

РАЗДЕЛ 2.

ФИЗИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ И КЛИМАТОЛОГИЯ, ГЕОГРАФИЯ ПОЧВ И ГЕОХИМИЯ ЛАНДШАФТОВ

УДК 911.52

РОЛЬ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ В ФОРМИРОВАНИИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ ЛАНДШАФТОВ ЛОКАЛЬНОГО УРОВНЯ НА ПРИМЕРЕ ГОРНОГО КРЫМА

Вахрушев Б. А.¹, Кутикова Е. В.²

*^{1,2}Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, Симферополь, Российская Федерация
E-mail: ¹vakhb@inbox.ru, ²pizova13@mail.ru*

В статье представлены результаты исследования роли геоморфологических и топографических факторов в распределении пространственной структуры растительного покрова в пределах локального участка предгорного ландшафтного уровня Горного Крыма. В качестве интегрального индикатора состояния растительности использован вегетационный индекс EVI (Enhanced Vegetation Index), рассчитанный на основе спутниковых снимков Landsat 8. Анализ выполнен по 43 полигональным участкам (балки, водоразделы, пойма, склоны северной, восточной, южной, западной экспозиций), для которых были получены средние значения EVI и основные морфометрические характеристики рельефа: экспозиция и крутизна склонов, топографический индекс влажности (TWI), абсолютная высота. Статистические вычисления включали корреляционный анализ Спирмена, однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA) с пост-хок тестом Тьюки и множественную линейную регрессию. Установлено, что среди рассмотренных факторов наибольшее влияние на распределение растительной активности оказывает экспозиция склона, в частности, для рассматриваемого локального участка — северо-восточные. Полученные результаты могут быть использованы при ландшафтно-экологическом обосновании природопользования и территориальном планировании.

Ключевые слова: вегетационный индекс EVI, геоморфологические факторы, экспозиция склона, ландшафт, Крымское предгорье, дистанционное зондирование.

ВВЕДЕНИЕ

В отечественном ландшафтоведении особое внимание всегда уделялось геоморфологической основе. В работах Исаченко А. Г. и Сочавы А. М. [1, 2] подчёркивалось, что рельеф формирует пространственный каркас геосистемы и задаёт условия для перераспределения энергии, влаги и вещества, определяя тем самым расположение и свойства природных комплексов локального уровня. Исследованием влияния геоморфологических факторов на организацию ландшафтов так же занимались Гвоздецкий Н. А., Преображенский В. С. [3, 4]. Пространственная структура растительного покрова формируется под совокупным влиянием климатических, геолого-геоморфологических, гидрологических, биотических и антропогенных факторов. В качестве интегрального индикатора этого взаимодействия нами был использован вегетационный индекс EVI (Enhanced Vegetation Index), разработанный исследователями из команды NASA - Альфредо

РОЛЬ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ В ФОРМИРОВАНИИ
ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ ЛАНДШАФТОВ ЛОКАЛЬНОГО УРОВНЯ
НА ПРИМЕРЕ ГОРНОГО КРЫМА

Хуэте и его коллегами [5]. Вегетационный индекс EVI лучше учитывает влияние атмосферы и фоновой поверхности (например, почвы), что делает его более точным в регионах с густой растительностью.

Принимаем условие, что вегетационный индекс — это **классический и мощный результирующий показатель организации ландшафта**, он выступает в роли **интегрального отклика** всей ландшафтной системы на совокупное действие формирующих ее геоэкологических факторов. Это результирующий показатель состояния сложно организованной геосистемы.

Расчёт вегетационных индексов, включая EVI, основан на разнице в отражении растениями света в красной и ближней инфракрасной зонах спектра, хорошо рассматриваемом на космических снимках, выполненных со спутника Landsat 8 в диапазонах 0,63-0,68 мкм (красный, Band 4) и 0,845-0,885 мкм (ближний инфракрасный, Band 5). Красный свет активно поглощается хлорофиллом, а клеточные структуры листа — отражают инфракрасное излучение. Поэтому, когда на лист падает солнечный свет (который содержит все длины волн, включая красный), хлорофилл "забирает" почти весь красный свет. В результате **здоровый, плотный растительный покров очень слабо отражает красный свет**. Чем больше хлорофилла в листьях, тем меньше красного света они отражают. **В ближней инфракрасной зоне спектра** внутренняя структура листьев (мезофилл) наоборот, очень хорошо **отражает** ближний инфракрасный свет. Растение почти не использует эту энергию, поэтому она отражается. Чем выше фотосинтетическая активность растений, тем ниже отражение в красной зоне и выше в инфракрасной — эти дешифрировочные признаки хорошо читаются на космоснимках. Различия коэффициентов спектральной яркости растений и их частей обуславливаются составом и состоянием пигментов растительных и покровных тканей, морфологией растения в целом, возрастом, экологическими условиями [6, 7].

Топографические и геоморфологические параметры, такие как высота, крутизна и экспозиция склона, формы и элементы рельефа, опосредованно через перераспределение тепла и влаги, определяют характер почвенного и растительного покрова [8, 9]. Карта распределения вегетационного индекса EVI — это, по сути, карта дифференциации ландшафта. Она наглядно показывает границы между природными комплексами (урочищами, фациями), которые возникли из-за различий в фундаментальных факторах (рельеф, литология, увлажнение и др.) организации ландшафта, отражает продуктивность и густоту растительности. Таким образом, вегетационный индекс как результирующий показатель организации ландшафта показывает какие процессы и факторы привели к наблюдаемым свойствам ландшафта.

Цель статьи — оценить вклад геоморфологических факторов, определяющих геоэкологические условия территории, в формировании пространственной неоднородности ландшафтов предгорья Главной гряды Крыма с использованием вегетационного индекса EVI.

Объект исследования — рельеф и ландшафты локального участка, расположенных в пределах северо-западного Горного Крыма.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для каждого полигона (поверхность выделенных элементов и форм рельефа в своих границах) объекта исследования рассчитаны средние значения EVI, на основе спутниковых снимков Landsat 8, полученных из общедоступного некоммерческого архива в сети Internet на сайте <http://glovis.usgs.gov> (Earth Resources Observation and Science Center (EROS), U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey) [10]. Для проведения статистического анализа использованы данные по 43 полигональным участкам, расположенных в пределах изучаемой территории. На основе цифровой модели рельефа [10] построены карты экспозиции, крутизны склона, топографического индекса влажности TWI (количественный показатель, применяемый для оценки потенциального накопления влаги в почве на основе рельефа местности) [11], абсолютных высот, элементов и форм рельефа в ГИС-платформе Qgis Desktop 3.40.12. Расчеты проводились с использованием модуля Processing Toolbox → SAGA GIS → Terrain Analysis (алгоритм «Topographic Wetness Index») и Raster Terrain Analysis.

Статистический анализ включал корреляцию Спирмена для оценки связи между количественными топографическими параметрами и вегетационным индексом EVI, однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA) с последующим применением пост-хок теста Тьюки для сравнения средних значений EVI между склонами разной экспозиции. Расчеты выполнены в программе JASP.

Модель множественной линейной регрессии построена и проанализирована в том же программном обеспечении. В качестве предикторов включены: тригонометрические компоненты экспозиции склона (Sin и Cos), средняя крутизна, топографический индекс влажности TWI и фиктивные переменные для элементов и форм рельефа (балка, пойма, водораздел; базовая категория — «склон»). Высота над уровнем моря исключена из модели из-за высокой корреляции с другими параметрами.

Данные методы были выбраны в связи с тем, что благодаря им можно не только выявить наличие или отсутствие связей между переменной EVI и факторами предикторами, но и доказать их статистическую значимость и достоверность с помощью показателя p -value, при этом значение $p < 0,05$ свидетельствует о том, что выявленные связи маловероятно возникли случайно.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Выявление главных геоморфологических и топографических факторов, определяющих пространственное распределение вегетационного индекса EVI в предгорье Главной гряды Крымских гор, производилось на примере ключевого участка (рис. 1). Исследуемый участок расположен в Балаклавском районе в 860 метрах к северу от села Родное. На северо-востоке район исследования занимает часть сельского поселения Терновка. В северо-восточной части участка протекает река Ай-Тодорка. В его пределах расположены следующие вершины: Чамхалых-Бурун (273 м н. у. м.), Устен-Тепе (276 м н. у. м.) и Зыбук-Тепе (451 м н. у. м.).

РОЛЬ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ В ФОРМИРОВАНИИ
ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ ЛАНДШАФТОВ ЛОКАЛЬНОГО УРОВНЯ
НА ПРИМЕРЕ ГОРНОГО КРЫМА

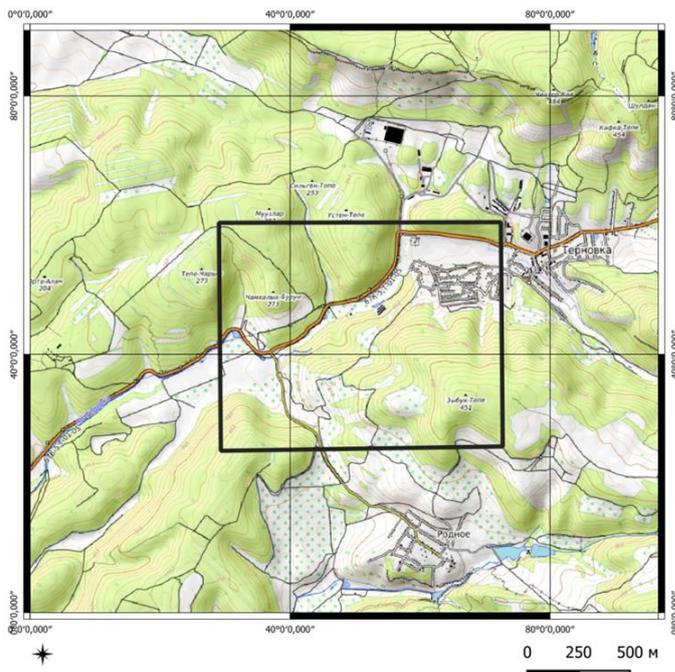


Рис. 1. Географическое положение исследуемого участка предгорного ландшафтного уровня.

Составлено авторами.

1. Предварительный анализ пространственной изменчивости. Для рельефа объекта исследования характерны небольшие перепады высот, слабо расчленённый рельеф. Диапазон распределения высоты над уровнем моря 150–450 м. Наибольшее число полигонов обладает высотами 200–250 м (рис. 2).

Гистограммы распределения показали, что территория характеризуется от умеренной до высокой растительной активностью (EVI 0,5–0,70). Большинство полигонов имеют среднее значение EVI (0,48). На рисунке 2 видно, что преобладают пологие и умеренно крутые склоны (от 1° до 17,5°). Пик гистограммы распределения крутизны приходится на 13–14°, много участков с уклоном около 9 градусов. Почти нет крутых склонов (>16°). Есть небольшое количество участков с уклоном <3° — возможно, днища долин или равнины. Территория преимущественно холмистая с умеренным уклоном; мало плоских и очень крутых участков - благоприятна для сельского хозяйства.

Диапазон распределение топографического индекса влажности TWI: 6–16 — от умеренно влажных до очень влажных участков. Наибольшее количество полигонов выявлено при TWI 6–7 — большинство участков имеют низкую/умеренную влажность. Очень мало участков с TWI >12 значит, почти нет постоянно увлажнённых зон. TWI = 16 — единичные точки, возможно, днища оврагов или родники.

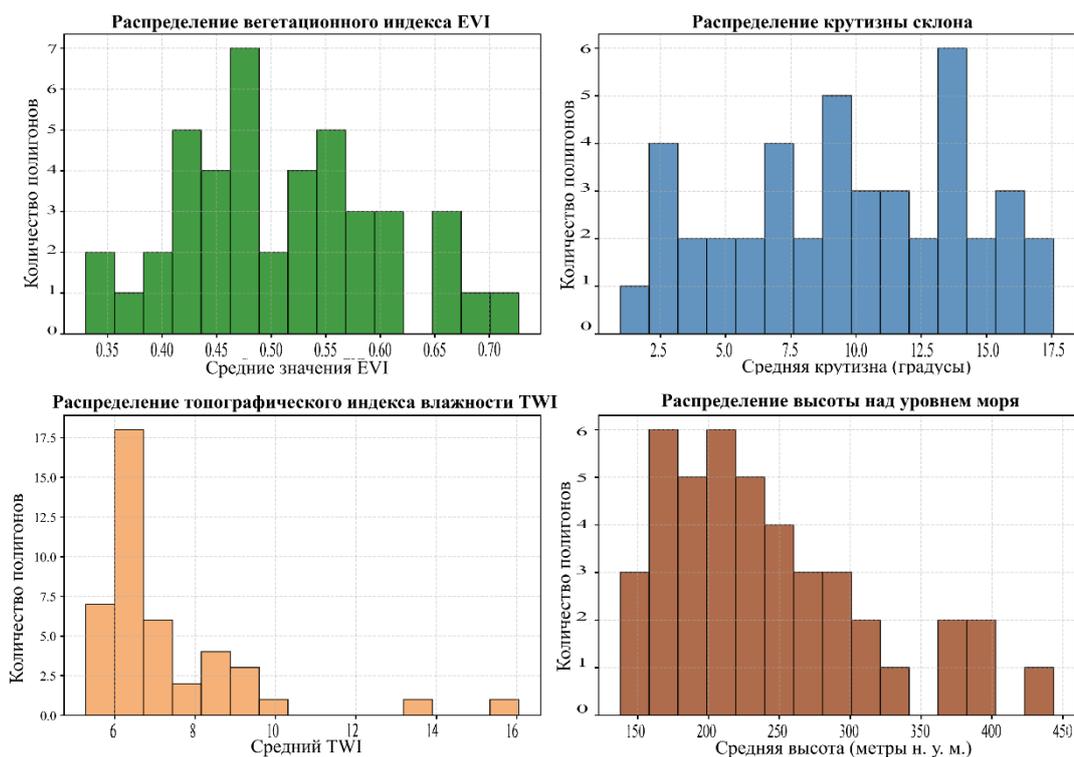


Рис. 2. Распределение ключевых ландшафтных характеристик по полигонам территории.

Составлено авторами.

2. Корреляционный анализ Спирмена. На исследуемой территории наиболее выраженная взаимосвязь выявлена между крутизной склона и топографическим индексом влажности (0,51) – соответствует логике, что крутым склонам свойственна низкая влажность почв, а влажные зоны сосредоточены в относительно плоских понижениях рельефа.

Таблица 1.

Данные результатов расчета корреляции Спирмена

	EVI_mean	Slope_mean	TWI_mean	Elevation_mean
EVI_mean	1	0,18	-0,19	-0,1
Slope_mean	0,18	1	-0,51	0,21
TWI_mean	-0,19	-0,51	1	-0,36
Elevation_mean	-0,1	0,21	-0,36	1

Составлено авторами.

Отрицательная корреляция между TWI (топографическим индексом влажности) и EVI (вегетационный индекс) может указывать на то, что самые влажные участки

РОЛЬ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ В ФОРМИРОВАНИИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ ЛАНДШАФТОВ ЛОКАЛЬНОГО УРОВНЯ НА ПРИМЕРЕ ГОРНОГО КРЫМА

(долины) либо не покрыты растительностью (например, заняты под дороги, также из спутникового снимка видны пашни (коричневые/серые участки), которые могут иметь низкий EVI). Помимо этого, TWI — указывает на то, где вода может накапливаться, но не учитывает: тип почвы, глубину залегания грунтовых вод.

Связь вегетационного индекса EVI с топографическими параметрами очень слабая (0,2), что говорит о доминирующем влиянии других факторов на распределение растительности.

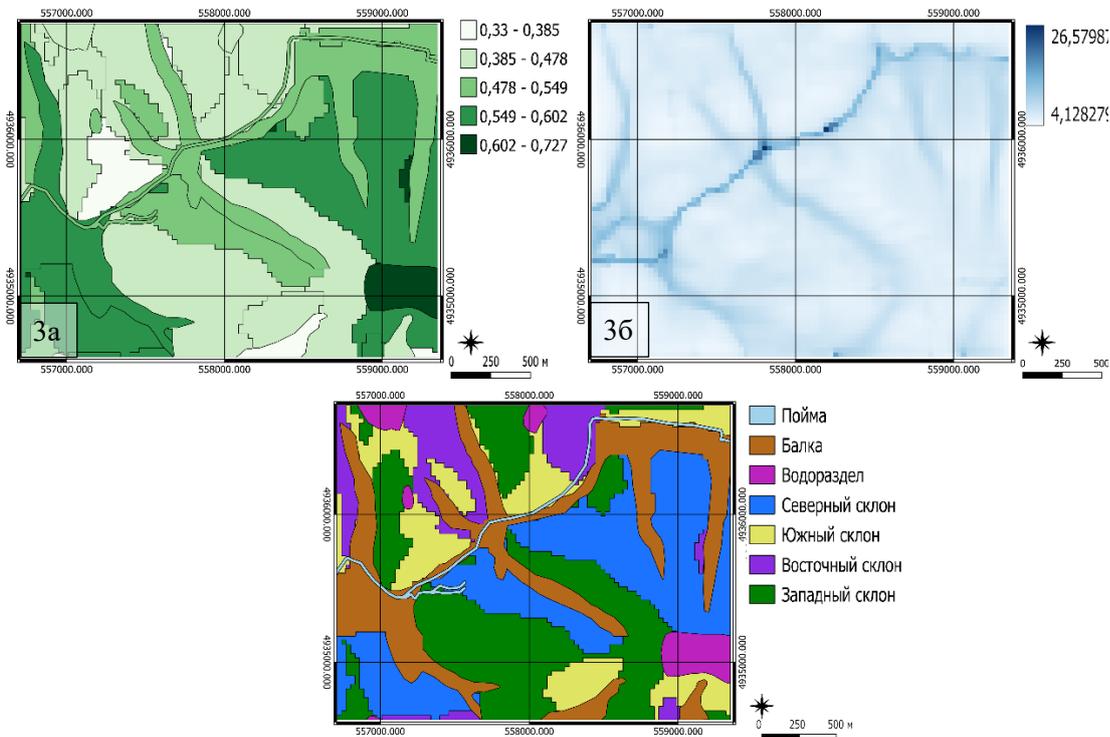


Рис. 3. Распределение средних значений вегетационного индекса EVI по местоположениям (3а) и топографического индекса влажности (TWI) (3б), элементы и формы рельефа локального участка (3в).

Составлено авторами.

3. Влияние экспозиции склона дисперсионный анализ (ANOVA).

Дисперсионный анализ (ANOVA) проводился с целью проверить влияет ли направление склона на исследуемую величину (EVI). Проанализированы направления: северные, восточные, западные, южные склоны.

Отношение межгрупповой дисперсии к внутригрупповой ($F = 3,28$) достаточно значимое $n=33$ (количество контуров разной экспозиции), говорит о наличии различий в средних показателях EVI между склонами разной экспозиции. Так как $p\text{-value} = 0,0348$, что ниже порога 0,05 (условная граница, которую принято использовать как приемлемый риск ошибиться) [12], с вероятностью ошибки менее чем в 5% случаев мы можем

утверждать, что хотя бы одно из направлений склона действительно отличается по среднему значению от других. Для того чтобы выявить какое именно необходимо использовать метод множественных сравнений (пост-хок тест Тьюки).

Таблица 2.

Результаты дисперсионного анализа ANOVA

Источник вариации	Сумма квадратов	df степени свободы	F-статистика	PR(>F) (p-значение)
Межгрупповая вариация средних EVI	0,0782	3	3,28	0,0348
Внутригрупповая вариация средних EVI	0,2303	29	-	-

Составлено авторами.

Таблица 3.

Результаты пост-хок теста Тьюки

Группа 1	Группа 2	Разница средних значений	p-adj	lower	upper
Западный склон	Восточный склон	-0,0731	0,2673	-0,1801	0,034
Северный склон	Восточный склон	-0,0133	0,996	-0,1752	0,1486
Южный склон	Восточный склон	-0,1244	0,0292	-0,2388	-0,0099
Северный склон	Западный склон	0,0598	0,7281	-0,0969	0,2165
Южный склон	Западный склон	-0,0513	0,5669	-0,1584	0,0558
Южный склон	Северный склон	-0,1111	0,2629	-0,273	0,0508

Составлено авторами.

На первый взгляд, кажется, что восточные склоны имеют самый высокий EVI. Но чтобы быть уверенными, что это не случайность, мы провели статистический анализ.

Результат показал: единственная значимая разница — между Восточными и Южными склонами: разница средних = -0,1244. Среднее EVI на восточном склоне на 0,1244 выше, чем на южном; доверительный интервал [-0,2388, -0,0099]: не включает 0, значит различие надёжное p-adj = 0,0292: после поправки на множественные сравнения остаётся менее 0,05, следовательно, значимо. Это означает, что именно в восточном направлении растительность действительно активнее, что может быть связано с климатическими особенностями экспозиции. Южные склоны — более сухие и тёплые: сильнее прогреваются, быстрее высыхают, восточные склоны — получают утреннее солнце, но избегают жаркое послеполуденное время, растительность получает меньше

РОЛЬ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ В ФОРМИРОВАНИИ
ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ ЛАНДШАФТОВ ЛОКАЛЬНОГО УРОВНЯ
НА ПРИМЕРЕ ГОРНОГО КРЫМА

стресса от жары и засухи. Различия между всеми остальными парами направлений склонов были статистически незначимыми (все $p\text{-adj} > 0,05$).

4. Совместное влияние факторов (множественная регрессия). Для выявления ключевых факторов, определяющих пространственную изменчивость вегетационного индекса растительности EVI была построена модель множественной линейной регрессии, по формуле

$$\text{EVI_mean} = \beta_0 + \beta_1 \times \text{Sin_mean} + \beta_2 \times \text{Cos_mean} + \beta_3 \times \text{Slope_mean} + \beta_4 \times \text{TWI_mean} + \beta_5 \times \text{is_водораздел} + \beta_6 \times \text{is_балка} + \beta_7 \times \text{is_пойма} + \varepsilon \quad (1),$$

где β_0 – константа; $\beta_1\text{--}\beta_7$ — коэффициенты регрессии; ε — остаток (ошибка модели).

В качестве независимых переменных (предикторов) были включены следующие параметры:

морфометрические предикторы:

- топографический индекс влажности (twi_mean) — характеризует потенциальное накопление влаги в рельефе;
- средняя крутизна склона (slope_mean);
- тригонометрические компоненты экспозиции склона (sin_mean и cos_mean) — обеспечивают непрерывное представление направления склона;

элементы и формы рельефа:

- балки, пойма, водоразделы.

Базовой категорией служил «склон», относительно которого интерпретируются коэффициенты остальных переменных (табл. 4): каждый из них отражает среднюю разницу в значении EVI между соответствующей категорией (балка, пойма, водораздел) и склоном при прочих равных условиях (одинаковая экспозиция, крутизна и т.д.). Высота над уровнем моря изначально рассматривалась как потенциальный предиктор, но в итоге была исключена, поскольку почти дублирует информацию, уже содержащуюся в других переменных (форме рельефа и морфометрических параметрах). В таких условиях модель не может точно определить, какому из факторов принадлежит наблюдаемый эффект.

Поскольку коэффициенты множественной линейной регрессии при Cos (+0,0841) и Sin (+0,0523) положительны и статистически значимы, это означает, что чем выше значения этих тригонометрических переменных у конкретного участка, тем выше на нём EVI; при этом *максимальные значения Cos_mean (близкие к +1) характерны для северных склонов, а максимальные значения Sin_mean (близкие к +1) – для восточных, что указывает на наиболее благоприятные условия для растительности на склонах северо-восточной экспозиции, где сочетаются тень (в случае северных склонов) и утреннее освещение (в случае восточных), что снижает испарение и способствует сохранению влаги.*

В то же время ни одна из геоморфологических форм рельефа (балки, поймы, водоразделы) не оказала статистически значимого влияния на EVI по сравнению с базовой категорией «склон». Отрицательные коэффициенты множественной линейной регрессии означают, что в среднем вегетационный индекс EVI в этих формах рельефа немного ниже, чем на склонах с теми же морфометрическими характеристиками. Однако эта разница настолько мала, что нельзя считать её статистически достоверной ($p > 0,05$).

Таблица 4.

Результаты множественной линейной регрессии зависимости EVI от морфометрических и геоморфологических факторов

Переменная	Коэффициент	Стандартная ошибка	t-статистика	p-значение
Константа	0,4614	0,0188	24,54	<0,001
TWI	0,0038	0,0031	1,21	0,237
Крутизна	0,0008	0,0018	0,44	0,665
Sin	0,0523	0,0200	2,62	0,012
Cos	0,0841	0,0181	4,65	<0,001
Is_Балка	-0,0209	0,0211	-0,99	0,329
Is_Пойма	-0,0115	0,0270	-0,43	0,673
Is_Водораздел	-0,0132	0,0175	-0,75	0,457
Модель в целом				
R ²	0,392			
Скорректированный R ²	0,271			
F(7, 25)	3,25			0,0096

Составлено авторами.

Показатели топографического индекса влажности (TWI) и крутизны склона, несмотря на положительные коэффициенты множественной линейной регрессии, также не достигли статистической значимости, что указывает на второстепенную роль этих геоэкологических факторов по сравнению с экспозицией в формировании пространственной структуры растительности, а, следовательно, и ландшафтов, в условиях предгорья Крымских гор.

ВЫВОДЫ

Проведённое исследование позволило установить ключевую роль экспозиции склонов в формировании пространственной структуры растительного покрова северо-западного предгорья Крымских гор на примере локального участка, а, следовательно, и структуры ландшафтов. Несмотря на ожидаемую связь растительности с увлажнением (TWI) и энергией рельефа, именно ориентация склона по оси восток-запад оказалась наиболее значимым фактором, определяющим показатели вегетационного индекса EVI. Наиболее высокие значения EVI характерны для участков с северо-восточной экспозицией, что может быть связано с благоприятным микроклиматом (благоприятные условия сочетания тепла и влаги): северные склоны получают меньше прямой солнечной радиации, а на восточных уменьшается интенсивность послеполуденного перегрева, что снижает испарение и способствует сохранению влаги.

РОЛЬ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ В ФОРМИРОВАНИИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ ЛАНДШАФТОВ ЛОКАЛЬНОГО УРОВНЯ НА ПРИМЕРЕ ГОРНОГО КРЫМА

Несмотря на ожидаемую связь вегетационного индекса и показателей крутизны склонов, топографического индекса влажности (TWI), форм и элементов рельефа (балки, поймы, водоразделы), их вклад оказался статистически незначимым в пределах исследуемой территории. Это объясняется тем, что формы рельефа и морфометрические характеристики исследуемого участка, либо уже включены в экспозиционный эффект, либо играют второстепенную роль в условиях умеренно холмистого ландшафта с преобладанием средне влажных участков.

Таким образом, в пределах изученного района экспозиция склона выступает доминирующим геоэкологическим фактором в организации пространственной структуры ландшафтов локального уровня, что имеет важное значение для ландшафтного планирования, оценки агропотенциала и прогнозирования реакции экосистем на климатические изменения.

Список литературы

1. Исаченко А.Г. Основы ландшафтоведения и физико-географическое районирование. Москва: Высшая школа, 1991. 366 с.
2. Сочава А.М. Введение в учение о геосистемах. Новосибирск: Наука, 1978. 142 с.
3. Физическая география СССР: Европейская часть / под ред. Гвоздецкого Н.А. Москва: Мысль, 1973. 480 с.
4. Основы ландшафтного анализа / Преображенский В.С., Александрова Т.Д., Куприянова Т.П. Москва: Наука, 1988. 191 с.
5. Huete A., Didan K., Miura T., Rodriguez E.P., Gao X., Ferreira L.G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*. 2002. Vol. 83(1–2). С. 195–213.
6. Пушкин А.А., Сидельник Н.Я., Ковалевский С.В. Оценка возможностей использования спектрального вегетационного индекса EVI для дешифрирования лесных насаждений по материалам космической съемки // Труды Белорусского государственного технологического университета. Серия 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2020. № 1 (228). С. 49–56.
7. Черепанов А.С., Дружинина Е.Г. Спектральные свойства растительности и вегетационные индексы // *Геоматика*. 2009. № 3. С. 28–32.
8. Григорьев А.А., Кондратьев К.Я. Космические методы изучения природной среды. Ленинград: Гидрометеоздат, 1988. 163 с.
9. Hengl T., Reuter H.I. *Geomorphometry: Concepts, Software, Applications*. Elsevier, 2009. 772 pp.
10. Global Visualization Viewer (GloVis) / U.S. Geological Survey (USGS) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://glovis.usgs.gov/> (дата обращения: 16.11.2025).
11. Koshel S., Mikhalov O. New Approaches in Cartographic Relief Representation with Morphometric Variables // *Proceedings of 26th International Cartographic Conference*. 2013. August. pp. 743–744.
12. Вуколов Э.А. Основы статистического анализа: Практикум по статистическим методам и исследованию операций с использованием пакетов STATISTICA и EXCEL: учеб. пособие / Э. А. Вуколов. 2-е изд., испр. и доп. Москва: ФОРУМ, 2008. 464 с.

**THE ROLE OF GEOMORPHOLOGICAL FACTORS IN FORMING THE
SPATIAL STRUCTURE OF LOCAL-LEVEL LANDSCAPES: A CASE STUDY OF
MOUNTAINOUS CRIMEA**

Vakhrushev B. A.¹, Kutikova E. V.²

*V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russian Federation
E-mail: 'vakhb@inbox.ru, 'pizova13@mail.ru*

The article presents the results of a study on the role of geomorphological and topographic factors in shaping the spatial structure of vegetation cover within a local site in the Crimean foothills. The Enhanced Vegetation Index (EVI), derived from Landsat 8 satellite imagery, was used as an integrated indicator of vegetation condition. The analysis was based on 43 polygonal sample plots representing gullies, watersheds, floodplains, and slopes of northern, eastern, southern, and western exposures. For each plot, mean EVI values and key morphometric characteristics of the terrain were obtained, including slope aspect and gradient, the Topographic Wetness Index (TWI), and elevation above sea level. Statistical analyses included Spearman's rank correlation, one-way ANOVA with Tukey's post-hoc test, and multiple linear regression. The results indicate that, among all examined factors, slope aspect exerts the strongest influence on vegetation activity, with the highest EVI values observed on northeastern slopes within the studied area. These findings can be applied in landscape-ecological assessments for land-use planning and territorial management.

Keywords: Enhanced Vegetation Index (EVI), geomorphological factors, slope aspect, landscape, Crimean foothills, remote sensing.

References

1. Isachenko A.G. Fundamentals of Landscape Science and Physical-Geographical Zoning. Moscow: Vysshaya Shkola, 1991. 366 p. (in Russian)
2. Sochava A.M. Introduction to the Theory of Geosystems. Novosibirsk: Nauka, 1978. 142 p. (in Russian)
3. Physical Geography of the USSR: European Part / edited by Gvozdetzky N.A. Moscow: Mysl', 1973. 480 p. (in Russian)
4. Fundamentals of Landscape Analysis / Preobrazhensky V.S., Aleksandrova T. D., Kupriyanova T.P. Moscow: Nauka, 1988. 191 p. (in Russian)
5. Huete A., Didan K., Miura T., Rodriguez E.P., Gao X., Ferreira L.G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. Remote Sensing of Environment. 2002. Vol. 83(1–2). pp. 195–213. (in Russian)
6. Pushkin A.A., Sidelnik N.Y., Kovalevskiy S.V. Assessment of the potential of using the spectral vegetation index EVI for interpretation of forest stands based on satellite imagery // Proceedings of the Belarusian State Technological University. Series 1: Forestry, Environmental Management and Renewable Resources Processing. 2020. № 1 (228). pp. 49–56. (in Russian)
7. Cherepanov A.S., Druzhinina E.G. Spectral properties of vegetation and vegetation indices // Geomatics. 2009. № 3. pp. 28–32. (in Russian)
8. Grigoryev A.A., Kondratyev K.Y. Space-Based Methods for Studying the Natural Environment. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1988. 163 p. (in Russian)
9. Hengl T., Reuter H.I. Geomorphometry: Concepts, Software, Applications. Elsevier, 2009. 772 pp. (in Russian)

РОЛЬ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ В ФОРМИРОВАНИИ
ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ ЛАНДШАФТОВ ЛОКАЛЬНОГО УРОВНЯ
НА ПРИМЕРЕ ГОРНОГО КРЫМА

10. Global Visualization Viewer (GloVis) / U.S. Geological Survey (USGS) [Elektronnyj resurs]. URL: <https://glovis.usgs.gov/> (application: 16.11.2025).
11. Koshel S., Mikhalyov O. New Approaches in Cartographic Relief Representation with Morphometric Variables // Proceedings of the 26th International Cartographic Conference. 2013. August. pp. 743–744. (in Russian)
12. Vukolov E.A. Fundamentals of Statistical Analysis: Practicum on Statistical Methods and Operations Research Using STATISTICA and EXCEL Software: Textbook / Vukolov E.A. 2nd ed., rev. and enl. Moscow: FORUM, 2008. 464 p. (in Russian)

Поступила в редакцию 19.09.2025 г.