

Е.И. Голубева¹, Е.С. Каширина², А.А. Новиков³, А.В. Глухова⁴

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНДЕКСА NDVI ДЛЯ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИИ НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА СЕВАСТОПОЛЯ

АННОТАЦИЯ

В статье рассматриваются возможности использования нормализованного относительного индекса растительности (NDVI) для комплексной геоэкологической оценки особо охраняемых природных территории. NDVI отражает состояние растительности ООПТ. В качестве модельной территории исследован заказник «Байдарский», расположенный на юго-западе Крымского полуострова в административных границах Севастополя. В работе приводятся результаты расчета NDVI для ландшафтов ООПТ Севастопольского региона в целом и заказника «Байдарский» в частности. Для заказника «Байдарский» отмечено 36 типов местности из 56, представленных в Севастополе. Индекс рассчитан с помощью программного пакета QGIS. Определено, что NDVI заказника «Байдарский» различается от 0,36 для селитебных комплексов до 0,72 для дубовых и буковых лесов на склонах средней крутизны.

Приведена методика оценки состояния растительности ООПТ по показателю NDVI. Вклад NDVI в геоэкологическую ситуацию оценен на основе отклонения показателя от среднего значения для каждого типа ландшафта. Полученные результаты переведены в баллы. В модельном заказнике площадь ландшафтов с удовлетворительным состоянием растительности составила 67 %, критической и кризисной – 17 %. Остальная территория заказника (15 % площади) отнесена к конфликтной геоэкологической ситуации. На основе анализа NDVI и запасов наземной фитомассы определены участки угнетённой растительности для модельного заказника. Они расположены на сельскохозяйственных угодьях, местах пожаров и редколесий.

Доказана ведущая средообразующая роль растительности заказника «Байдарский» при формировании геоэкологической ситуации в городе Севастополе.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: нормализованный относительный индекс растительности (NDVI), дистанционное зондирование, ГИС-технологии, ООПТ, Севастополь, Крым

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, г. Москва, Ленинские горы, д.1, 119991, Россия, д.б.н., *e-mail*: egolubeva@gmail.com

² Филиал Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова в г. Севастополе, отделение географии, Севастополь, ул. Гер. Севастополя, 7, 299001, Россия, к.г.н., *e-mail*: e_katerina.05@mail.ru

³ Филиал Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова в г. Севастополе, отделение географии, Севастополь, ул. Гер. Севастополя, 7, 299001, Россия, *e-mail*: a_novik@bk.ru

⁴ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, г. Москва, Ленинские горы, д.1, 119991, Россия, к.г.н., *e-mail*: evglukhova@gmail.com

Elena I. Golubeva¹, Ekaterina S. Kashirina², Anton A. Novikov³, Elena V. Glukhova⁴

**USING THE NDVI INDEX FOR GEO-ECOLOGICAL ESTIMATION
OF SPECIALLY PROTECTED NATURAL TERRITORIES
BY THE EXAMPLE OF SEVASTOPOL**

ABSTRACT

In the paper the possibility of using the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) for a comprehensive geo-ecological assessment of protected areas has been considered. NDVI indicates the state of protected areas' vegetation. As a model area, the Baidarskiy Reserve, which is located in the south-west of the Crimean Peninsula in the administrative borders of Sevastopol, has been investigated. The results of the NDVI calculation for the landscapes of the protected areas of the Sevastopol region in general and the Baidarskiy reserve are in particular have been given. There are 36 types of landscape have been noted for the Baidarskiy Reserve, and 56 have been presented in Sevastopol. The index is calculated using the QGIS software. It is determined that NDVI differs from 0.36 for residential complexes to 0.72 for oak and beech forests on medium slope.

The methodology for assessing the state of vegetation of protected areas using NDVI has been given. The contribution of NDVI to the geocological situation has been estimated based on the deviation of the indicator from the mean value for each type of landscape. The results are translated into points. The area of landscapes with a normal state of vegetation was 67 %, critical and crisis – 17 %. The rest of the territory (15 % of the area) is attributed to the conflict geocological situation.

Based on the analysis of NDVI and the reserves of terrestrial phytomass, the areas of deteriorated vegetation for the model zakaznik have been determined. They are located on agricultural lands, burns and sparse forests. The leading ecological role of the vegetation of the Baidarskiy Reserve for the geocological situation in the Sevastopol city has been proved.

KEYWORDS: normalized difference vegetation index (NDVI), remote sensing, GIS-technologies, protected areas, Sevastopol, Crimea

ВВЕДЕНИЕ

Геоэкологическая оценка представляет собой одну из распространённых методик комплексного определения состояния природных комплексов. Подходы к геоэкологической оценке разрабатывалась многими авторами, особенно для городских и промышленных, реже для сельскохозяйственных и рекреационных территорий [Позаченюк, 2006; Климанова, Гринфельдт, 2005]. Для природоохранных объектов количество методик оценки ограничено [Желонкина, 2005]. Так, модель геоэкологической оценки национального парка и антропогенного воздействия на него разработана для озёр парка «Нарочанский» (Беларусь). Для неё использован анализ совокупности показателей состояния природной среды (ландшафтно-экологическая оценка водосбора, положение в гидрологической системе, объём и характер притока), морфометрии и морфологии котловины, гидрофизических и гидрохимических показателей водной массы,

¹ M.V. Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Environmental Management Department, Moscow, 119991, Russia, Professor, *e-mail*: egolubeva@gmail.com

² Branch of M.V. Lomonosov Moscow State University in Sevastopol, Department of natural sciences, Faculty of Geography, Sevastopol, 299001, Russia, lecturer, *e-mail*: e_katerina.05@mail.ru

³ Branch of M.V. Lomonosov Moscow State University in Sevastopol, Department of natural sciences, Faculty of Geography, Sevastopol, 299001, Russia, Deputy Dean, *e-mail*: a_novik@bk.ru

⁴ M.V. Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Environmental Management Department, Moscow, 119991, Russia, Researcher; *e-mail*: evglukhova@gmail.com

биологических показателей, характера и распространения донных отложений, и антропогенной (уровень антропогенного воздействия) составляющей озёр [Грищенко, Воробьёва, 2010]. Интегральная оценка состояния особо охраняемых природных территорий (ООПТ) мегаполиса на примере Царицынского природно-исторического парка включает сопряжённый анализ показателей загрязнения почвы, фитоценозов, степень поражения растительности и уровень заболеваемости населения [Барабошкина, 2016].

Методика геоэкологической оценки, применимая для ООПТ, основана на сопряжённом анализе природных и антропогенных систем и включает следующие аспекты:

- установление природно-ландшафтной дифференциации;
- установление антропогенных воздействий на ландшафт;
- определение состояния ландшафтов и их отдельных компонентов;
- выяснение потенциальных возможностей ландшафтов противостоять антропогенным нагрузкам;
- определение геоэкологических ситуаций и степени их остроты;
- разработка рекомендаций по улучшению экологической обстановки [Горшков, 1998; Кочуров, 1999].

Как правило, определение состояния ландшафтов и их отдельных компонентов включает анализ различных показателей: загрязнение атмосферного воздуха, водных объектов, уровень загрязнения и трансформации почвенного и растительного покрова и др. Широкое применение в геоэкологической оценке нашли геохимические аналитические методы: количественное определение содержания химических веществ в атмосферном воздухе, водных объектах, почве и растениях. Вместе с тем трансформация растительного покрова может быть оценена на основе таких показателей, как флористический состав и структура сообщества, запасы и структура фитомассы, сомкнутость крон и общее проективное покрытие травяного яруса и др. Степень угнетения растительности отражает нормализованный относительный индекс растительности (NDVI) [Deng et al., 2009; Gillespie et al., 2018]. Высокая корреляция индекса NDVI с показателями состояния растительности позволяет перейти к дистанционным методам оценки.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве объектов исследования выбраны модельные ООПТ города Севастополя. Территория города Севастополя (86 тыс. га) отличается разнообразием природных условий, высоким биологическим и ландшафтным разнообразием, высокой степенью сохранности ландшафтов. Для сохранения природного наследия региона созданы 14 региональных ООПТ различных категорий (рис. 1). Общая площадь ООПТ Севастопольского региона достигает 23,22 тыс. га, что составляет 25 % его территории и ставит на одно из ведущих мест среди субъектов России. Оценка состояния растительности проведена для крупнейшего в регионе ландшафтного заказника «Байдарский» (24 295 га). На формирование геоэкологической ситуации в заказнике влияют такие природные факторы, как положение в межгорной котловине между Главной и Внутренней грядой Крымских гор, относительно высокое количество осадков (585 мм в год), густая речная сеть (12,2 км/км²). Среди антропогенных факторов необходимо отметить сохранение в границах заказника селитебных зон (15 сельских населённых пунктов), сельскохозяйственного производства (животноводства) и автомобильных дорог (60 км) с регулярным транспортным сообщением. В центре Байдарской долины создано Чернореченское водохранилище, что привело к трансформации прилегающих природных комплексов и повышению влажности климата. В лесах развит активный туризм и пикниковая рекреация, приводящие к дигрессии компонентов ландшафта.



Рис. 1. Схема ООПТ города Севастополя
 Fig. 1. The scheme of natural protected areas of Sevastopol

Состояние растительности определено дистанционными методами на основе индекса NDVI. Предварительная обработка включала атмосферную коррекцию методом DOS с использованием программы Scanex Image Processor. Полученные значения отражательной способности 8 и 4 каналов пересчитаны в NDVI по формуле (1):

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

Нами для получения NDVI использовалась серия снимков с космического аппарата Sentinel-2a за июнь – август 2015–2017 годов на территорию Севастополя. Для расчёта NDVI использовались 8 (ближний инфракрасный – *NIR*) и 4 (красный – *RED*) каналы, имеющие пространственное разрешение 10 м² на пиксель. Это один из самых распространённых индексов для решения различных задач оценки состояния растительного покрова и его динамики. Индекс принимает значения от 0,1 для разреженного растительного покрова тундр и пустынь до 0,9 для густых широколиственных и хвойно-широколиственных лесов.

Полевые подспутниковые работы включали геоботанические описания, укусы наземной фитомассы для травяных растительных сообществ и расчёт запасов фитомассы древесного яруса для лесов. Отбор образцов наземной фитомассы на учётных площадках размером 0,5 x 0,5 м² проведён на каждой пробной площади в трёхкратной повторности. Укусы высушивались при температуре 105 °С до абсолютно сухого состояния, взвешивались с точностью до 0,001 г и пересчитывались на 1 м² для получения среднего значения для каждой пробной площади. Полученные данные позволили рассчитать общие запасы фитомассы и содержание влаги в растениях. Пробные площади в лесных сообществах заложены в можжевельниковых, дубово-грабовых, грабовых, полидоминантных пойменных и сосновых (лесопосадках) лесах. Выполнены обмеры обхватов стволов деревьев на 20 площадках размеров 10x10 м каждая. Пересчёт объёмов древесины в вес выполнен по методике Н.Л. Беручашвили [1983].

Для создания картографического материала и последующего пространственного анализа использовалась свободная географическая информационная система QGIS.

Для интерпретации значений NDVI при геоэкологической оценке полученные данные переведены в баллы. Согласно методике, применяется 5-балльная равномерная оценочная шкала. Районы с лучшими качествами среды имеют балл 1, а худшие территории – 5 баллов. Выделены удовлетворительные, конфликтные, напряжённые и критические состояния растительности [Позаченюк, 2006].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Значения NDVI в юго-западном Крыму в административных границах Севастополя различаются от 0,2 для селитебных комплексов до 0,72 для дубовых и буковых лесов на склонах средней крутизны. Значение NDVI увеличивается с северо-запада на юго-восток, что соответствует увеличению лесных территорий и снижению площади урбанизированных земель. Локальное снижение NDVI отмечается для межгорных котловин, где размещены сельские населенные пункты и сельскохозяйственные угодья. Также NDVI снижается в редколесьях можжевельника высокого, что обусловлено структурой самого растительного сообщества. Распределение NDVI для каждого типа местности указывает на ведущее значение природных факторов при его формировании: NDVI травяных экосистем ниже, чем лесных (рис. 2).

Участки разнотравных степей, шибляковых зарослей и лесостепи характеризуются значением NDVI от 0,2 до 0,5. В ландшафтах широколиственных и сосновых лесов северного макросклона главной гряды Крымских гор NDVI находится в пределах от 0,47 до 0,72. Значения NDVI горных лугов и горной лесостепи на закарстованных плато яйлы отличаются высокими показателями – 0,63–0,67. В ландшафтах полусубтропических лесов Южного берега Крыма NDVI снижается до диапазона 0,48–0,62. Самыми низкими значениями NDVI характеризуются антропогенные ландшафты, где индекс снижается до 0,2 (табл. 1).

Для территории Байдарского заказника проанализировано 470 ландшафтных контуров, относящихся к 36 типам местности (рис. 3).

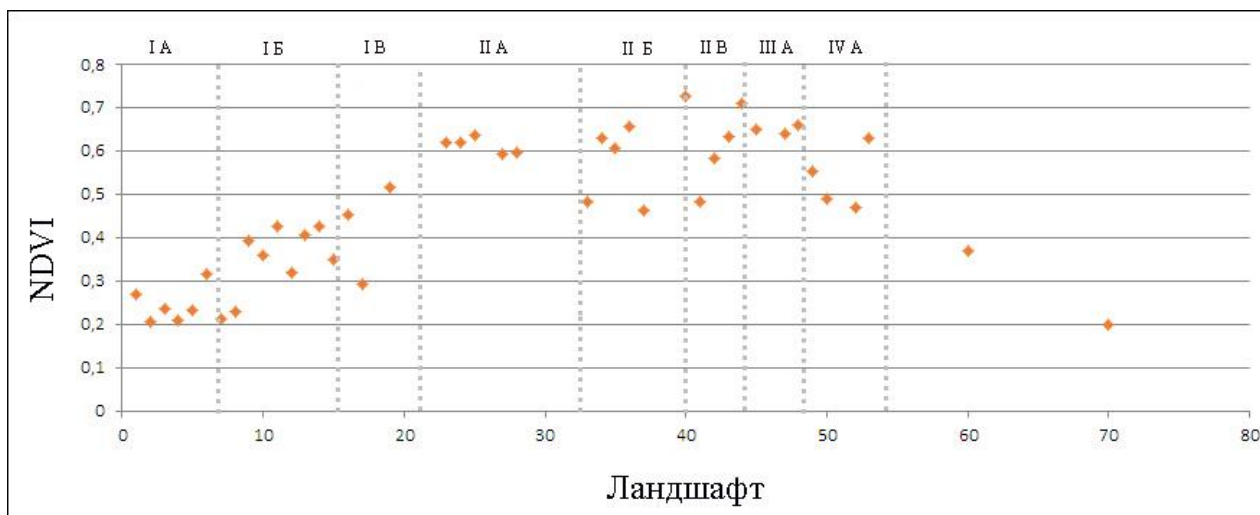


Рис. 2. Распределение NDVI для ландшафтов г. Севастополя

Fig. 2. The NDVI for natural landscapes of Sevastopol

Табл. 1. Средние значения NDVI ландшафтных зон и поясов Севастополя*

Table 1. The average NDVI of landscape zones and belts of Sevastopol

Зона	Пояс	NDVI	NDVI
I. Предгорных разнотравных степей, шибляковых зарослей, лесостепи и дубовых лесов	I.A. Приморский ингрессионно-бухтовый, абразионно-гравитационный и оползневой	0,211	0,315
	I.B. Шибляково-разнотравных степей и лесостепей на возвышенных аккумулятивных и денудационных равнинах и предгорья	0,364	
	I.B. Дубовых лесов с преобладанием пушистого дуба и шибляковых зарослей на возвышенных расчлененных денудационных равнинах предгорья	0,421	
II. Широколиственных и сосновых лесов северного макросклона гор	II.A. Дубовых и можжевельново-сосновых лесов межгорных котловин и эрозионного низкогорья	0,593	0,577
	II.B дубовых и смешанных широколиственных лесов эрозионного среднегорья	0,617	
	II.B буковых и сосновых лесов эрозионного среднегорья	0,568	
III. Горных лугов и горной лесостепи на закарстованных плато яйлы	III.A лесных и лугово-лесных плато	0,665	0,665
IV. Полусубтропических лесов Южного берега Крыма	IV.A фисташково-дубовых и можжевельново-сосновых лесов	0,483	0,483
Антропогенные		0,285	0,285

* Ландшафтная структура указана по [Гришанков, Позаченюк, 1984]

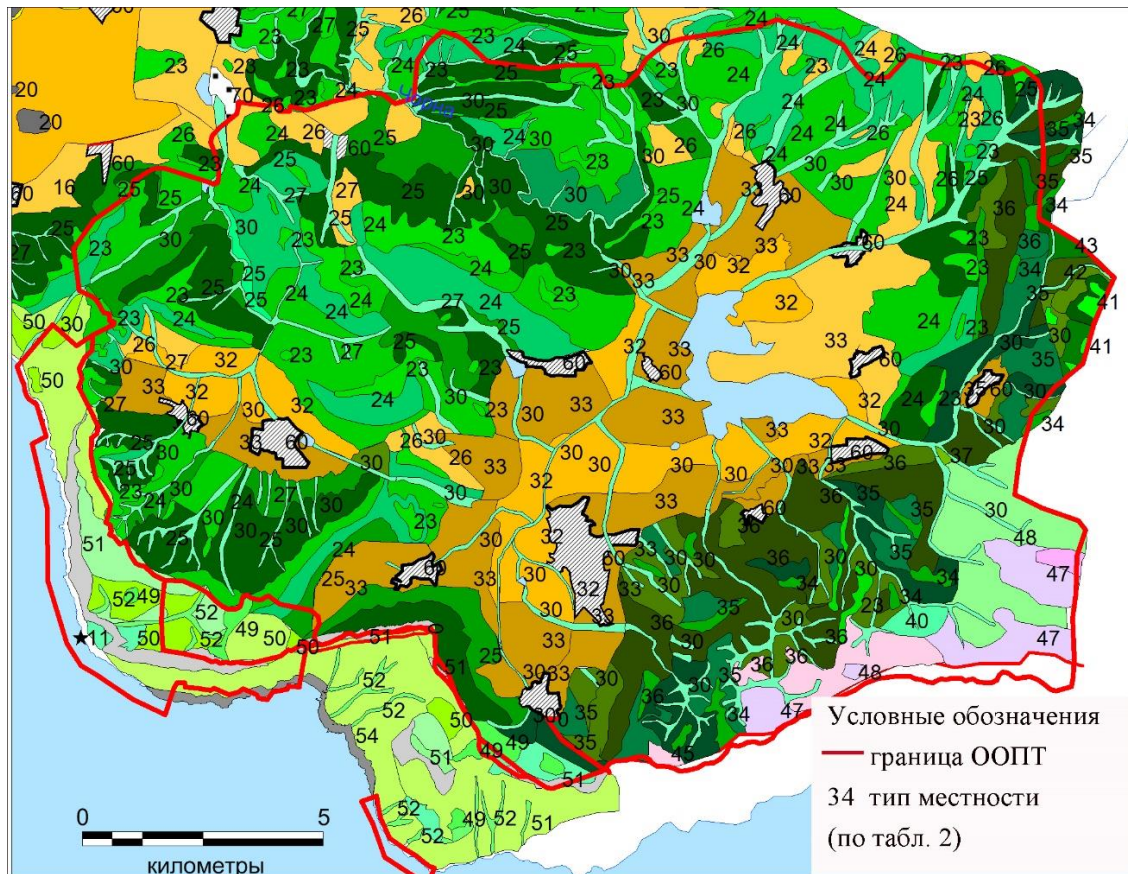


Рис. 3. Ландшафты Байдарского заказника
Fig. 3. The landscapes of the Baidarskiy Reserve

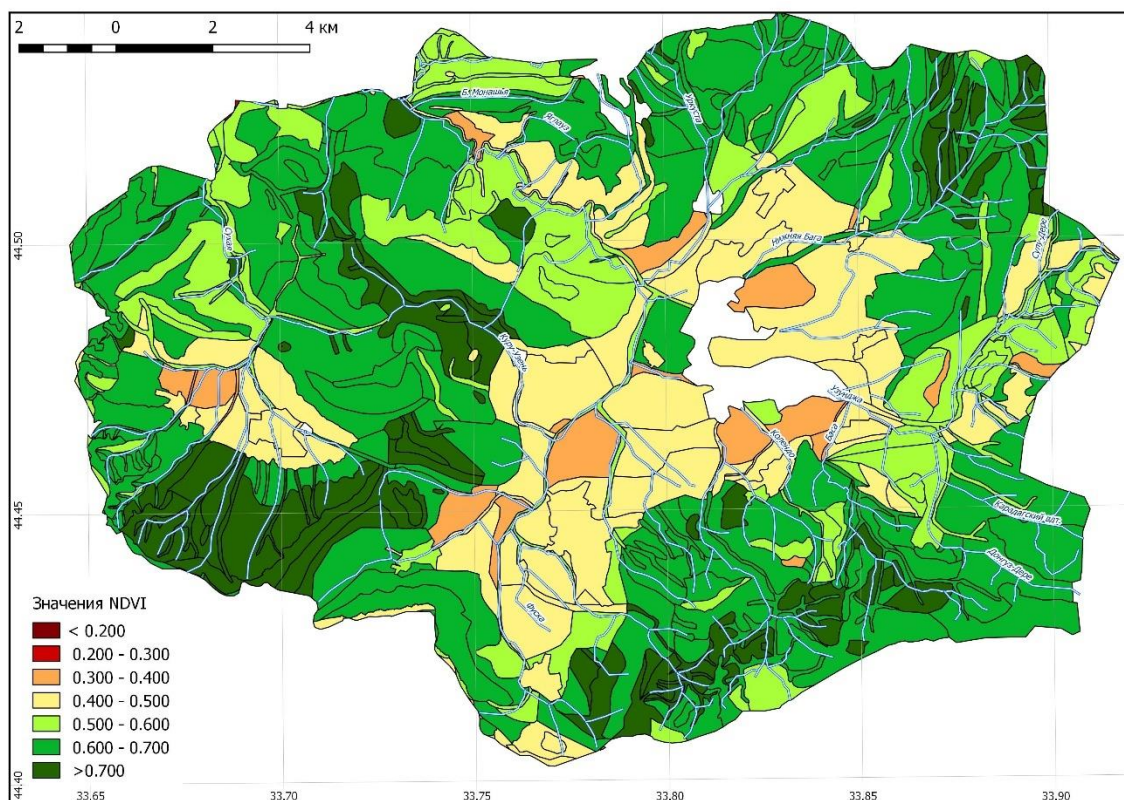


Рис. 4. Схема распределения NDVI по ландшафтам Байдарского заказника
Fig. 4. The scheme of NDVI for natural landscapes of the Baidarskiy Reserve

Табл. 2. Средний NDVI для ландшафтов Байдарского заказника
 Table 2. The average NDVI for landscapes of the Baidarskiy Reserve

Тип местности	NDVI сред.
23. Пушисто-дубовые леса в комплексе с кустарниковыми зарослями типа шибляк, разнотравными и петрофитными степями на водораздельных поверхностях	0,62
24. Полиуросово-дубовые, можжевельново-дубовые и грабинниково-дубовые леса в комплексе с кустарниковыми зарослями типа шибляк и фриганоидными степями на открытых, средней крутизны (а) и крутых (б) склонах	0,62
25. Дубовые и грабово-дубовые леса на закрытых средней крутизны (а) и крутых (б) склонах	0,64
26. Пологие лесостепные склоны и сельхозземли на их месте	0,60
27. Грабинниково-дубовые, кизилово-дубовые и грабово-дубовые леса и кустарниковые заросли типа шибляк в долинах рек и балках	0,59
28. Тополёво-ивовые, лещинно-дубовые леса в комплексе с разнотравными лугами и сельскохозяйственными землями на их месте в террасированных долинах рек	0,60
29. Скальные склоны с осыпями и фрагментами лесной и петрофитной растительности	0,46
30. Каньоны и каньонобразные долины со смешанными лесами	0,58
31. Долинно-террасовый лесолуговой и лесо-лугово-болотный в котловинах и сельхозземли на их месте	0,38
32. Лесостепные делювиально-аккумулятивные равнины котловин	0,41
33. Дубовая лесостепь на останцово-денудационных равнинах	0,48
34. Скально-дубовые леса и кустарниковые заросли в комплексе с луговыми степями на их месте на водораздельных поверхностях	0,63
35. Дубовые и можжевельниковые леса и кустарниковые заросли на открытых средней крутизны (а) и крутых (б) склонах	0,60
36. Грабово-дубовые и смешанные широколиственные леса на закрытых средней крутизны (а) и крутых (б) склонах	0,65
37. Горно-долинный с буковыми и смешанными широколиственными лесами	0,46
40. Каньоны и каньонобразные долины рек с буковыми и смешанными широколиственными лесами	0,72
41. Грабовые, грабово-буковые леса в комплексе с лугово-парковыми лесами на водораздельных поверхностях	0,48
42. Буковые, сосновые, смешанные широколиственные леса на открытых средней крутизны (а) и крутых (б) склонах	0,58
43. Буковые леса на закрытых средней крутизны (а) и крутых (б) склонах	0,63
44. Закарстованные лугово-лесные плато	0,71
45. Закарстованные лугово-лесостепные плато	0,64
47. Балочный с дубовыми лесами	0,64
48. Буковые леса на склонах	0,66
49. Парковые можжевельново-дубовые леса, кустарниковые заросли типа шибляк и петрофитные степи на водораздельных поверхностях	0,55
50. Фисташково-дубовые, можжевельново-сосновые леса и кустарниковые заросли типа шибляк на открытых средней крутизны (а) и крутых (б) склонах	0,49
51. Ступенчато-скальные склоны с фрагментами можжевельново-сосновых и дубовых лесов	0,46
60. Селитебные комплексы	0,36

Из схемы видно, что в центральных частях котловин представлены долинно-террасовые, делювиально-аккумулятивные и останцово-денудационные равнины с лесолуговыми и лесостепными фитоценозами и сельскохозяйственными землями на их месте. Борта долин – это преимущественно широколиственные и можжевельниковые леса на склонах разной крутизны. На водораздельных поверхностях представлены ландшафты лесов, кустарниковых зарослей в комплексе с луговыми и петрофитными степями. Схема распределения NDVI по ландшафтам Байдарского заказника приведена на рис. 4.

Значения NDVI ниже (0,3–0,5) в центральных частях котловин с луговыми и степными экосистемами, а также сельскохозяйственными угодьями. Среди лесных территорий NDVI ниже (0,5–0,6) в редколесьях можжевельника высокого и повышается (0,6–0,75) в дубовых, грабовых и буковых растительных сообществах. Также естественными низкими значениями NDVI характеризуются ландшафты осыпей и скальных склонов, например, по бортам Чернореченского и Узунджинского каньонов NDVI снижается до 0,4–0,5. Средние значения NDVI для каждого типа местности приведены в табл. 2.

При близком значении NDVI к среднему значению по ландшафту контуру придаётся значение 3 балла. При снижении от среднего на более, чем 15 % и 25 %, контуру присваивается 4 или 5 балла, при повышении – 2 и 1 балл соответственно. Балльная геоэкологическая оценка состояния растительности Байдарского заказника приведена на рисунке 5.

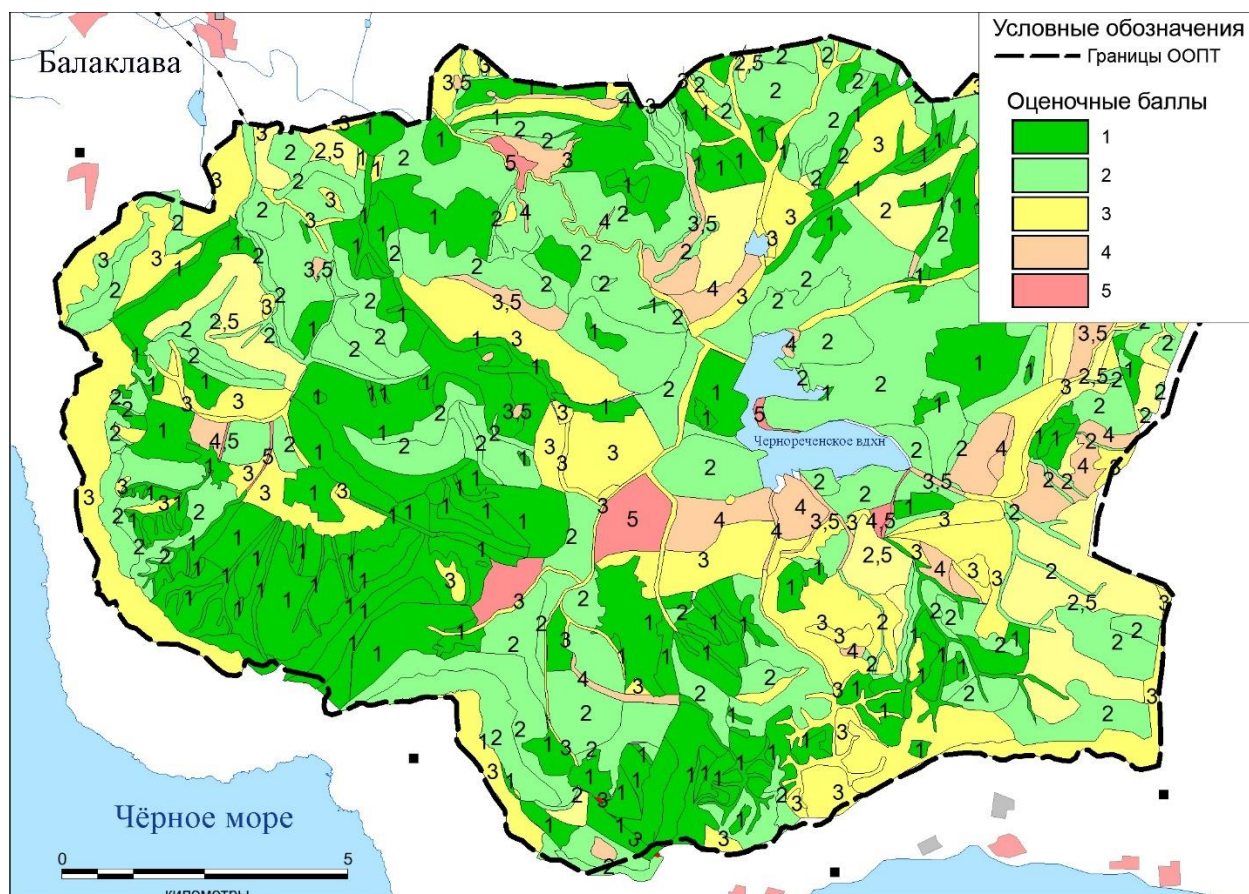


Рис. 5. Балльная геоэкологическая оценка состояния растительности Байдарского заказника

Fig. 5. The ball-point geoeological assessment of the vegetation of the Baidarskiy Reserve

Площадь ландшафтов с удовлетворительным состоянием растительности составила 67 %, критической и кризисной – 17 %. Остальная территория (15 % площади) отнесена к конфликтной геоэкологической ситуации.

На основе анализа NDVI и запасов наземной фитомассы определено, что в наиболее угнетённом состоянии находятся отдельные участки частично заброшенных сельскохозяйственных угодий в центральной части Байдарской долины. Здесь ведётся неконтролируемый выпас крупного рогатого скота, а также овец. Необходимо отметить, что такие участки занимают не всю площадь ландшафта, а имеют ограниченное распространение – не более пятой части котловинных типов местности. При естественном усыхании растительности в летний период NDVI снижался бы по всем ландшафтам с травяными экосистемами.

Также отклонения индекса отмечены для отдельных участков берега Чернореченского водохранилища, что обусловлено их периодическим затоплением. Снижается NDVI на месте пожара в можжевелевом лесу на горе Кизил-Кая в восточной части Чернореченского каньона.

Снижение индекса в северо-восточной части заказника может быть связано с активной рекреационной деятельностью и высокой плотностью туристских троп и дорог [Каширина, Новиков, 2016].

Участки ландшафтов с удовлетворительным состоянием растительности представлены дубово-грабовыми и буковыми лесами в средних и верхних частях склонов. Они менее остальных территорий вовлечены в хозяйственную деятельность. Промышленная лесозаготовка в Крымских лесах не ведётся, применяются только рубки ухода. В целом можно сделать вывод о ведущей средообразующей роли лесной растительности Байдарского заказника при формировании геоэкологической ситуации в городе Севастополе [Каширина, Голубева, 2018].

Таким образом, предложенная методика позволяет оценить состояние растительности при проведении геоэкологической оценки территории ООПТ.

ВЫВОДЫ

Использование NDVI эффективно для анализа состояния растительного покрова ООПТ. Методика определения состояния растительности ООПТ основана на анализе отклонения NDVI каждого ландшафтного контура от среднего значения индекса для всего типа местности.

Рассчитанные показатели индекса и его отклонений от среднего позволили выявить территориальные особенности состояния растительности и выделить участки угнетённой растительности для модельного заказника. Для большей части (67 %) территории модельного заказника характерно удовлетворительное состояние растительности. Определено, что участки угнетённой растительности расположены на сельскохозяйственных угодьях, местах пожаров и редколесий. Рекреационная нагрузка, неконтролируемый выпас скота, пожары – антропогенные факторы, приводящие к угнетению растительности, что выражается в локальном снижении NDVI. Среди природных факторов снижение NDVI обусловлено колебаниями уровня водоёмов, редколесной растительностью, обвально-оползневыми процессами.

Полученные данные могут быть использованы для управления ООПТ города Севастополя.

БЛАГОДАРНОСТИ

Выполнено при частичной поддержке РФФИ, проекты № 18-05-60221 и № 18-45-920045 р_а.

ACKNOWLEDGEMENTS

The study was partially funded by the Russian Foundation of Basic Research, No 18-05-60221 and No 18-45-920045 p_a.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Барaboшкiна Т.А.* Интегральная оценка состояния особо-охраняемых территорий мегаполиса. Интерактивная наука, 2016. № 10. С. 27–30.
2. *Беручашвили Н.Л.* Методика ландшафтно-геофизических исследований и картографирования состояний природных территориальных комплексов. Тбилиси: Издательство ТГУ, 1983. 200 с.
3. *Горшков С.П.* Концептуальные основы геоэкологии: Учебное пособие. Смоленск: Издательство Смоленского гуманитарного университета, 1998. 448 с.
4. *Гришанков Г.Е., Позаченюк Е.А.* Ландшафтная карта Крыма. 1984. Деп. ВИНТИ 12.10.84. № 3389.
5. *Грищенко Н.Д., Воробьёва Д.С.* Геоэкологическое состояние природных территориальных и аквальных комплексов национального парка «Нарочанский» в целях развития туристско-рекреационного комплекса. Учёные записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия «География», 2010. Т. 23 (62). № 3. С. 306–309.
6. *Желонкина Е.Э.* Геоэкологическая оценка заповедных территорий Ханты-Мансийского автономного округа и пути рационального природопользования: Дис. ... канд. геогр. наук: 25.00.36: М., 2005. РГБ ОД, № 61:05-11/225. 244 с.
7. *Каширина Е.С., Голубева Е.И.* Ландшафтная репрезентативность особо охраняемых природных территорий Севастополя. Вестник Московского университета. Серия 5: География, 2018. № 1. С. 108–111.
8. *Каширина Е.С., Новиков А.А.* Использование ГИС для расчёта рекреационных нагрузок на особо охраняемых природных территориях. Интер Карто. Интер ГИС: геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий в условиях глобального изменения климата. Материалы Междунар. конф. 11–13 сентября 2016 г. Протвино, 2016. Т. 22. Ч. 1. С. 174–181. DOI: 10.24057/2414-9179-2016-2-22-174-181.
9. *Климанова О.А., Гринфельдт Ю.С.* Оптимизация рекреационного использования полуострова Икакос (Куба). Вестник Московского университета. Серия 5: География, 2005. № 6. С. 43–47.
10. *Кочуров Б.И.* Геоэкология: экодиагностика и эколого-хозяйственный баланс территории. Смоленск: Издательство Смоленского государственного ун-та, 1999. 154 с.
11. *Позаченюк Е.А.* Экологическая экспертиза: природно-хозяйственные системы. Монография. Симферополь, 2006. 473 с.
12. *Deng Y., Goodchild M. F., Chen X.* Using NDVI to define thermal south in several mountainous landscapes of California. Computers & Geosciences, 2009. № 35. P. 327–336.
13. *Gillespie T.W., Ostermann-Kelmb S., Donga C., Willis K.S., Okina G.S., MacDonalda G.M.* Monitoring changes of NDVI in protected areas of southern California. Ecological Indicators, 2018. № 88. P. 485–494.

REFERENCES

1. *Baraboshkina T.A.* Integrated assessment of the state of protected areas of the metropolis. Interactive science, 2016. No 10. P. 27–30 (in Russian).
2. *Beruchashvili N.L.* Methods of landscape-geophysical research and mapping of natural territorial complexes. Tbilisi: TSU Publishing House, 1983. 200 p. (in Russian).
3. *Deng Y., Goodchild M. F., Chen X.* Using NDVI to define thermal south in several mountainous landscapes of California. Computers & Geosciences, 2009. No 35. P. 327–336.

4. Gillespiea T.W., Ostermann-Kelmb S., Donga C., Willisa K.S., Okina G.S., MacDonalda G.M. Monitoring changes of NDVI in protected areas of southern California. *Ecological Indicators*, 2018. No 88. P. 485–494.
 5. Gorshkov S.P. Conceptual foundations of geocology: Textbook. Smolensk: Publishing house of Smolensk Humanitarian University, 1998. 448 p. (in Russian).
 6. Grishankov GE, Pozachenyuk E.A. The Landscaping map of Crimea. Moscow, 1984. Dep. in All-Russian Institute of Scientific and Technical Information 12.10.84. No 3389 (in Russian).
 7. Grishchenko N.D., Vorobyova D.S. Geoenvironmental state of the natural territorial and aquatic complexes of the national park “Narochansky” for the development of the tourist and recreational complex. *Scientific notes of the Taurida National University named after V.I. Vernadsky. Series “Geography”*, 2010. V. 23 (62). No 3. P. 306–309 (in Russian).
 8. Kashirina E.S., Golubeva E.I. The landscape representativeness of nature protection areas in Sevastopol. *Moscow University Bulletin. Series 5. Geography*, 2018. No 1. P. 108–111 (in Russian).
 9. Kashirina E.S., Novikov A.A. Using of GIS for estimation of the recreational loads on natural protected areas. *InterCarto. InterGIS. Proceedings of the International conference. Protvino, 2016. V. 22. Part 2. P. 174–181. DOI: 10.24057/2414-9179-2016-2-22-174-181* (in Russian, abs English).
 10. Klimanova O.A., Grinfeldt Yu.S. Optimization of the recreational use of the Ikakos Peninsula (Cuba). *Moscow University Bulletin. Series 5. Geography*, 2005. No 6. P. 43–47 (in Russian).
 11. Kochurov B.I. *Geocology: eco-diagnostics and ecological and economic balance of the territory*. Smolensk: Publishing house of Smolensk Humanitarian University, 1999. 154 p. (in Russian).
 12. Pozachenyuk E.A. *Ecological expertise: natural-economic systems*. Simferopol, 2006. 473 p. (in Russian).
 13. Zhelonkina E.E. *Geocological assessment of the protected areas of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug and ways of rational nature management*. Dissertation for a degree of phd in Geographical Sciences: 25.00.36: Moscow, 2005. RSL Department of Dissertations, No 61:05-11/225. 244 p. (in Russian).
-