

Влияние факторов среды на состав петрофитно-степных сообществ на юге Свердловской и севере Челябинской областей

The influence of environmental factors on the composition of the petrophytic-steppe communities in the south of the Sverdlovsk and in the north of the Chelyabinsk regions

Демин А. Д., Созина П. С., Тептина А. Ю.

Demin A. D., Sozina P. S., Teptina A. Yu.

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия. E-mail: andru1229@mail.ru, torgovckinap@yandex.ru,
ateptina@gmail.com
Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

Реферат. Исследованные петрофитно-степные сообщества Среднего Урала не относятся к зональному типу растительности. Их произрастание в регионе связано с необычным сочетанием условий экотопов – хорошо дренированные, хорошо прогреваемые каменистые береговые склоны южной и близких к ней экспозиций. Целью работы было выделение ключевых параметров среды, определяющих состав и структуру петрофитно-степных сообществ на юге Свердловской и севере Челябинской областей. Были исследованы сообщества береговых склонов рек Исеть, Багаряк, Патрушиха, Сысерть и Нейва. Собран массив из 74 геоботанических описаний сообществ из 8 точек с учетом факторов среды, также проведена детализация состава и структуры растительных сообществ на площадках 1 м². С помощью ССА метода ординации проведена оценка вклада параметров среды в вариацию характеристик растительного покрова. Было показано, что наибольший вклад имеют параметры, характеризующие тип горных пород, а также показатели количества осадков. Были выделены четыре варианта сочетания видов в исследованных сообществах, тяготеющих к определенным наборам параметров среды, для каждой из групп были отмечены устойчивый состав доминантных видов и выделены виды, характеризующиеся достаточно высоким уровнем постоянства.

Ключевые слова. Взаимосвязь растительности и среды, канонический анализ соответствий, ординация, петрофитно-степные сообщества, Средний Урал.

Summary. The investigated petrophytic-steppe communities of the Middle Urals do not belong to the zonal vegetation type. Their growth in the region is associated with an unusual combination of environmental conditions – well-drained, well-heated rocky riverbank slopes of the southern and close exposures of slopes. The aim of the work was to identify the key environmental parameters that determine the composition and structure of petrophytic-steppe communities in the south of the Sverdlovsk and north of the Chelyabinsk regions. The communities of the coastal slopes of the Iset, Bagaryak, Patrushikha, Sysert and Neiva rivers were studied. An array of 74 geobotanical relevés of communities from 8 plots was collected, considering environmental factors, and the composition and structure of plant communities on plots of 1 m² were also detailed. Using the CCA method of ordination, the contribution of environmental parameters to the variation in vegetation cover characteristics was estimated. It was shown that the parameters characterizing the type of rocks, as well as indicators of the amount of precipitation, have the greatest contribution. Four variants of combination of species in the studied communities, gravitating to certain sets of environmental parameters, were identified, for each of the groups a stable composition of dominant species was noted, and species characterized by a high level of constancy were identified.

Key words. Canonical correspondence analysis, Middle Urals, ordination, Petrophytic-steppe communities, vegetation-environmental relationship.

Введение. Уникальность сообществ конкретных местообитаний обусловлена, наряду с влиянием зонально-климатических условий и истории формирования флоры региона, также локальными комбинациями факторов среды, которые определяют состав видов сообществ и их богатство. Сегодня оценка влияния факторов среды и состава сообществ применяется для создания экологических классификаций растительности (Burke, 2001), для изучения взаимосвязи среды, растений и почв (Oorthuis et al., 2021), выявления групп факторов, оказывающих наибольший эффект на характер растительности речных долин (Zelený, Chytrý, 2007), а также изучения влияние отдельных параметров среды, например, крутизны склона, на характер сообществ склонов (Qin et al., 2019).

Цель работы – выявить наиболее значимые параметры среды, определяющие состав и структуру петрофитно-степных сообществ береговых склонов рек юга Свердловской области.

Материалы и методы. Для исследования были выбраны петрофитно-степные сообщества, приуроченные к возвышенным элементам рельефа береговых склонов рек Исеть, Багаряк, Патрушиха, Сысерть и Нейва. Исследованные сообщества являются экстраординальными вариантами растительности и редко встречаются в условиях южно-таежной зоны (Пустовалова и др., 2014), они, в основном, приурочены к склонам южной и близким к ней экспозициям, крутизной от 15° до 65°. Общее проективное покрытие видами составляет в среднем 30–45 %, доля покрытия субстрата камнями может достигать 60 %. Верхние части сообщества часто соседствуют с основными лесами. На склонах формируются уникальные микроклиматические условия, позволяющие произрастать теплолюбивым и засухоустойчивым видам растений.

Материалом для работы послужили 74 геоботанических описания площадью от 40 до 100 м². Места сбора данных приведены ниже (табл.). Геоботанические описания выполнялись по общепринятой методике (Миркин и др., 2000). Для каждого описания отмечались географические координаты, высота над уровнем моря, тип горной породы, экспозиция и угол наклона склона, характер и мощность почвенного покрова, доля покрытия субстрата камнями. Характеристики склонов оценивались при помощи приложений смартфона «Компас» и «Уровень». Далее в пределах каждого геоботанического описания закладывалась серия площадок 1 м² с использованием геоботанической сетки (по 10–18 шт, на описание), на которых учитывались состав видов растений, общее проективное покрытие, проективное покрытие лишайникового и мохового покрова, а также проективное покрытие отдельных видов (в процентах). Учет данных на метровых площадках был сделан для того, чтобы наиболее точно оценить взаимосвязь характера растительного покрова и параметров среды. Климатические характеристики районов исследований приводятся по электронному ресурсу «Климатические данные городов по всему миру» (URL: <https://ru.climate-data.org/>). Названия видов растений приводятся по сводке С. К. Черепанова (1995).

Таблица

Точки сбора материала

№	Область	Ближайший населенный пункт	Координаты (с. ш., в. д.)	Тип породы	Река
1	Свердловская	г. Екатеринбург	56°46'25.70", 60°38'28.00"	Дунит	Патрушиха
2	Свердловская	п. Двуреченск	56°36'14.00", 61°5'59.60"	Пироксенит	Сысерть
3	Свердловская	г. Каменск-Уральский	56°24'28.10", 61°52'27.10"	Известняк	Исеть
4	Свердловская	с. Слобода	57°1'36.10", 59°34'4.10"	Известняк	Чусовая
5	Челябинская	д. Усманова	56°10'47.30", 61°49'17.40"	Базальт	Багаряк
6	Челябинская	д. Бекленищева	56°26'16.10", 61°35'34.10"	Известняк	Исеть
7	Челябинская	с. Зотино	56°10'57.00", 61°42'48.20"	Базальт	Багаряк
8	Свердловская	с. Мелкозерово	57°44'44.50", 61°30'34.60"	Пироксенит	Нейва

Данные всех геоботанических описаний были собраны в сводную таблицу MS Excel, включающую параметры среды и растительного покрова. Анализ взаимосвязи характера растительности и экотопа проводился с использованием метода прямой ординации – канонического анализа соответствий (CCA, canonical correspondence analysis) (Ter Braak, 1986) в статистической среде R (The R Project for Statistical computing. URL: <https://r-project.org>). Результаты анализа визуализированы с помощью программного пакета для R «Vegan» (Oksanen et al., 2022), также в статистической среде R с использовани-

ем функции «lm» для каждого вида была построена регрессионная модель оценки влияния на обилие вида следующих параметров среды: типа породы, каменистости, крутизны и экспозиции склона.

Результаты. Количество видов на метровых площадях колеблется от 5 до 18 видов, в среднем 8,8 видов. Наибольшее число видов на метровых площадках наблюдается в сообществах близ д. Мелкозерово. Наиболее часто встречающимися видами в сообществах являются (в процентах приведена встречаемость вида): *Veronica spicata* L. (93 %), *Galium verum* L. (89 %), *Potentilla humifusa* Willd. ex Schltld. (78 %), *Phleum phleoides* (L.) H. Karst (66 %), *Vincetoxicum albowianum* (Kusn.) Pobed (64 %), *Thymus uralensis* Klokov (59 %), *Festuca valesiaca* Gaudin (57 %). Видами, в основном занимающими позиции доминантов и содоминантов, являются (в процентах приведено среднее проективное покрытие вида): *Helictotrichon desertorum* (Less.) Nevski (2,7 %), *Stipa capillata* L. (2,2 %), *Festuca valesiaca* (1,9 %), *Thymus uralensis* (1,8 %), *Echinops crispus* S. Majorov (1,8 %).

С использованием анализа канонического соответствия была построена диаграмма, демонстрирующая взаимодействие параметров среды и растений (рис.). Доля объясненной вариации всеми переменными среды составила 24,1 %. Вклад значимых переменных распределился следующим образом: климатические переменные (7 %), в том числе: среднегодовая температура (3,1 %) и осадки (3,9 %); тип породы (9 %); переменные рельефа (4,5 %), в том числе: доля покрытия субстрата камнями (2,4 %), экспозиция склона (0,7 %), крутизна склона (1,4 %); характеристики растительности (3,6 %): – общее проективное покрытие (1,8 %); количество видов на пробной площади (1,8 %).

Все полученные результаты надежно описывают установленную долю вариации. Первая ось (ССА1) объединила наиболее южные сообщества на реках Исеть и Багаряк, произрастающие на двух породах (Be4 – базальты, Be3 – известняки). Ключевой параметр, который положительно коррелирует с этой осью – среднегодовая температура (Tm), отрицательно коррелирует с данной осью переменная осадков (P). С этой осью имеют положительную корреляцию виды *Stipa capillata*, *Fragaria viridis* Weston., отрицательную – *Festuca pseudodolmatica* Krajina, *Alyssum obovatum* (C. A. Mey.) Turcz., *Silene nutans* L., *Genista tinctoria* L., *Seseli krylovii* (V. N. Tikhom.) Pimenov et Sdobnina, *Chamaecytisus ruthenicus* (Fisch. ex Woloszcz.) Klásk, *Dianthus versicolor* Fisch. ex Link (100 %).

Вторая ось анализа (ССА2) объединила сообщества с высоким общим проективным покрытием, произрастающие на пологих склонах пироксенитов на реке Сысерть. Параметры, которые положительно коррелируют с этой осью: пироксениты (Be2), общее проективное покрытие (HC). Отрицательно коррелирует с данной осью: доля покрытия субстрата камнями (RC), осадки (P) и базальты (Be4). С этой осью имеют положительную корреляцию виды *Inula hirta* L., *Origanum vulgare* L., *Stipa pennata* L., *Pulsatilla uralensis* (Zämelis) Tzvelev, отрицательную – *Dianthus acicularis* Fisch. ex Ledeb., *Sedum acre* L., *Festuca rubra* L.

Третья ось анализа (ССА3) объединила сообщества с высоким общим проективным покрытием, произрастающие на более увлажненных склонах. Параметры, которые положительно коррелирует с этой осью: проективное покрытие растений (HC), отрицательно связаны среднегодовая температура (Tm) и доля покрытия субстрата камнями (RC). С этой осью имеют положительную корреляцию виды: *Festuca rubra*, *Potentilla argentea* L., отрицательную корреляцию: *Alyssum obovatum* и *Acinos arvensis* (Lam.) Dandy.

В соответствии со сложившимися на склонах комплексами параметров среды нами было выделено четыре варианта сочетания видов в исследованных сообществах (в процентах приведена встречаемость, жирным шрифтом выделены доминанты и содоминанты). Первая группа встречается на умеренно каменистых пологих склонах обнажений дунита с большим количеством осадков, представлена сообществами с умеренным травянистым покровом и большой видовой насыщенностью: *Festuca valesiaca* (80 %), *Echinops crispus* (70 %), *Potentilla argentea* (70 %), *Veronica spicata* (100 %), *Dianthus versicolor* (100 %), *Phleum phleoides* (L.) H. Karst (100 %), *Achillea millefolium* L. (90 %), *Chamaecytisus ruthenicus* (90 %), *Campanula sibirica* L. (90 %), *Seseli krylovii* (90 %). Вторая группа распространена на пологих слабокаменистых склонах выходов пироксенитов с умеренным количеством осадков, отличается выраженным травянистым покровом и умеренной видовой насыщенностью: *Echinops crispus* (100 %), *Stipa pennata* (92 %), *Centaurea sibirica* L. (100 %), *Veronica spicata* (100 %), *Galium verum* (100 %), *Inula hirta* (57 %), *Origanum vulgare* (43 %). Третья группа – виды, характерные для сообществ умеренно крутых склонов с более высокой среднегодовой температурой и меньшим количеством осадков, со слабо выраженным травянистым покровом и слабой видовой насыщенностью: *Stipa capillata* (88 %), *Vincetoxicum*

albowianum (94 %), *Fragaria viridis* (54 %), *Galium verum* (100 %), *Veronica spicata* (100 %), *Artemisia frigida* Willd. (88 %). Четвертая группа – виды, характерные для сообществ сильно крутых склонов со слабым проективным покрытием камней, со слабо выраженным травянистым покровом и видовой насыщенностью: *Festuca rubra* (100 %), *Sedum acre* (75 %). Высокий уровень постоянства видов свидетельствует о большей приуроченности высокоактивных видов к специфическому комплексу условий.

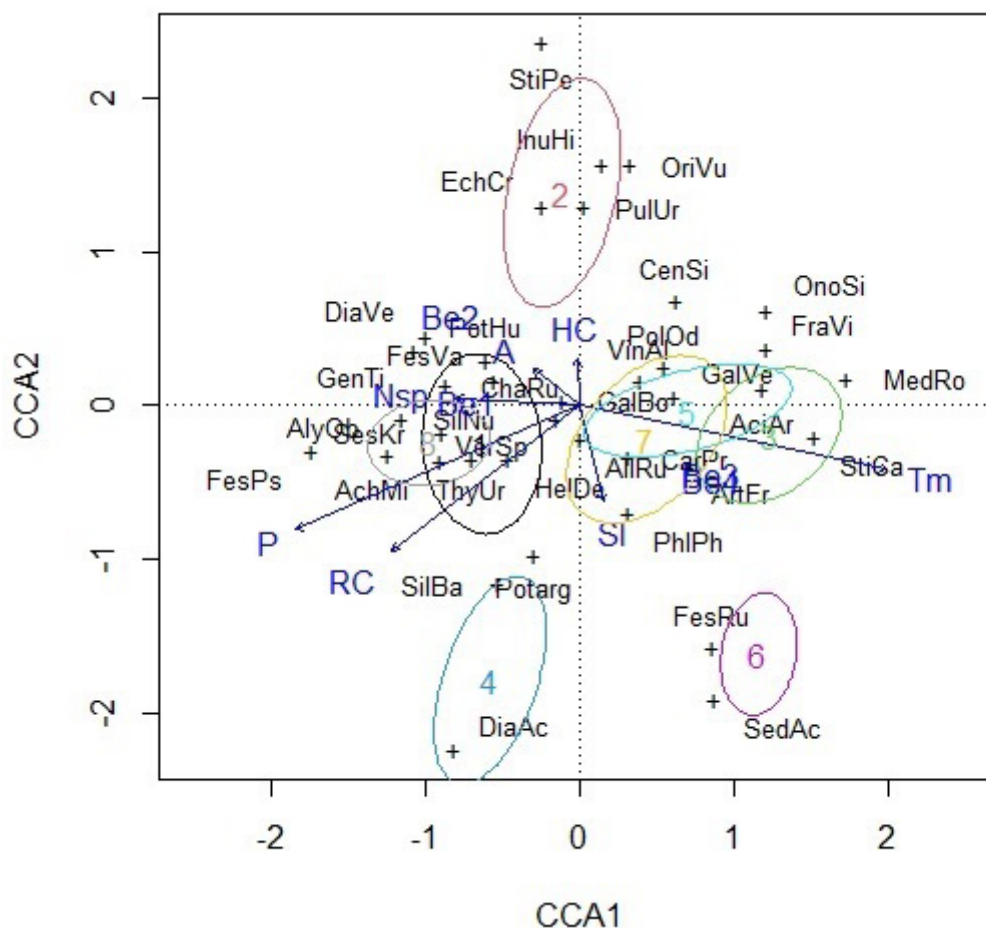


Рис. Диаграмма анализа канонического соответствия (CCA), показывающая взаимосвязь между переменными среды и характером распределения растений. Параметры среды показаны крупным шрифтом, стрелками с подписями показаны непрерывные факторы: осадки (P), среднегодовая температура (Tm), каменность (RC), крутизна склона (SI), экспозиция склона (A), общее проективное покрытие (HC), число видов на пробной площади (Nsp); только подписями – категориальные: тип породы (Be1 – дунит, Be2 – пироксенит, Be3 – известняк, Be4 – базальт).

Заключение. Полученные данные демонстрируют комплексное воздействие факторов среды на характер растительного покрова. Наибольший вклад в изменчивость параметров растительности вносит тип горной породы, определяющий специфику почвенного покрова и связанные с ним дифференциальные потребности видов к характеру субстрата. Также значительный вклад вносят климатические параметры, наиболее существенным из которых является количество осадков. Формирование нескольких уникальных композиций параметров экотопов на склонах также проявляется в формировании в структуре сообществ достаточно стабильных вариантов сочетаний видов. Дальнейшие исследования с привлечением большего количества параметров позволят уточнить влияние оставшейся части вариации характера растительного покрова петрофитно-степных сообществ в зависимости от параметров среды.

ЛИТЕРАТУРА

Куликов П. В. Определитель сосудистых растений Челябинской области. – Екатеринбург: Ботсад УрО РАН, 2010. – 968 с.

- Миркин Б. М., Наумова Л. Г., Соломещ А. И.** Современная наука о растительности. – М.: Логос, 2000. – 264 с.
- Пустовалова Л. А., Ерохина О. В., Никонова Н. Н.** Оценка состояния растительного покрова скальных обнажений рек Среднего Урала // Географический вестник, 2014. – Т. 3. – С. 101–105.
- Климатические данные городов по всему миру.* URL: <https://ru.climate-data.org/> (дата обращения 12.04.2023).
- Черепанов С. К.** Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). – СПб.: Мир и семья, 1995. – 992 с.
- Burke A.** Classification and ordination of plant communities of the Naufklufft Mountains, Namibia // Journal of Vegetation science, 2001. – Vol. 12. – P. 53–60.
- Oksanen J., Kindt R., Legendre P., O'Hara R. B.** Vegan: community ecology package version 2.6–4 // The comprehensive archive network. URL: <https://cran.r-project.org> (дата обращения 19.03.2023).
- Oorthuis R., Vaunat J., Hülmann M., Lloret A., Moya J., Puig-Polo C., Fraccica A.** Slope orientation and vegetation effects on soil thermos-hydraulic behavior. An experimental study // Sustainability, 2011. – Vol. 13, № 14. – P. 1–13.
- The R Project for Statistical computing.* URL: <https://r-project.org> (дата обращения 19.03.2023).
- Qin Y., Adamowski J. F., Deo R. C., HU Z., Cao J., Zhu M., Feng A. Q.** Controlling factors of plant community composition with respect to the slope aspect gradient in the Qilian Mountains // Ecosphere, 2019. – Vol. 10. – P. 1–13.
- Ter Braak C. J. F.** Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis // Ecology, 1986. – Vol. 67. – P. 1167–1179.
- Zelený D., Chytrý M.** Environmental control of vegetation pattern in deep river valleys of the Bohemian Massif // Preslia, 2007. – Vol. 79. – P. 205–222.