

А. П. ГУСЕВ, И. А. ШАВРИН, И. И. КОЗЮЛЕВ

## ВЕГЕТАЦИОННЫЕ ИНДЕКСЫ КАК ИНДИКАТОРЫ ЭРОДИРОВАННОСТИ ПОЧВ В УСЛОВИЯХ ЛАНДШАФТОВ БЕЛАРУСИ

*УО «Гомельский государственный университет имени Франциска  
Скорины», г. Гомель, Беларусь,  
[gusev@gsu.by](mailto:gusev@gsu.by)*

*В ходе исследований изучено возможность использования вегетационных индексов для оценки эродированности почвенного покрова. Для диагностики использованы снимки спутников Sentinel-2. Установлено, что наилучшим индикатором эродированности среди всех рассмотренных индексов является NDVI.*

*Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли, вегетационной индекс, индикатор, эрозия почв, Беларусь*

Космические методы широко используются для мониторинга сельскохозяйственных земель и урожайности культур [5, 4, 3]. Многозональная космическая съемка среднего и высокого разрешения позволяет оценивать степень деградации почвенного покрова под воздействием водной и ветровой эрозии, засоления и т.д. Оценка процессов деградации почв может осуществляться по спектрально-отражательным свойствам непосредственно почв (без растительности), так по спектрально-отражательным свойствам растительного покрова, зависящего от состояния почв. Во втором случае индикатором состояния почв могут быть вегетационные (спектральные) индексы. Вегетационные индексы коррелируют зеленой фитомассой и продуктивностью растительности [4]. Эродированность почв влияет на плодородие почв, что в свою очередь, сказывается на фитомассе и других характеристиках растительности [2]. По мере роста эродированности почв их плодородие снижается и соответственно снижается фитомасса и продуктивность растительности как культурной в агрофитоценозах на пахотных землях, так и рудеральной на техногенных пустырях. Эти изменения влияют на спектрально-отражательные свойства земной поверхности. Таким образом, вегетационные индексы могут характеризовать состояние как отдельных компонентов, так и ландшафтов в целом, а динамика

вегетационных индексов отражать изменения экологического состояния объектов [1].

Цель работы – изучение возможности использования вегетационных индексов (на основе космических снимков Sentinel-2) для оценки эродированности почвенного покрова. Решаемые задачи: выбор ключевых участков, характеризующихся различной степенью эродированности почвенного покрова; расчет вегетационных индексов по данным космической съемки спутников Sentinel-2; выяснения взаимосвязи между значениями вегетационных индексов и степенью эродированности почвенного покрова.

Для выяснения возможности спектральных индексов для оценки эрозионных процессов были выбрано 65 ключевых участков, площадью от 5 до 80 га, на которые маршрутным методом визуально оценивалась деградация почвенного покрова (по критериям [2]). Ключевые участки представляли пахотные угодья и техногенные пустыри.

На основе серии снимков Sentinel-2 (08.04.2018, 01.05.2018, 26.05.2018, 20.06.2018, 11.08.2018, 26.08.2018, 20.09.2018, 18.10.2018) были рассчитаны значения вегетационных (спектральных) индексов (NDVI, GDVI, SWVI, GSI) для каждого ключевого участка ([таблица 1](#)).

На первом этапе все ключевые участки были сгруппированы по 5 категориям: без почв (открытые грунты); сильноэродированные почвы; среднеэродированные почвы; слабоэродированные и неэродированные почвы.

Для каждой группы были рассчитаны средние значения индексов для всей серии снимков. Сравнение с помощью критерия Манна-Уитни показало, что между сильноэродированными и среднеэродированными, а также между слабоэродированными и неэродированными почвами достоверная разница отсутствует. Достоверные отличия ( $p < 0,01$ ) по критерию Манна-Уитни наблюдаются в случае группировки ключевых участков по 3 категориям: без почв (открытые грунты); сильно- и среднеэродированные почвы; слабо- и неэродированные почвы.

Наилучшим индикатором эродированности среди всех рассмотренных индексов следует признать NDVI. Связь между NDVI и степенью эродированности почв обусловлена влиянием последней на продуктивность растительного покрова: чем выше эродированность (следовательно, ниже содержание гумуса, азота, выше кислотность [0]), тем ниже продуктивность (NDVI). Достоверные отличия критерию Манна-Уитни ( $p < 0,01$ ) друг от друга всех трех категорий прослеживаются в течение всего вегетационного сезона, но лучше всего выражены в августе-сентябре.

**Таблица 1 – Вегетационные индексы как индикаторы эродированности почв (по снимкам Sentinel-2)**

Индекс		Без почв (открытые грунты) (n=5)*	Сильно- и средне- эродированные почвы (n=39)	Слабо- и неэродированные почвы (n=20)
1		2	3	4
NDVI	Среднее	<u>0,178</u>	<u>0,495</u>	<u>0,712</u>
	Стандартное отклонение	0,08	0,08	0,08
	Минимальное	0,12	0,16	0,50
	Максимальное	0,24	0,85	0,89
GDVI	Среднее	<u>0,310</u>	<u>0,560</u>	<u>0,695</u>
	Стандартное отклонение	0,05	0,05	0,05
	Минимальное	0,26	0,35	0,56
	Максимальное	0,36	0,81	0,81
SWVI	Среднее	-0,11	<u>0,01</u>	<u>0,190</u>
	Стандартное отклонение	0,08	0,08	0,09
	Минимальное	-0,08	-0,27	-0,13
	Максимальное	-0,15	0,38	0,43
GSI	Среднее	0,19	<u>0,16</u>	<u>0,12</u>
	Стандартное отклонение	0,02	0,03	0,03
	Минимальное	0,18	0,08	0,00
	Максимальное	0,22	0,25	0,20

Примечание: \* – число ключевых участков; подчеркнуты достоверно отличающиеся ( $p < 0,05$ ) по критерию Манна-Уитни соседние значения

Значения GDVI по градиенту эродированности изменяются в 2-3 раза. Участки открытых грунтов имеют значения этого индекса 0,26-0,36, тогда как слабо- и ненарушенные почвы – 0,56-0,81. Между выделенными категориям эродированности различия по критерию Манна-Уитни достоверны (как для летних месяцев, так и средние для всего вегетационного периода). Механизм взаимосвязи между GDVI и эродированностью почв следующий: чем выше эродированность, тем меньше проективное покрытие растительности (и соответственно «зеленость» отражающей поверхности) и соответственно ниже значения GDVI. Поскольку между NDVI и GDVI имеет место высокая степень корреляции (коэффициент корреляции Спирмена составляет 0,9), то вполне можно обходиться одним из них.

SWVI в данном случае «плохой» индикатор эродированности почв, поскольку выделить достоверно отличающиеся друг от друга даже 3 категории нам не удалось. В случае весенних и осенних снимков вообще отсутствует какая-либо закономерность в колебаниях SWVI по категориям эродированности почв. Для летних снимков достоверные отличия наблюдаются только для двух категорий эродированности: между сильно- и среднеэродированными и слабо- и неэродированными почвами.

Кроме, спектральных индексов, показывающих реакцию растительности на эродированность почвенного покрова, имеются индексы, основанные на отражательной способности собственно поверхности почв. К таким индексам относится GSI (Topsoil Grain Size Index). Успешное применение этого индекса как индикатора эродированности может быть обусловлено преобладанием в регионе песчаных почв. Из таблицы видно, что по мере роста эродированности увеличиваются значения GSI, что, вероятно, обусловлено изменениями проективного покрытия растительности: чем выше эродированность, тем меньше покрытие растительности, тем больше площадь обнаженных песчаных почв или грунтов и соответственно больше значения GSI. Поскольку достоверные отличия по GSI между открытыми грунтами и сильно- и среднеэродированными почвами отсутствуют, что использовать этот индекс в качестве индикатора эродированности почв в условиях полесских ландшафтов смысла не имеет.

### Список литературы

1 Гусев А. П. Дистанционные индикаторы ландшафтно-экологических тенденций (на примере юго-востока Беларуси) / А. П. Гусев // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. География. Геология. – 2019. – Том 5 (71). – №3. – 127-135.

2 Заславский, М. Н. Эрозия почв / М. Н. Заславский. – М.: Мысль, 1979. – 245 с.

3 Терехин, Э. А. Применение данных дистанционного зондирования для мониторинга посевов озимых культур Белгородской области / Э.А. Терехин // География и природные ресурсы. – 2015. – №3. – С. 175-181.

4 Терехов, А. Г. Принципы агроландшафтного районирования пахотных земель Северного Казахстана по данным Landsat и MODIS / А. Г. Терехов, И. С. Витковская, М. Ж. Батырбаева, Л. Ф. Спивак // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2010. – Т. 7. – № 3. – С. 292–304.

5 Шукилович, А. Ю. Применение сенсора Modis для оперативного мониторинга земель сельскохозяйственного назначения / А. Ю. Шукилович, Е. В. Федотова, Ю. А. Маглинец // Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies. – 2016. – №9 (7). – С. 1035-1044.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ