посвящен ряд работ [Королёва, 2012; Ларионов, 2008; Сухарева, Исаева, 2016; Перемитина, Яценко, 2018], однако в нашей работе изучение динамики состояния растительности рассматривается в фокусе компонентной связи ландшафта и его структурной динамики.

Решение задач мониторинга состояния растительности в настоящий момент возможно только инструментами оперативного и достоверного наблюдения за состоянием ландшафтов.

Опираясь на достижения современных геоинформационных технологий, наиболее оптимальным вариантом выполнения данной задачи можно считать метод дистанционного зондирования Земли (ДДЗ).

Учитывая сложившуюся ситуацию, а также специфику изучаемой территории, решение проблемы охраны лесостепных ландшафтов Ставропольской возвышенности видится нам в разработке алгоритма мониторинга состояния ландшафтов.

На основании вышеизложенного, цель нашей работы – создать методику мониторинга лесостепных ландшафтов Ставропольской возвышенности, основанную на использовании данных ДДЗ и геоинформационном анализе.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования в нашей работе выступают лесостепные ландшафты Ставропольской возвышенности, в качестве ключевых участков – 3 наиболее крупные ООПТ, расположенные в границах лесостепных ландшафтов Ставропольской возвышенности: заказник «Александровский», заказник «Русский лес» и заказник «Стрижамент». Все изучаемые территории имеют биологический профиль, то есть объектами охраны в этих ООПТ выступают животный и растительный мир. Границы исследуемой территории, а также ключевые участки, изображены на рис. 1.

На первом этапе необходимо определить временные рамки исследования. Точкой отсчета нашего исследования является 1991 г., эта дата нам видится наиболее интересной с точки зрения охраны ландшафтов, так как в этот период произошел распад СССР, появилась частная собственность, что способствовало распределению земель частным лицам, которые не всегда задавались вопросами оптимального природопользования, кроме того, ввиду сложной экономической ситуации, охрана ландшафтов в данный период отходит на второй план, вследствие чего негативное воздействие на охраняемые ландшафты существенно увеличивается.

На втором этапе необходимо определиться с системой ДДЗ, используемой в исследовании. Важными критериями отбора были следующие признаки: общедоступность, релевантность выбранному временному диапазону, простота получения данных. Исходя из наших критериев, наиболее оптимальными системами ДДЗ нам видятся «Landsat 5 TM» и «Landsat 8 OLI».

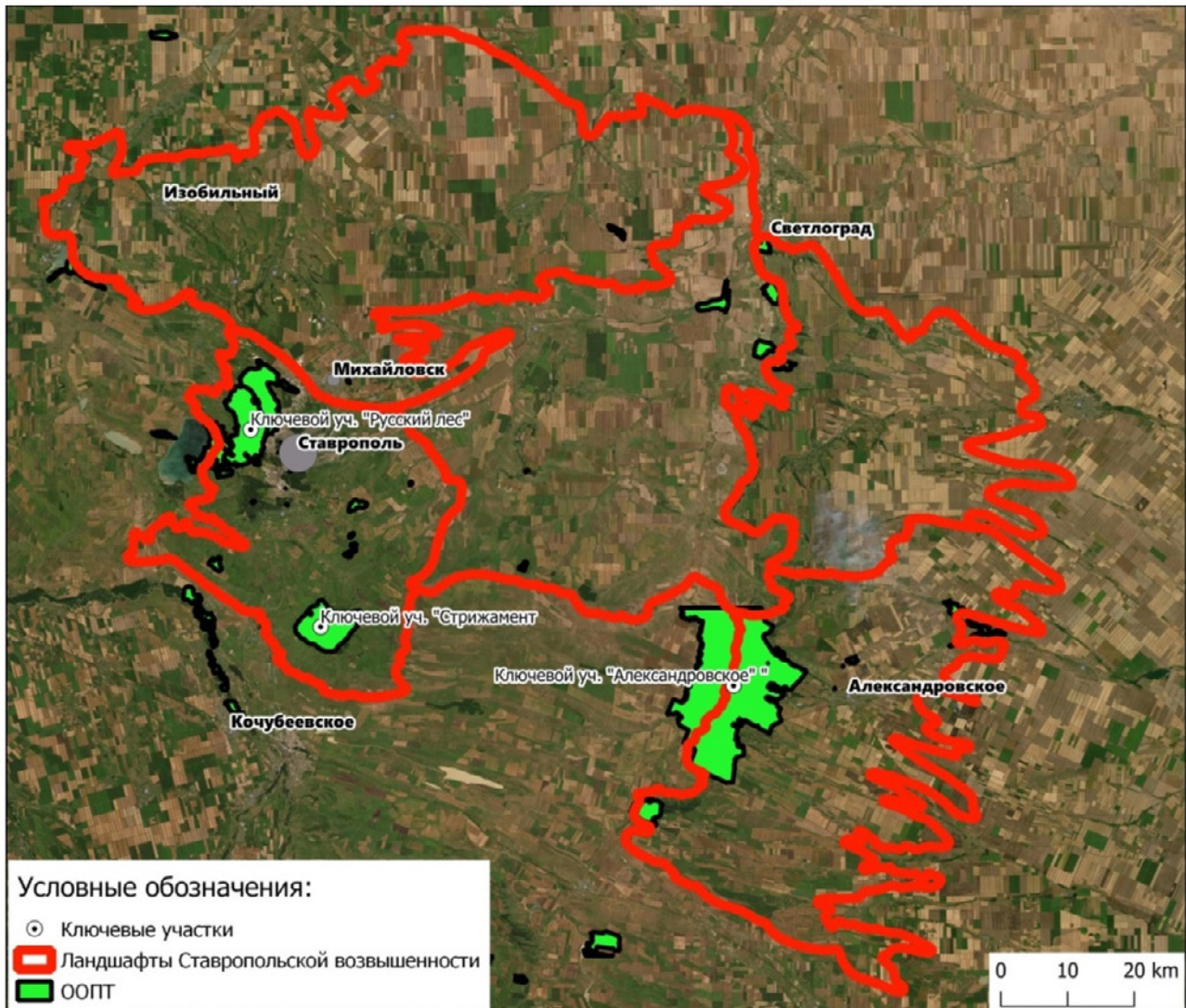


Рис. 1. Лесостепные ландшафты Ставропольской возвышенности и ключевые участки исследования

Fig. 1. Forest-steppe landscapes of the Stavropol upland and key areas of the study

Вышеуказанные данные были получены из базы данных дистанционного зондирования Земли Геологической службы США¹. Для автоматизации получения космических снимков использовался модуль «Semi-automatic classification Plugin», для программного обеспечения – Quantum GIS версии 3.10.

В модуле «Semi-automatic classification Plugin» реализована функция атмосферной коррекции ДДЗ методом DOS1 [Chavez, 1996].

В рамках нашего исследования использовались космические снимки за летний период (июнь–август), такой существенный временной разброс в датах снимков обусловлен погодными условиями в день съемки. Характеристика отобранных снимков представлена в табл. 1.

¹ Сайт геологической службы США. Электронный ресурс: <https://www.usgs.gov/>

Табл. 1. Характеристика космических снимков, отобранных для исследования
 Table 1. Characteristics of satellite images selected for the study

Система ДДЗ	Дата съемки	Отражение в красной области спектра	Отражение в ближней инфракрасной области спектра
Landsat 5 TM	1991/08/11	Канал 3	Канал 4
Landsat 5 TM	1993/08/16	Канал 3	Канал 4
Landsat 5 TM	1996/07/07	Канал 3	Канал 4
Landsat 5 TM	1999/08/17	Канал 3	Канал 4
Landsat 5 TM	2002/06/22	Канал 3	Канал 4
Landsat 5 TM	2006/08/04	Канал 3	Канал 4
Landsat 5 TM	2006/08/04	Канал 3	Канал 4
Landsat 5 TM	2006/08/31	Канал 3	Канал 4
Landsat 5 TM	2010/08/31	Канал 3	Канал 4
Landsat 8 OLI	2013/08/23	Канал 4	Канал 5
Landsat 8 OLI	2017/08/02	Канал 4	Канал 5
Landsat 8 OLI	2020/06/07	Канал 4	Канал 5

На следующем этапе важно было определиться с методом обработки спектральных каналов спутниковой съемки, в нашем исследовании мы использовали наиболее распространенный метод, связанный с использованием индекса Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) [Pettorelli et al., 2005; Jepsen et al., 2009; Roni, 2013; Катаев и др., 2017; Комаров, 2018]. NDVI – нормализованный относительный индекс растительного покрова, который принимает положительные значения для растительности, и чем больше зеленая фитомасса, тем он выше [Сутырина, 2013]. Вычисляется по следующей формуле:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}, \quad (1)$$

где NIR – отражение в ближней инфракрасной области спектра; RED – отражение в красной области спектра.

На последнем этапе исследования необходимо разработать методику обработки многолетних космических снимков, позволяющую интегрировать данные многолетней съемки в единый растровый снимок, отражающий динамику состояния растительности за период 1991–2020 гг. Наиболее оптимально решить данную задачу, по нашему мнению, возможно только с помощью комбинации статистических методов и геоинформационного анализа.

Для интеграции многолетней космической съемки в единый растровый снимок была выбрана методика, основанная на статистических методах, в частности, для композиции разновременного снимка 1991–2020 гг. применялась формула для расчета дисперсии вариационного ряда [Балинова, 2005], использованная на многолетних космических снимках посредством модуля «Калькулятор растров» для программного обеспечения Quantum GIS версии 3.10. Формула расчета дисперсии вариационного ряда для индекса NDVI представлена ниже (формула 2):

$$\delta^2 = \frac{\sum(x - \bar{x})^2 n}{\sum n}, \quad (2)$$

где δ – дисперсия индекса NDVI; x – значение индекса NDVI для каждого наблюдения; n – количество наблюдений.

Весь процесс мониторинга посредством ДДЗ происходил в 4 этапа, полный алгоритм обработки многоканальных космических снимков временного ряда 1991–2020 гг. представлен на блок-схеме (рис. 2).

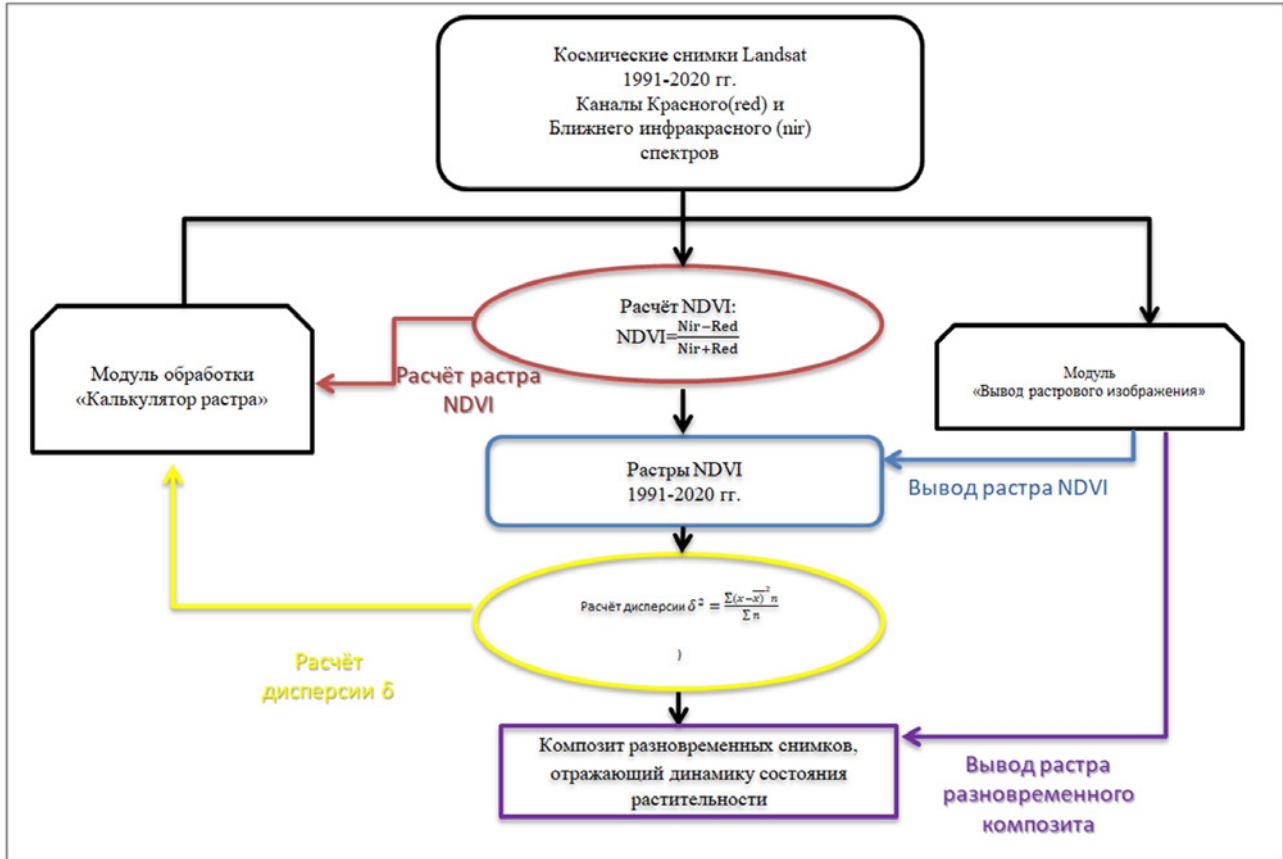


Рис. 2. Блок-схема обработки многоканальных космических снимков временного ряда 1991–2020 гг.

Fig. 2. Block diagram of processing multichannel satellite images of the 1991–2020 time series

Реализация теоретической формулы в программном интерфейсе Quantum GIS происходит с помощью модуля «Калькулятор растров», который использует растровые изображения в качестве операционных единиц. В данном модуле возможно применение как математических, так и логических операторов.

Результатом обработки массива многоканальных космических снимков за исследуемый период (1991–2020 гг.) выступает композит разновременных снимков, построенный на основе дисперсии индекса NDVI. Данный растровый снимок, искусственно созданный посредством модуля «Калькулятор растров» и формулы 2, отражает динамику состояния растительности за изучаемый период. Фрагмент полученного растрового изображения и гистограмма распределения дисперсии индекса NDVI представлены на рис. 3.

Расчитанный растровый снимок отражает динамику состояния растительности, вместе с тем, численные значения дисперсии индекса NDVI не всегда удобны для работы, ввиду того, что без интерпретации эти значения являются лишь «сырыми данными». Для упрощения дальнейшей работы был произведен перевод численных характеристик в качественные, для чего использовался метод бонитировки территорий ООПТ, реализованный в форме ранжирования

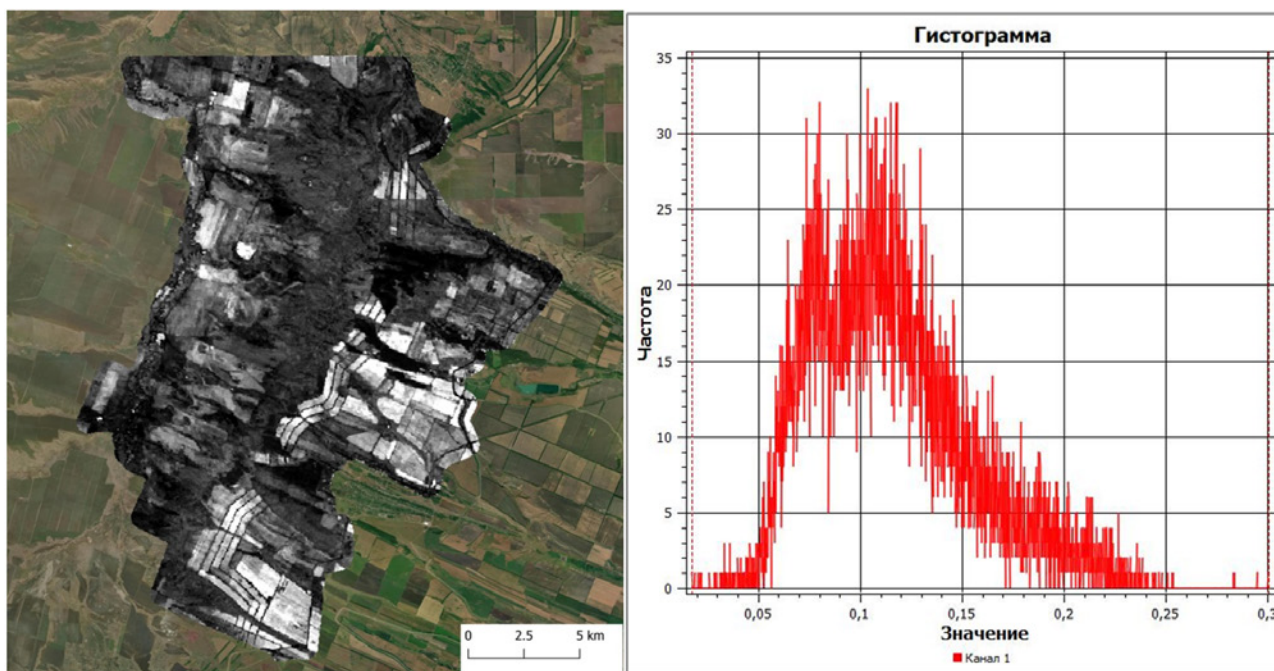


Рис. 3. Результат расчета дисперсии индекса NDVI, слева – фрагмент растрового снимка, справа – гистограмма распределения значения дисперсии индекса NDVI в растровом изображении

Fig. 3. The result of calculating the variance of the NDVI index, on the left – a fragment of the raster image, on the right – a histogram of the distribution of the value of the variance of the NDVI index in the raster image

численных показателей дисперсии индекса NDVI. Для ранжирования полученных значений по категориям «высоко» – «низко» использовался метод квантилей, который наиболее оптимально ранжирует массив численных значений по вышеописанным категориям. Квантильная классификация разделяет классы таким образом, чтобы общее количество значений в каждом классе было примерно одинаковым.¹

По результатам ранжирования растрового снимка методом квантилей было получено 4 класса значений, отражающих динамику состояния растительности за изучаемый период. Классы состояния растительности, а также границы классов в численном выражении, приведены в табл. 2.

Табл. 2. Классы растрового снимка, отражающие динамику состояния растительности
Table 2. Raster image classes that reflect the dynamics of the vegetation state

Значение $\delta \geq$	Мода	Качественная характеристика
0.08448	1-й квантиль	Стабильные
0.10894	2-й квантиль	Слабо изменчивые
0.13552	3-й квантиль	Умеренно изменчивые
0.30000	4-й квантиль	Сильно изменчивые

¹ Quantile Classification in GIS. Электронный ресурс: <https://gisgeography.com/quantile-classification-gis/>

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Трансформация лесостепных ландшафтов Ставропольской возвышенности происходит под воздействием природных и антропогенных факторов. Влияние природных факторов обусловлено изменением баланса вещества и энергии внутри ландшафтов [Шальнев, 2004], а влияние антропогенных факторов обусловлено векторами социально-экономического развития общества и конфликтами хозяйственной и природоохранной деятельности человека.

Основываясь на знании принципов происходящих в ландшафтах природных процессов, обусловленных взаимным обменом вещества и энергии, авторы выделяют природные факторы трансформации ландшафтов, в первую очередь климатические изменения, эндогенные и экзогенные геологические процессы [Мильков, 1970; Гвоздецкий, 1979; Солнцев, 2001; Докучаев, 1899; Иванов, 1954; Григорьев, Будыко, 1956].

В рамках особо охраняемых территорий лесостепных ландшафтов Ставропольской возвышенности эти факторы выражаются в форме опасных геологических процессов (эрозии и оползни) и в форме наступания леса на степь. Локализация вышеуказанных факторов трансформации отображена на рис. 4.

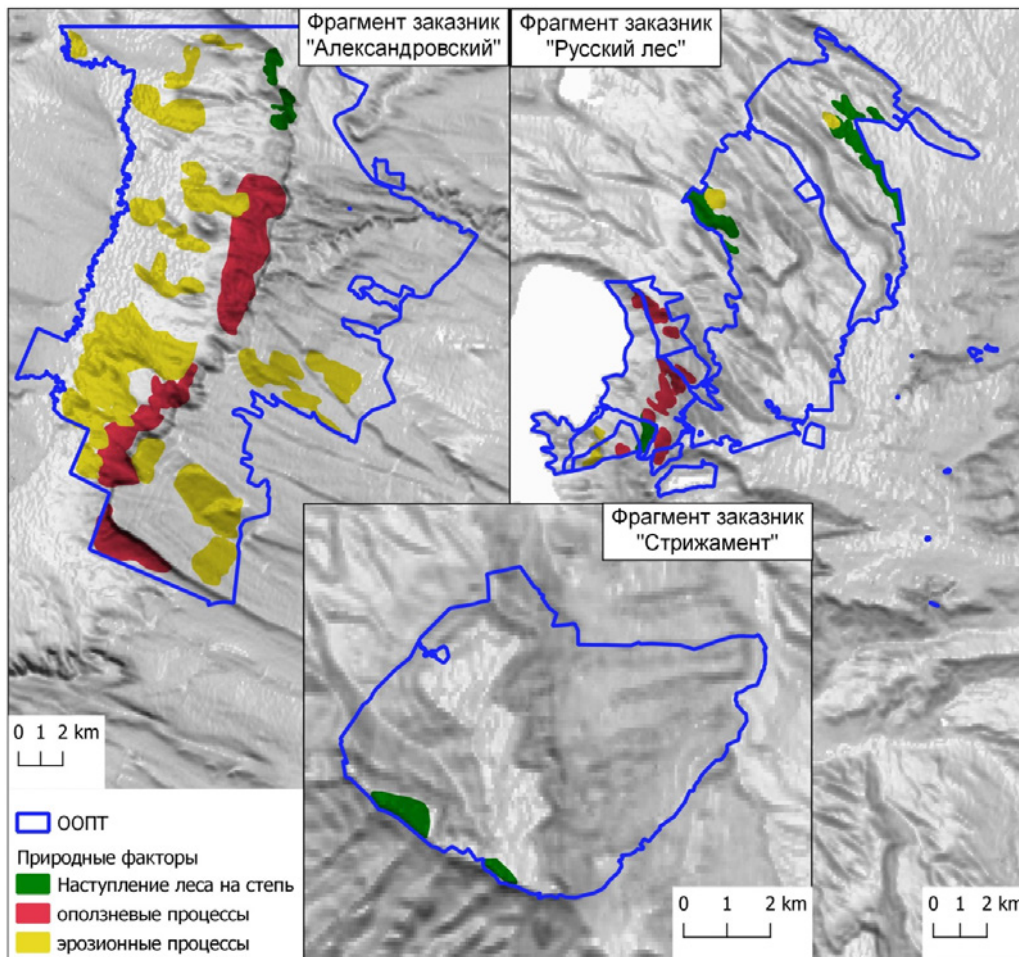


Рис. 4. Природные факторы трансформации, зеленый – наступание леса на степь, красный – оползневые процессы, желтый – эрозионные процессы

Fig. 4. Natural factors of transformation, green – forest incursion on the steppe, red – landslide processes, yellow – erosion processes

Режимы охраны для каждой ООПТ индивидуальны. В частности заказник «Русский лес» имеет наиболее строгий режим охраны, который практически полностью запрещает хозяйственную деятельность. Режим охраны заказника «Стрижамент» допускает рекреационную деятельность, связанную с находящейся здесь экологической тропой, а также сенокосение для нужд функционирования заказника (заготовка кормов для животных). Заказник «Александровский» имеет наиболее мягкий режим охраны, допускающий сельскохозяйственную деятельность в соответствии с целевым назначением земельных участков. С учетом данных положений, нами были выделены следующие антропогенные факторы трансформации ландшафтов, актуальные для особо охраняемых природных территорий:

1. Пастбищное животноводство.
2. Земледельческое освоение территории (сенокосы и распахка территории).
3. Рекреационное использование территории.
4. Влияние транспортных коммуникаций.

Для лучшего понимания структуры землепользования охраняемых природных территорий было проведено зонирование по видам и интенсивности использования земель (рис. 5).

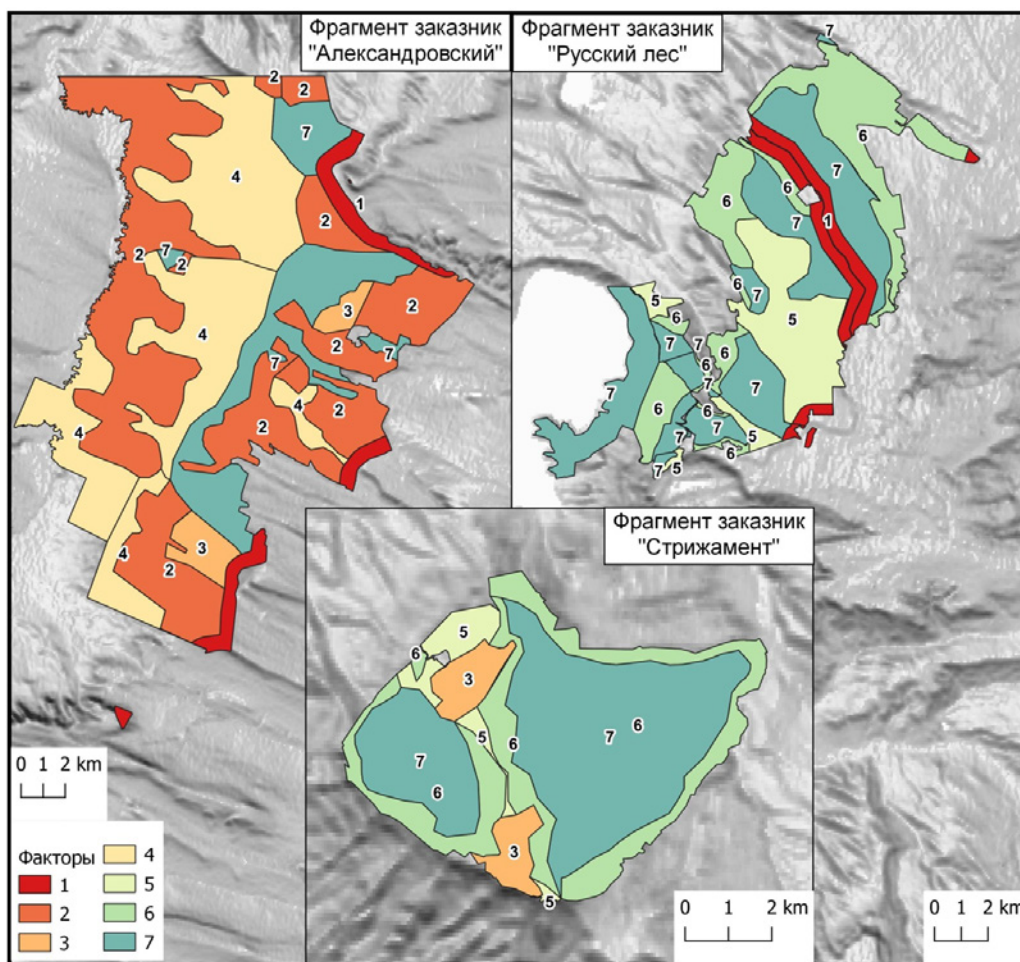


Рис. 5. Антропогенные факторы трансформации, цифрами обозначены зоны: 1 – зона воздействия транспорта, 2 – зона пахотных угодий, 3 – зона сенокосов, 4 – зона пастбищ, 5 – зона рекреационного воздействия, 6 – зона ограниченного природопользования, 7 – природоохранная зона

Fig. 5. Anthropogenic factors of transformation, numbers denote 1 – zone of transport impact, 2 – zone of arable land, 3 – zone of hayfields, 4 – zone of pastures, 5 – zone of recreational impact, 6 – zone of limited nature use, 7 – nature protection zone

Исследование факторов трансформации ландшафтов позволило выявить предпосылки изменения состояния растительности охраняемых территорий. Так, ведущими факторами антропогенного преобразования состояния растительности являются сельскохозяйственная деятельность, реализованная в форме распашки территории и пастбищного животноводства, а также рекреационная деятельность на охраняемых ландшафтах.

Влияние природных факторов трансформации вписывается в рамки естественной динамики ландшафтов и проявляется оно преимущественно в форме зарастания разнотравно-злаковых степей древесно-кустарниковой растительностью (наступление леса на степь). Наиболее отчетливо влияние данного фактора выражено в заказниках «Русский лес» и «Стрижамент», на пологих и слабопокатых склонах северной, северо-западной и северо-восточной экспозиций. В настоящее время там активно идет процесс «саванизации», связанный с распространением кустарников в пределах степных биоценозов [Шальнев, 2017].

Композит разновременных снимков 1991–2020 гг., отражающий динамику состояния растительности охраняемых ландшафтов, представлен на рис. 6.

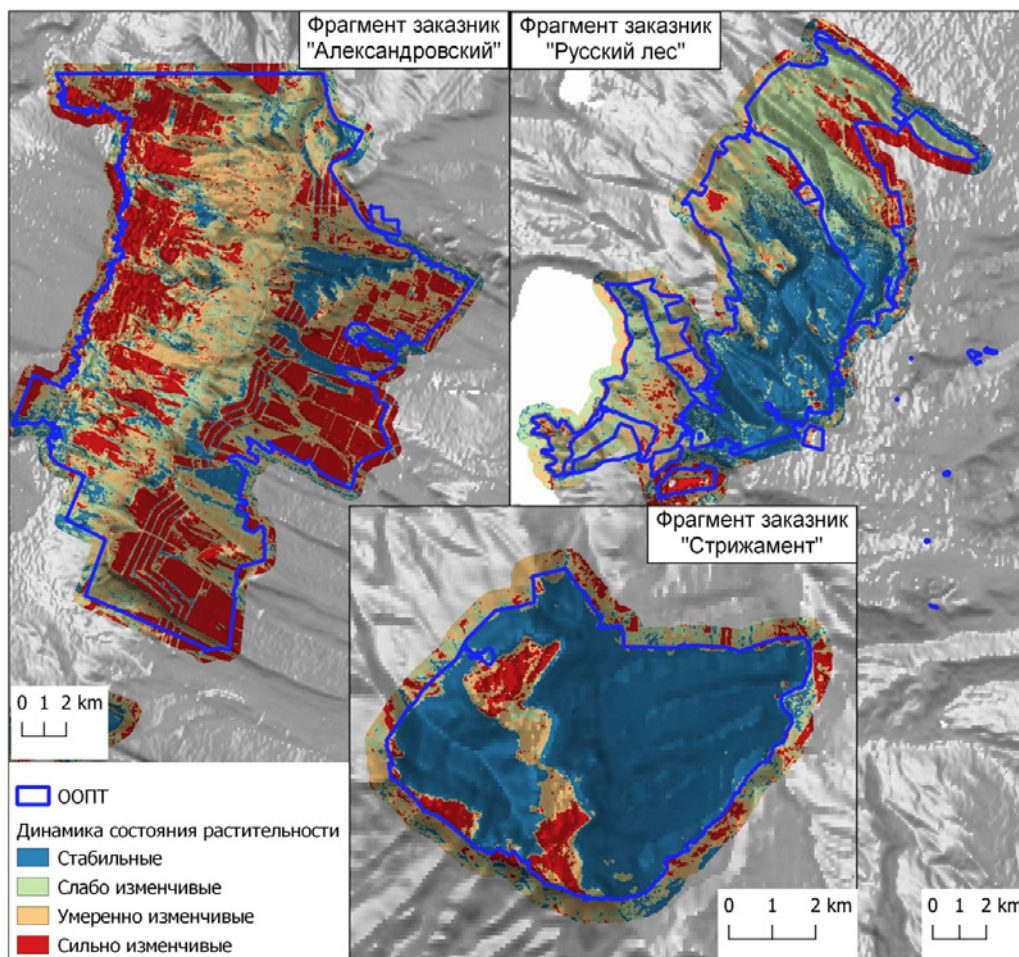


Рис. 6. Динамика состояния растительности по значению дисперсии индекса NDVI
Fig. 6. Dynamics of vegetation state by the value of the NDVI index variance

Наибольшие площади территорий с измененной растительностью наблюдаются в заказнике «Александровский», так как земли этого заказника подвержены интенсивной сельскохозяйственной деятельности (распашка, сенокосение, выпас скота). В заказнике «Стрижамент» отмечена высокая степень негативных изменений состояния растительности на территориях сенокосения, вместе с тем, положительные изменения наблюдаются на землях, подверженных

фактору наступания леса на степь. На территории заказника «Русский лес» фиксируется положительная динамика состояния растительности, обусловленная фактором наступания леса на степь, но также отмечаются и негативные изменения, происходящие вследствие эрозионно-оползневых процессов на крутых (20–30°) склонах юго-западной экспозиции.

ВЫВОДЫ

Разработанная методика мониторинга состояния растительности охраняемых ландшафтов, основанная на дисперсии индекса NDVI, позволяет провести наблюдение за состоянием растительности, а также бонитировать территории по степени динамичности состояния зеленого покрова, исходя из результатов анализа состояния растительности за исследуемый период 1991–2020 гг.

Антропогенные факторы трансформации ландшафтов являются главной причиной изменения состояния растительности, их влияние четко выражено на всей площади исследуемой территории, в то время как природные факторы трансформации вписываются в рамки естественной динамики ландшафтов и не вносят существенных изменений в состояние растительности, в пределах исследуемого периода. Вместе с тем, локальное влияние этих факторов наблюдается на некоторых участках охраняемых ландшафтов, где происходит наступание леса на степь.

По результатам мониторинга растительности можно сделать следующие выводы о состоянии охраняемых ландшафтов: заказник «Александровский» находится в катастрофическом состоянии, большая часть территории заказника подвержена распашке и пастбищному животноводству; в заказнике «Стрижамент» изменения выражены локально – на территориях, подверженных сенокосению и фактору наступания леса на степь; в заказнике «Русский лес» изменения носят преимущественно положительный характер, происходит зарастание древесно-кустарниковой растительностью участков разнотравно-злаковых степей, данные изменения обусловлены естественной динамикой ландшафтов.

Наиболее существенное изменение в состоянии растительности вносит сельскохозяйственная деятельность, в особенности распашка территории, в то время как значительное влияние рекреационной деятельности на состояние зеленого покрова не было выявлено.

Для уменьшения ущерба охраняемым ландшафтам необходимо изменение режима охраны заказника «Александровский» с целью регулирования сельскохозяйственной деятельности. В частности, необходимо полностью запретить распашку территорий в границах заказника, пахотные угодья заменить сенокосами и пастбищами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Балинова В.С.* Статистика в вопросах и ответах. М.: Проспект, 2005. 343 с.
2. *Гвоздецкий Н.А.* Основные проблемы физической географии. М.: Высш. школа, 1979. 222 с.
3. *Григорьев А.А., Будыко М.И.* О периодическом законе географической зональности. Доклады Академии наук СССР. 1956. Т. 2. Вып. 6. С. 65–78.
4. *Докучаев В.В.* К учению о зонах природы: Горизон. и вертикал. почв. СПб.: тип. Спб. Градоначальства, 1899. 28 с.
5. *Иванов Н.Н.* Об определении величин испаряемости. Известия Всесоюзного географического общества. 1954. Т. 86. № 2. С. 189–196.
6. *Катаев М.Ю., Бекеров А.А., Шалда П.В.* Анализ трендов временных рядов вегетационного индекса NDVI. Доклады ТУСУР. 2017. № 1. Электронный ресурс: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-trendov-vremennyh-ryadov-vegetatsionnogo-indeksa-ndvi> (дата обращения: 20.04.2021).
7. *Комаров А.А.* Оценка состояния травостоя с помощью вегетационного индекса NDVI. Известия СПбГАУ. 2018. № 2 (51). Электронный ресурс: <https://cyberleninka.ru/article/n/>

otsenka-sostoyaniya-travostoya-s-pomoschyu-vegetatsionnogo-indeksa-ndvi (дата обращения: 20.04.2021).

8. *Королёва Н.Е.* Сто лет геоботанических исследований в Мурманской области: история, современное состояние и проблемы. *АиС.* 2012. № 7. Электронный ресурс: <https://cyberleninka.ru/article/n/sto-let-geobotanicheskikh-issledovaniy-v-murmanskoj-oblasti-istoriya-sovremennoe-sostoyanie-i-problemy> (дата обращения: 18.05.2021).

9. *Ларионов К.О.* Питание и обеспеченность сайгаков *Saiga tatarica* кормом в зависимости от особенностей растительности на пастбищах: автореферат дис. кандидата биологических наук. Москва, 2008. 25 с.

10. *Мильков Ф.Н.* Ландшафтная сфера земли. М.: Мысль, 1970. 208 с.

11. *Перемитина Т.О., Яценко И.Г.* Диагностика состояния растительного покрова на объектах нефтегазового комплекса Западной Сибири с применением спутниковых данных. Международная конференция «Перспективные материалы с иерархической структурой для новых технологий и надежных конструкций». Томск, 2018. Электронный ресурс: <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000644317> (дата обращения: 20.04.2021).

12. *Преображенский В.С.* Охрана ландшафтов и проектирование. М.: Б. и., 1982. 189 с.

13. *Солнцев Н.А.* Учение о ландшафте (избранные труды). М.: Изд-во Моск. ун-та, 2001. 384 с.

14. *Сутьрина Е.Н.* Дистанционное зондирование земли. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2013. 165 с.

15. *Сухарева Т.А., Исаева Л.Г.* Динамика состояния растительности на участках ремедиации с применением различных подходов вблизи комбината «Североникель». XIV Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем». Киров: изд. Радуга-ПРЕСС, 2016. С. 91–97.

16. *Шальнев В.А.* Ландшафты Северного Кавказа. Эволюция и современность. Ставрополь: Изд-во СГУ, 2004. 265 с.

17. *Шальнев В.А.* Стрижамент. Уникальный природный комплекс Ставрополя. Ставрополь: Изд-во СКФУ, 2017. 101 с.

18. *Chavez P.S.* Image-based atmospheric correction-revisited and improved. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing.* 1996. No. 62 (9). P. 1025–1036.

19. *Jepsen J.U., Hagen S.B., Høgda K.A., Ims R.A., Karlsen S.R., Tømmervik H., Yoccoz N.G.* Monitoring the spatio-temporal dynamics of geometrid moth outbreaks in birch forest using MODIS-NDVI data. *Remote Sens. Environ.* 2009. No. 113. P. 1939–1947.

20. *Pettorelli N., Vik J.O., Mysterud A., Gaillard J.-M., Tucker C.J., Stenseth N.C.* Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *Trends Ecol. Evol.* 2005. No. 20. P. 503–510.

21. *Roni R.* Surface Temperature and NDVI Generation and Relation between Them: Application of Remote Sensing. *Asian J. Eng. Technol. Innov.* 2013. No. 1. P. 8–13.

REFERENCES

1. *Balinova V.S.* Statistics in questions and answers. Moscow: Prospekt, 2005. 343 p. (in Russian).
2. *Dokuchaev V.V.* To the doctrine of the zones of nature: Horizontal and vertical soils. Saint Petersburg: tip. Spb. Gradonachalstva, 1899. 28 p. (in Russian).
3. *Chavez P.S.* Image-based atmospheric correction-revisited and improved. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing.* 1996. No. 62 (9). P. 1025–1036.
4. *Grigoriev A.A., Budyko M.I.* On the periodic law of geographical zonality. Reports of the Academy of Sciences of the USSR. 1956. V. 2. Iss. 6. P. 65–78. (in Russian).
5. *Gvozdetsky N.A.* The main problems of physical geography. Moscow: Vishaya Skola, 1979. 222 p. (in Russian).
6. *Ivanov N.N.* On the determination of the values of evaporation. *Izvestiya Vsesoyuznogo geograficheskogo obshchestva.* 1954. V. 86. No. 2. P. 189–196. (in Russian).

7. *Jepsen J.U., Hagen S.B., Høgda K.A., Ims R.A., Karlsen S.R., Tømmervik H., and Yoccoz N.G.* Monitoring the spatio-temporal dynamics of geometrid moth outbreaks in birch forest using MODIS-NDVI data. *Remote Sens. Environ.* 2009. No. 113. P. 1939–1947.
 8. *Kataev M.Yu., Bekirov A.A., Shal'da P.V.* Analysis of trends in time series of the vegetation index NDVI. *Reports of TUSUR.* 2017. No. 1. Electronic resource: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-trendov-vremennyh-ryadov-vegetatsionnogo-indeksa-ndvi> (accessed 20.04.2021). (in Russian).
 9. *Komarov A.A.* Assessment of the state of the grass stand with the help of the vegetation index NDVI. *Izvestiya SPbGAU.* 2018. No. 2 (51). Electronic resource: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-sostoyaniya-travostoya-c-pomoschyu-vegetatsionnogo-indeksa-ndvi> (accessed 20.04.2021). (in Russian).
 10. *Koroleva N.E.* One hundred years of geobotanical research in the Murmansk region: history, current state and problems. *AiS.* 2012. No. 7. Electronic resource: <https://cyberleninka.ru/article/n/sto-let-geobotanicheskikh-issledovaniy-v-murmanskoy-oblasti-istoriya-sovremennoe-sostoyanie-i-problemy> (accessed: 18.05.2021). (in Russian).
 11. *Larionov K.O.* Nutrition and provision of Saiga Saiga tatarica with food depending on the characteristics of vegetation on pastures: abstract of the PhD thesis. Moscow, 2008. 25 p. (in Russian).
 12. *Milkov F.N.* Landscape sphere of the earth. Moscow: Mysl, 1970. 208 p.
 13. *Peremitina T.O., Yashchenko I.G.* Diagnostics of the state of vegetation cover at the facilities of the oil and gas complex of Western Siberia with the use of satellite data. International Conference “Advanced materials with a hierarchical structure for new technologies and reliable structures” Tomsk, 2018. Electronic resource: <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000644317> (accessed 20.04.2021). (in Russian).
 14. *Pettorelli N., Vik J.O., Mysterud A., Gaillard J.-M., Tucker C.J., Stenseth N.C.* Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *Trends Ecol. Evol.* 2005. No. 20. P. 503–510.
 15. *Preobrazhensky V.S.* Landscape protection and design. Moscow, 1982. 189 p.
 16. *Roni R.* Surface Temperature and NDVI Generation and Relation between Them: Application of Remote Sensing. *Asian J. Eng. Technol. Innov.* 2013. No. 1. P. 8–13.
 17. *Shalnev V.A.* Landscapes of the North Caucasus. Evolution and modernity. Stavropol: SGU, 2004. 265 p. (in Russian).
 18. *Shalnev V.A.* Strizhament. Unique natural complex of Stavropol region. Stavropol: Publishing House of the NCFU, 2017. 101 p. (in Russian).
 19. *Solntsev N.A.* The doctrine of the landscape (selected works). Moscow: Moscow Publishing House, 2001. 384 p. (in Russian).
 20. *Sukhareva T.A., Isaeva L.G.* Dynamics of the state of vegetation on remediation sites with the use of various approaches near the Severonikel plant. XIV All-Russian scientific and practical conference with international participation “Bio-diagnostics of the state of natural and natural-man-made systems”. Kirov: publ. Raduga-PRESS, 2016. P. 91–97. (in Russian).
 21. *Sutyryna E.N.* Remote sensing of the Earth. Irkutsk: IGU, 2013. 165 p. (in Russian).
-