

УДК 581.55: 621.892.31

ФИТОИНДИКАЦИЯ УСЛОВИЙ НА ПРИСЛОНЕННОЙ ДЮНЕ КРЫМА**Александра Анатольевна Квитницкая, Артем Алексеевич Абраменков,
Владислав Вячеславович Корженевский**Никитский ботанический сад – Национальный научный центр
298648, Республика Крым, г. Ялта, пгт Никита, спуск Никитский, 52
E-mail: herbarium.47@mail.ru

В статье представлены результаты фитоиндикации условий среды на прислоненных дюнах северо-западного побережья Каралар 0,8 км с-в с. Золотое (Крым, Керченский полуостров). Методом синтаксономического анализа выявлены уникальные фитоценозы, не имеющие аналогов в Средиземноморье, которые связаны с различными элементами дюнного рельефа: от современного пляжа до отмершего клифа и мшанковой рифовой гряды. Для каждого из 11 описанных сообществ проанализированы видовое разнообразие, биоморфологический состав (жизненные формы, структура побегов и корневых систем) и экоморфологические спектры. С использованием оригинальной программы рассчитано положение сообществ на градиентах факторов-условий (освещенность, терморезим, увлажнение, континентальность и др.) и факторов-ресурсов (кислотность, засоленность, содержание карбонатов и азота, аэрация субстрата). Установлено, что растительные сообщества прислоненных дюн с высокой вероятностью (73-100%) индицируют специфические формы рельефа. Подчеркивается важность сохранения растительного покрова для поддержания стабильности дюнных экосистем в условиях рекреационных нагрузок.

Ключевые слова: Керченский полуостров; прислоненная дюна; фитоиндикация; растительные сообщества; градиенты факторов среды; синтаксономия

Введение

Исследуемые прислонённые дюны Крыма представляют собой редкие и недостаточно изученные геоморфологические образования, отличающиеся своеобразием растительного покрова. Такое уникальное сочетание природных условий и растительности подчёркивает их особую ценность и необходимость их всестороннего изучения и охраны.

На формирование прислоненных дюн влияют: наличие топографического барьера, который препятствует воздушному потоку, и способствует накоплению песка; изменение региональных климатических условий, формирование береговых эоловых форм, в том числе прислоненных дюн, тесно связано с особенностями ветро-волнового режима; направление ветра, переносит песчинки на восточную сторону дюн, создавая крутой склон, а на ветреной стороне образуется более пологий склон; климат определяет количество и распределение осадков, температуру, влажность воздуха и скорость ветра. В засушливых районах с низким количеством осадков и высокими температурами образуются дюны; геологическая структура почвы, наличие водопроницаемые слои в грунте могут вызывать возникновение водоразделов, где накапливаются песчаные массы и формируются дюны; растительность, корни препятствуют перемещению песчаных масс и способствуют их скоплению [3]. Все перечисленные факторы условий среды создают своеобразные условия для растительности, которая как установлено синтаксономическим анализом, не имеет аналогов в Средиземноморье [4].

Старые валлообразные и прислоненные дюны покрыты растительностью, значительно больше задернены и находятся вне сферы деятельности прибойного потока. Их экологическая устойчивость зависит от степени задернения и будет уменьшаться в результате возрастания рекреационных нагрузок, выпаса скота и пожаров [5].

Цель работы – методом фитоиндикации оценить экологические условия на дюнах Керченского полуострова на основе анализа растительных сообществ, связанных с разными элементами рельефа, и определить их роль в стабилизации этой экосистемы.

Объекты и методы исследований

Объектом изучения являлись фитоценозы геоморфологических элементов дюнного рельефа на с-з побережье Каралара в 0,8 км с-в с. Золотое, описания: 1 – современный пляж. В тыльной части на высоте 1,5 м сформирован растительный покров, покрытие около 3%. Экспозиция С-З 310 град, крутизна 2 град. Сложен ракушечно-детритусовыми отложениями. Зона современной дефляции с холмиками косами. Удаление площадки от берега 27,5 м. Ширина 13,5 м. 2 – формирующаяся дюна высотой 2,8 м над уровнем моря, ширина 8 м. С-з склон дюны выпуклый, крутизной от 5 до 16 град. Дюна прислонена к невысокому клифу, образованному в эоловых песках сильным штормом. Удаление от берега 42 м. Покрытие до 45%. 3 – юго-восточный склон второй дюны, частично уничтоженной абразией, крутизна поверхности 3 град, высота 4-6 м, ширина 9 м, сложена детритусовым эоловым песком. Удаление от берега 60 м. Покрытие 35%. 4 – наветренный склон старой 3-й дюны, крутизна поверхности 25-30 град, ширина 11 м. Детритусовый песок затронут процессом почвообразования на глубину до 3 см. Удаление от берега – 70 м. Покрытие 40%. 5 – гребень и пригребневая часть старой дюны, крутизна поверхности от 5 до 20 град, экспозиция с-з 310 град, высота до 10 м. Почва серая детритусовая, мощностью до 10 см. Удаление от берега 75 м. Покрытие 60%. 6 – тыльная часть старой дюны и желоб выдувания шириной до 6 м, крутизна 15-20 град, относительная глубина 1,5 м. Экспозиция ю-в 190 град. Следы обвала клифа на дюну в виде глыб поперечником до 3 м. Мощность почвы до 10 см. Удаление от берега 77 м. Покрытие 90%. 7 – отмерший клиф, к которому прислонена дюна относительная высота 10 м, крутизна от 90 град. До обратного уклона, экспозиция 310 град. Микрорельеф включает ниши, каверны и козырьки. Почвенный покров фрагментарный на обнажениях верхнесарматских известняков. Удаление от берега 80 м. Покрытие 30%. 8, 9, 10 – склон мшанковой рифовой гряды, крутизна поверхности 30-35 град. Отдельно описаны полки со степной растительностью (покрытие 85%); склон гряды с кустарниковой растительностью (покрытие 90%); поверхность скал (покрытие 15%). Удаление от берега 85 м. 11 – гребень и прилегающий к нему склон гряды мшанкового рифа, экспозиция 310 град, крутизна 10 град, ширина поверхности 15 м. Удаление от берега 100 м. Покрытие 95%.

Для фитоиндикации условий использована оригинальная программа расчёта плотности упаковки видов сообщества на градиентах факторов-условий и факторов-ресурсов: (освещённость-затенение, терморезим, омброрезим, криорезим, континентальность, увлажнение, переменность увлажнения, кислотность субстрата, солевой режим (анионный состав), содержание карбонатов, содержание азота, гранулометрический (механический) состав (порозность) субстрата) [2, 6].

Результаты и обсуждение

Профиль с выделенными элементами форм дюнного рельефа находится на с-з побережье Каралара в 0,8 км с-в с. Золотое (рис. 1).

На выделенных площадках, элементах форм дюнного рельефа анализировались биоморфологические особенности растений фитоценозов, данные приведены в таблице 1.

Наибольшее число видов характерно для фитоценозов склона мшанковой рифовой гряды и гребня с прилегающим к нему склону (34-41 вид), что

свидетельствует о благоприятных условиях на склонах и в понижениях с оптимальным увлажнением и аэрацией.



Рис. 1 Топографическая схема профиля с выделенными элементами дюнного рельефа с-з побережье Каралара в 0,8 км с-в с. Золотое.

Описание: 1 – современный пляж (9 видов); 2 – формирующаяся дюна (11 видов); 3 – юго-восточный склон второй дюны (15 видов); 4 – наветренный склон старой 3-й дюны (20 видов); 5 – гребень и пригребневая часть старой дюны (23 вида); 6 – тыльная часть старой дюны и желоб выдувания (23 вида); 7 – отмерший клиф (34 вида); 8 (41 вид), 9 (35 видов), 10 (12 видов) – склон мшанковой рифовой гряды, отдельно описаны полки со степной растительностью; склон гряды с кустарниковой растительностью; поверхность скал; 11 – гребень и прилегающий к нему склон гряды мшанкового рифа (39 видов)

Наименьшее число видов отмечено в фитоценозах современного пляжа, формирующейся дюны и поверхности скал (9-12 видов), что связано с экстремальными условиями: сильной засоленностью, бедностью субстрата или высокой аридностью.

Кустарники и кустарнички преобладают в сообществах тыльной части старой дюны и желобе выдувания, склоне гряды и гребне с прилегающим к нему склоном, что характерно для стабилизированных участков с развитой почвой (например, склоны гряд, защищённые понижения).

Полукустарники и полукустарнички наиболее разнообразны в сообществах наветренного склона старой 3-й дюны, гребня и пригребневой части, склоне мшанковой рифовой гряды и гребне, что указывает на адаптацию к периодическим неблагоприятным условиям (засоление, ветровая нагрузка).

Поликарпические травы доминируют во всех сообществах, что говорит о стабильности и многолетнем цикле развития.

Безрозеточные и полурозеточные формы доминируют во всех сообществах, что характерно для открытых местообитаний с интенсивной инсоляцией.

Розеточные формы наиболее выражены в фитоценозах современного пляжа и формирующейся дюны, что может быть адаптацией к сильным ветрам или засолению.

Наиболее благоприятные условия складываются в сообществах склона мшанковой рифовой гряды и гребне, где отмечается высокое видовое богатство, разнообразие биоморф, сбалансированное распределение корневых систем и вегетационных стратегий.

Таблица 1

Биоморфологические и количественные характеристики видов фитоценоза на дюнном рельефе

	Номер фитоценоза										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Число видов, шт.	9	11	15	20	23	23	34	41	35	12	39
Основные биоморфы, шт.											
кустарник	0	0	0	0	0	4	0	0	5	0	1
кустарничек	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1
полукустарник	0	0	1	2	2	0	2	1	0	0	2
полукустарничек	0	0	1	2	1	0	0	4	2	4	2
поликarpическая трава	5	6	5	7	7	11	11	28	20	6	19
многолетний или двулетний монокарпик	1	1	1	1	1	3	1	2	3	1	3
озимый однолетник	0	3	6	7	11	3	17	6	5	1	11
яровой однолетник	3	1	0	0	0	2	3	0	0	0	0
Особенности вегетации, шт.											
собственно вечнозеленые	0	0	1	1	1	0	1	0	1	0	1
летнезеленые	5	4	1	2	3	7	5	8	14	2	5
летне-зимнезеленые	4	4	7	9	7	11	7	23	11	9	20
эфимеры и эфимероиды, отрастающие в позднелетне-осенний период	0	3	6	8	12	4	21	10	8	1	13
эфимероиды, отрастающие зимой	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0
Структура надземных побегов, шт.											
безрозеточные	3	3	6	7	7	10	10	18	16	9	12
полурозеточные		7	8	11	15	11	21	16	17	3	24
розеточные	6	1	1	2	1	2	3	4	2		3
Структура и глубина корневой системы, шт.											
стержнекорневая короткая	0	0	1	2	4	2	10	1	3	0	2
стержнекорневая средняя	3	2	3	3	6	5	8	5	3	2	10
стержнекорневая глубокая	4	5	7	8	5	9	9	16	15	9	14
Всего стержнекорневая	7	7	11	13	15	16	27	22	21	11	26
кистекокорневая короткая		1	1	2	2	1	5	5	2	0	4
кистекокорневая средняя	1	2	2	3	3	4	1	8	8	1	1
кистекокорневая глубокая	1	1	1	2	3	2	1	6	4	0	8
Всего кистекокорневая	2	4	4	7	8	7	7	19	14	1	13

Экстремальные условия (засоление, аридность, бедность субстрата) характерны для сообществ современного пляжа, формирующейся дюны и поверхность скал на склоне мшанковой рифовой гряды, где сообщества упрощены, преобладают однолетники и виды со специализированными адаптациями (розеточные формы, глубокие корни).

Переходные сообщества демонстрируют промежуточные черты, отражающие градиенты увлажнения, засоления и аэрации.

Таким образом, биоморфологическая структура фитоценозов чётко отражает экологические условия разных элементов дюнного рельефа и их динамику вдоль профиля.

Растительность старых эоловых образований относится к классу *Festucetea vaginatae*, одноименному порядку и новому союзу. Дело в том, что предложенный J. Vicherek (1972) союз *Festucion beckerii* по диагностической комбинации значительно отличается от приазовских. Связано это, в первую очередь, с тем, что в Приднестровье эоловые образования сложены кварцевыми песками, а в исследованном районе раковинным детритом и, кроме того, растительность прибрежных территорий испытывает определенное влияние моря.

Для растительности эоловых образований Крыма установлено два союза, первый – *Verbascion pinnatifidi* Korzh. et Klukin, 1990 – обобщает синтаксоны молодых дюн, расположенных вслед за авандюнами, второй – охватывает фитоценозы старых дюн и форм рельефа, сопряженных с ними [4]. Виды из диагностической комбинации союза – это типичные псаммофиты. Они поселяются в условиях, где процессы дефляции выражены слабее и осуществляются за счет переноса песка из пляжа и авандюн. В микрорельефе различают зоны транзитного переноса с уплотненными поверхностными отложениями, зоны выдувания с корразионными канавками и желобами, а также зоны аккумуляции, приуроченные к ветропроницаемым преградам, за которыми в результате потери скорости частиц песка осаждаются и образуются холмики-косы.

Сообщества асс. *Astragalo borystenici-Ephedretum* Korzh. et Klukin, 1990 приурочены к прислоненным дюнам, расположенным у отмерших клифов. Дюны перекрывают клифы до высоты 10-15 м над уровнем моря, имеют полукруглую или треугольную форму в плане и резко асимметричный профиль. Если дюна находится ниже бровки клифа, то ее ограничивает длинный наветренный и короткий подветренный склоны. У дюн, прислоненных к клифу на всю высоту, выражен только наветренный склон крутизной 15-25°, а за погребенным препятствием иногда наблюдается небольшая дюна [4].

Фитоценозы, относящиеся к субасс. *A.b.-E. typicum* Korzh. et Klukin, 1990 приурочены к наветренному склону прислоненных дюн и испытывают влияние импульверизации брызг моря, а также дефляцию, проявляющуюся при скоростях ветра 3-4 м/сек. Наибольшая концентрация переносимых частиц наблюдается в нижнем приземном слое. Материал перемещается во взвешенном состоянии, путем сальтации, качения, скольжения и играет главную роль в рельефообразовании. Перемещение твердых частиц оказывает механическое воздействие на поверхность, что ведет к образованию корразионных борозд, желобов и ниш.

В рельефе дюнного ландшафта фитоценозы, приуроченные к пригребневой части и гребням прислоненных: дюн, а в случае дюн полного профиля, то и подветренному склону относятся к субасс. *A.b.-E. centauretosum odessanae*. Korzh. et Klukin, 1990 Иногда, между гребнем дюны и местом ее прислонения к клифу образуются желоба выдувания. Для них индикаторной является, субасс. *Swido-Sambucetum humuletosum* Korzh. et Klukin, 1990, отнесенная к одноименной асс. *Swido-Sambucetum* Korzh. et Klukin 1990, союзу *Asparago verticillati-Crataegion tauricae* Korzh. et Klukin 1990, порядку *Urtico-Crataegalia* Pass. 1962 и классу *Urtico-Sambucetea* Doing 1962 em Pass. 1968.

Стабильность форм рельефа прислоненных дюн во многом зависит от степени нарушенности растительного покрова на склонах. С этим коррелирует скорость дефляции и образование отдельных микроформ. В случае, когда источник питания (пляж) перестает функционировать, может произойти разрушение прислоненной дюны. В плане рельефообразования наиболее активны наветренная часть, по которой осуществляется транзитный перенос, и пригребневая часть, на которой за ветропроницаемыми преградами происходит аккумуляция. Желоба выдувания существенно отличаются от синтаксонов наветренной части и пригребневого склона

микrokлиматическими особенностями. Здесь меньше освещенность и выше влажность, сюда с прилегающих склонов стекает вода и сносятся минеральные частицы грунта, что способствует поселению видов-нитрофилов.

Обсуждаемые индикаторы-синтаксоны открытых псаммофитов (*A.b.-E. typicum* и *A.b.-E. centaureosum odessanae*) физиономически близки к средиземноморским синтаксонам *Agropyretum mediterraneum* Br.-Bl. 33 и *Ammophiletum arundinaceae*, однако, отличаются тем, что в составе растительности значительное участие принимают виды с ирано-туранскими связями. В желобах выдувания отмечена существенная роль кустарников из семейства Rosaceae, объединенных голарктическим типом ареалов. Заметны отличия в индикаторах и по составу основных биоморф, с которыми связаны другие дополнительные признаки. Так, например, большинство кустарников по типу распространения семян относятся к эндозоохорам. Спектры экоморф также различаются между сообществами желобов выдувания и открытыми группировками из местообитаний наветренного склона и пригребневой части. Отметим, что растительные сообщества прислоненных дюн, обобщаемые синтаксонами, распознают формы рельефа с вероятностью от 73 до 100%.

Последовательно рассмотрим положение сообществ на градиентах факторов-условий (рис. 2-7) и факторов-ресурсов (рис. 8-13), что позволит нам оценить их факторные потребности.

На градиенте освещение (рис. 2) зона «комфорта» укладывается в градациях от 79,5 в тыльной части старой дюны, желобе выдувания и до 89,5 на склоне мшанковой рифовой гряды. Минимальное значение 53 отмечено в тыльной части старой дюны и желобе выдувания, что обусловлено экспозиционными особенностями микрорельефа. Оптимальные значения освещенности (красная линия) достигают максимума в сообществах на склонах гряд и рифовых поднятиях, тогда как минимальные значения (синяя линия) характерны для защищенных и затененных местообитаний, таких как понижения и тыльные части дюн. Максимальная освещенность (зеленая линия) наблюдается на открытых, хорошо инсолируемых участках, таких как гребни и склоны гряд.

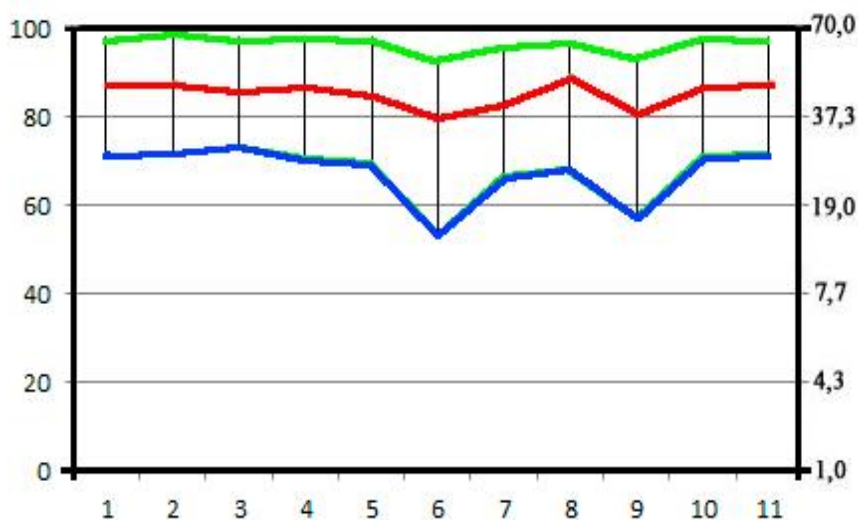


Рис. 2 Положение сообществ на градиенте освещение. Здесь и далее: синяя линия – минимальное значение; красная линия – оптимальное значение; зелёная – максимальное значение. Левая шкала – значение градиента в балах; правая шкала – освещение в %; нижняя шкала – порядок сообществ на профиле

Распределение сообществ на градиенте освещённости отражает их экологическую приуроченность: более теневыносливые виды сосредоточены в зонах с минимальными значениями, а светолюбивые – в зонах с высокими показателями освещённости.

На градиенте терморезим (рис. 3) зона «комфорта» (оптимальные значения, красная линия) занимает диапазон приблизительно от 70 до 80 баллов, что соответствует среднеиюльским температурам от 18,7 до 23,5°C.

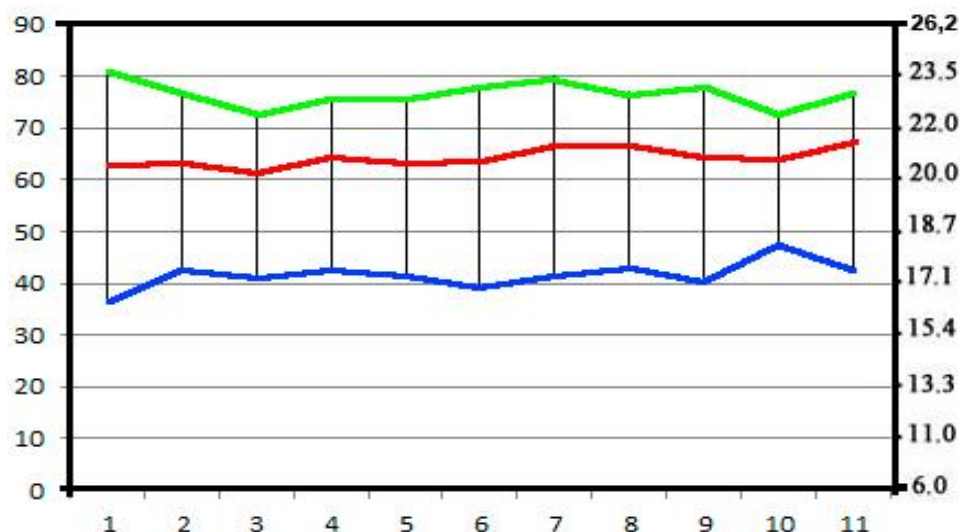


Рис. 3 Положение сообществ на градиенте терморезим. Левая шкала – значение градиента в баллах; правая шкала – среднеиюльская температура в градусах Цельсия; нижняя шкала – порядок сообществ на профиле

Распределение сообществ по градиенту терморезима четко отражает их связь с микрорельефом. На профиле прослеживается переход от сообществ, адаптированных к прохладным условиям, через сообщества, занимающие зону термического оптимума, к сообществам, устойчивым к высоким температурам и перегреву.

На градиенте омброрезим (аридность-гумидность климата) (рис. 4) зона «комфорта» (оптимальные значения, красная линия) занимает диапазон приблизительно от 40 до 70 баллов, что соответствует значениям индекса аридности-гумидности примерно от -467 до -22 мм.

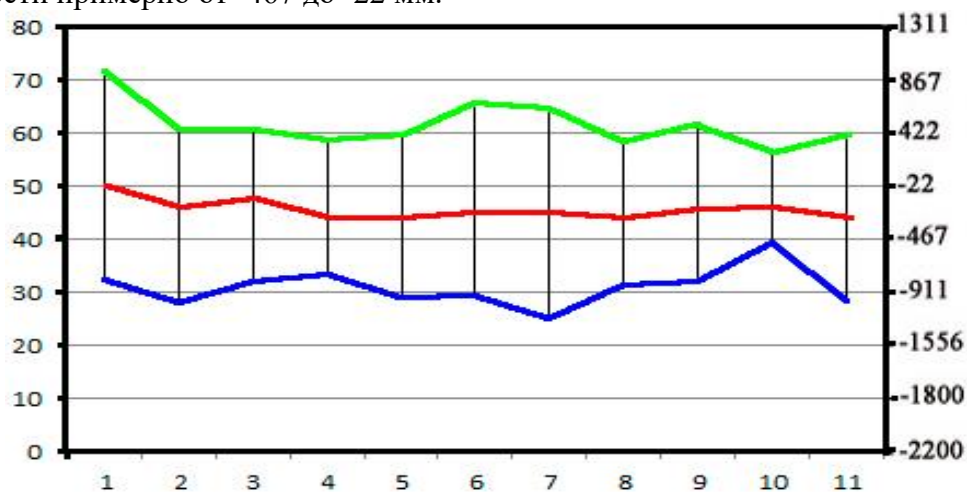


Рис. 4 Положение сообществ на градиенте омброрезим (аридность-гумидность климата). Левая шкала – значение градиента в баллах; правая шкала – значение аридность-гумидность в мм; нижняя шкала – порядок сообществ на профиле

Распределение сообществ по градиенту омброрежима четко отражает их зависимость от условий увлажнения. На профиле прослеживается переход от сообществ, адаптированных к условиям с хорошим влагообеспечением (гумидный полюс), через сообщества, занимающие зону оптимума, к ксерофитным сообществам, устойчивым к сильной засухливости (аридный полюс).

На градиенте криорежима (морозность климата) (рис. 5) зона «комфорта» занимает диапазон приблизительно от 60 до 90 баллов, что соответствует средней температуре самого холодного месяца в диапазоне от около $-8,6^{\circ}\text{C}$ до $+8,6^{\circ}\text{C}$.

Распределение сообществ по градиенту криорежима четко отражает их зависимость от суровости зимних условий. На профиле отмечен переход от сообществ, занимающих наиболее благоприятные и мягкие местообитания в холодный сезон, через зону оптимума, к сообществам, вынужденным существовать в условиях экстремально низких зимних температур.

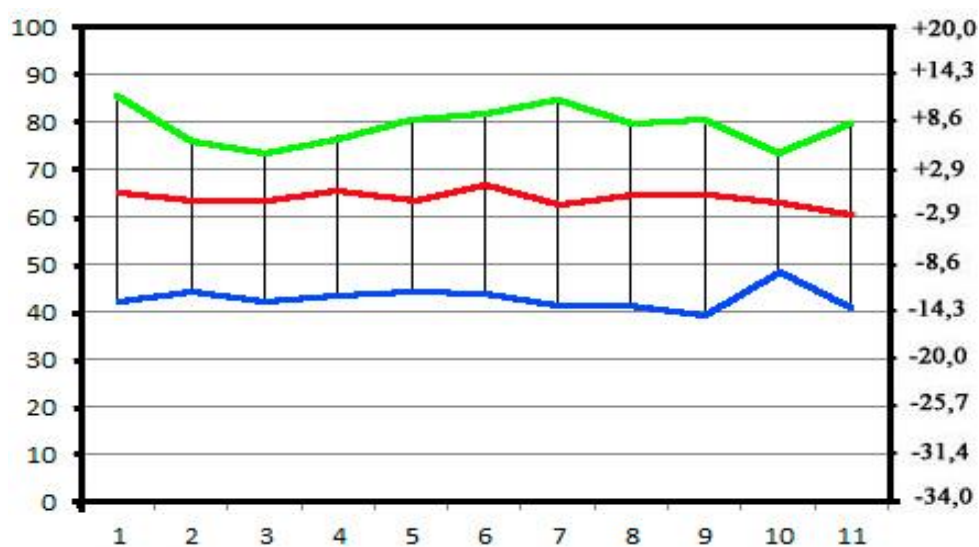


Рис. 5 Положение сообществ на градиенте криорежима. Левая шкала – значение градиента в баллах; правая шкала – средняя температура самого холодного месяца в градусах Цельсия (морозность климата); нижняя шкала – порядок сообществ на профиле

На градиенте континентальности (рис. 6) зона «комфорта» занимает диапазон приблизительно от 50 до 80 баллов, что соответствует индексу континентальности по Н.Н. Иванову [1] в диапазоне от около 114% до 157%.

На профиле прослеживается закономерный переход от сообществ, адаптированных к мягкому приморскому климату, через сообщества, в условиях умеренной континентальности, к сообществам, существующим в условиях резко выраженного континентального климата с его большими климатическими контрастами.

На градиенте увлажнения (рис. 7) зона «комфорта» занимает диапазон приблизительно от 40 до 70 баллов, что соответствует значениям индекса сухости от 1,29 до 2,24.

Распределение сообществ по градиенту увлажнения, выраженному через индекс сухости, четко отражает их зависимость от условий водного режима. На профиле прослеживается закономерный переход от мезофитных и гигрофитных сообществ, адаптированных к условиям с хорошим влагообеспечением, через сообщества, занимающие зону оптимума, к ксерофитным сообществам, устойчивым к ярко выраженному дефициту влаги.

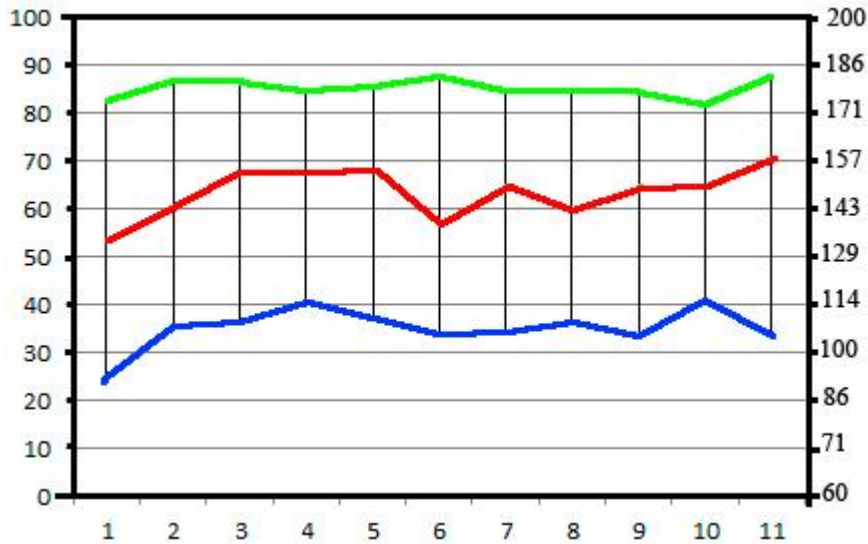


Рис. 6 Положение сообществ на градиенте континентальность. Левая шкала – значение градиента в баллах; правая шкала – континентальность климата (контрасторежим) в % (по Н.Н. Иванову, [1]); нижняя шкала – порядок сообществ на профиле

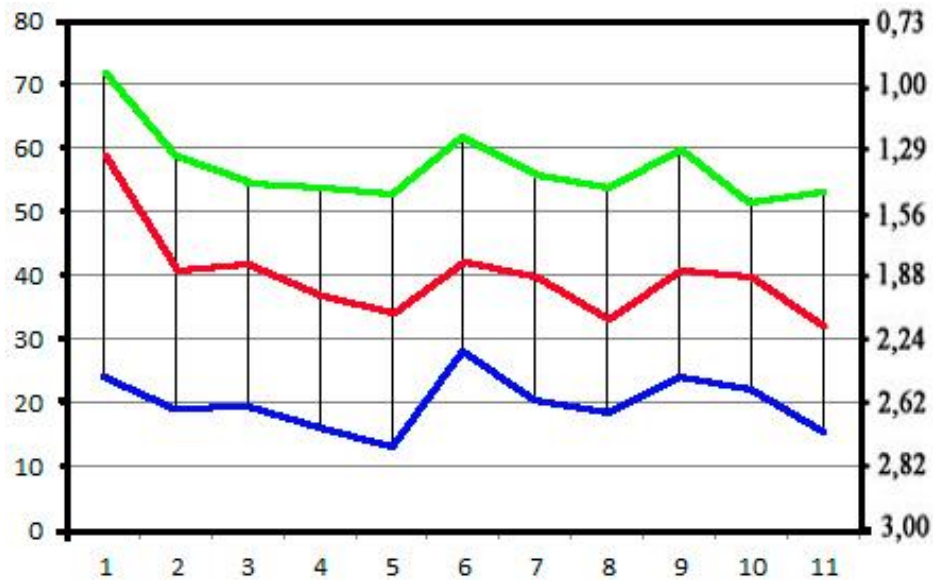


Рис. 7 Положение сообществ на градиенте увлажнения (водный режим). Левая шкала – значение градиента в баллах; правая шкала – индекс сухости; нижняя шкала – порядок сообществ на профиле

На градиенте режима увлажнения (рис. 8), определяемом коэффициентом его переменности, зона «комфорта» (оптимальные значения, красная линия) занимает диапазон приблизительно от 50 до 80 баллов, что соответствует значениям коэффициента переменности увлажнения от 0,10 до 0,25.

Распределение сообществ по градиенту переменности увлажнения четко отражает их толерантность к нестабильности водного режима. На профиле прослеживается переход от сообществ, адаптированных к существованию в условиях резкой и непредсказуемой смены периодов избытка и острого дефицита влаги, через сообщества, занимающие зону оптимума в условиях умеренной динамики, к сообществам, зависимым от постоянства увлажнения.



Рис. 8 Положение сообществ на градиенте режим увлажнения. Левая шкала – значение градиента в баллах; правая шкала – коэффициент переменной увлажнения; нижняя шкала – порядок сообществ на профиле

На градиенте кислотности субстрата (кислотный режим) (рис. 9) зона «комфорта» (оптимальные значения, красная линия) занимает диапазон приблизительно от 60 до 90 баллов, что соответствует значениям рН от 4,1 до 6,5.

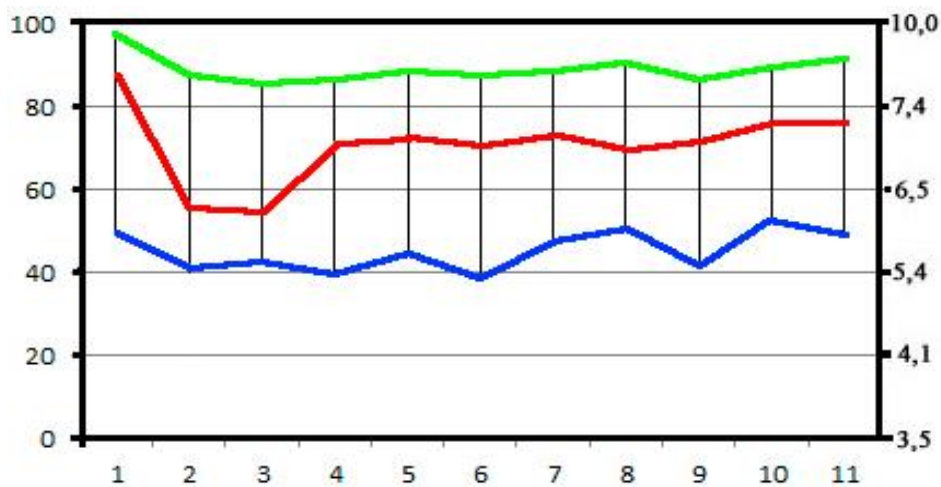


Рис. 9 Положение сообществ на градиенте кислотность субстрата (кислотный режим). Левая шкала – значение градиента в баллах; правая шкала – рН; нижняя шкала – порядок сообществ на профиле

Распределение сообществ по градиенту кислотности субстрата четко отражает их требовательность к реакции почвенной среды. На профиле прослеживается переход от сообществ, предпочитающих нейтральные и слабощелочные почвы, через сообщества, занимающие зону оптимума в условиях слабокислой реакции, к ацидофильным сообществам, адаптированным к существованию в условиях сильнокислых почв.

На градиенте «богатство-засоление субстрата» (рис. 10), определяемом по анионному составу почв, зона «комфорта» (оптимальные значения, красная линия) занимает диапазон приблизительно от 50 до 80 баллов.

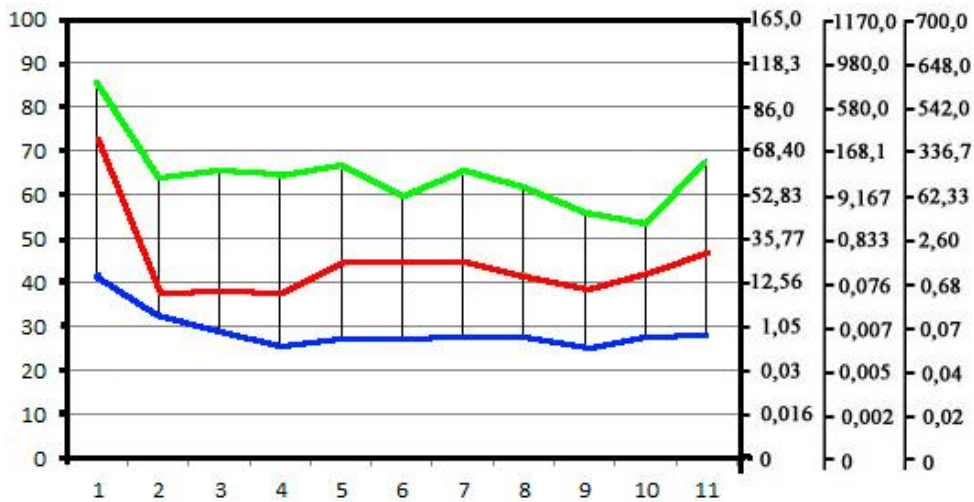


Рис. 10 Положение сообществ на градиенте богатство-засоление субстрата. Левая шкала – значение градиента в баллах; правая шкала – анионный состав в мг/100 г субстрата (первая – карбонаты (HCO_3^-), вторая - хлориды (Cl^-), третья – сульфаты (SO_4^{2-}); нижняя шкала – порядок сообществ на профиле

Распределение сообществ по комплексному градиенту богатства-засоления четко отражает их толерантность к содержанию солей и карбонатов в почве. На профиле прослеживается переход от галофитных и кальцефильных сообществ, адаптированных к экстремальному засолению и высокому содержанию карбонатов, через сообщества, занимающие зону оптимума на слабозасоленных и богатых почвах, к олиготрофным сообществам, существующим в условиях крайней бедности субстрата.

На градиенте содержания карбонатов в субстрате ($\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$) (рис. 11) зона «комфорта» (оптимальные значения, красная линия) занимает диапазон приблизительно от 50 до 80 баллов, что соответствует содержанию карбонатов от 1,50% до 5,03%.

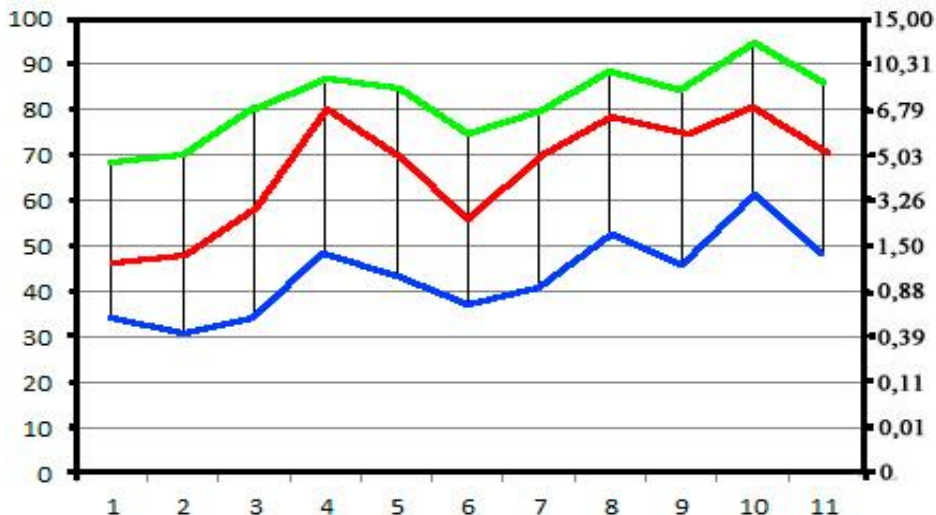


Рис. 11 Положение сообществ на градиенте карбонаты субстрата ($\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$). Левая шкала – значение градиента в баллах; правая шкала – содержание карбонатов в %; нижняя шкала – порядок сообществ на профиле

Распределение сообществ по градиенту содержания карбонатов четко отражает их экологическую приуроченность к богатству субстрата карбонатами. На профиле прослеживается переход от типично кальцефильных сообществ, адаптированных к обитанию на богатых известью почвах, через сообщества, занимающие зону оптимума

в условиях умеренного содержания карбонатов, к кальцифобным сообществам, существующим на бедных и кислых субстратах.

На градиенте содержания азота (минеральные формы NO_3 и NH_4) (рис. 12) зона «комфорта» (оптимальные значения, красная линия) занимает диапазон приблизительно от 50 до 80 баллов, что соответствует содержанию азота от 0,175% до 0,325%. Распределение сообществ по градиенту содержания азота четко отражает их требовательность к уровню азотного питания. На профиле прослеживается переход от нитрофильных сообществ, предпочитающих богатые азотом местообитания, через сообщества, занимающие зону оптимума при умеренном содержании азота, к олиготрофным сообществам, адаптированным к существованию в условиях острого дефицита доступного азота.

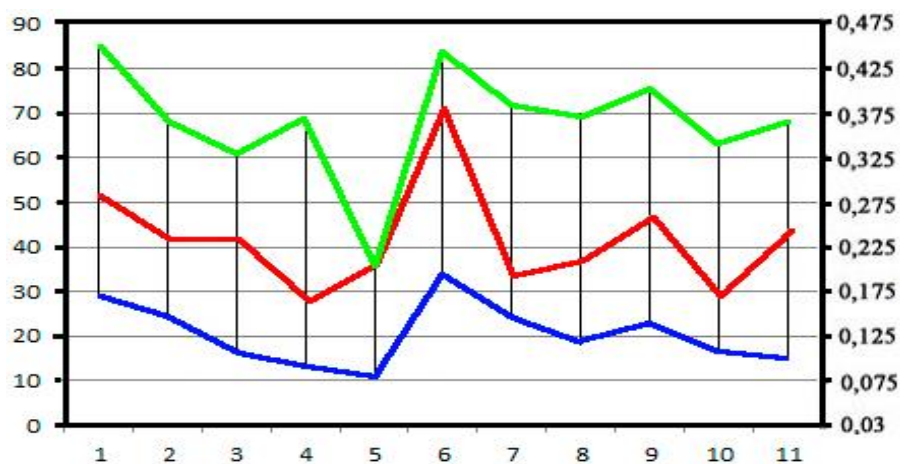


Рис. 12 Положение сообществ на градиенте содержание азота. Левая шкала – значение градиента в баллах; правая шкала – содержание азота (минеральные формы NO_3 и NH_4 %); нижняя шкала – порядок сообществ на профиле

На градиенте аэрации субстрата (рис. 13), определяемом по показателю порозности, зона «комфорта» (оптимальные значения, красная линия) занимает диапазон приблизительно от 40 до 60 баллов, что соответствует значениям порозности от около 40,7% до 55,0%.

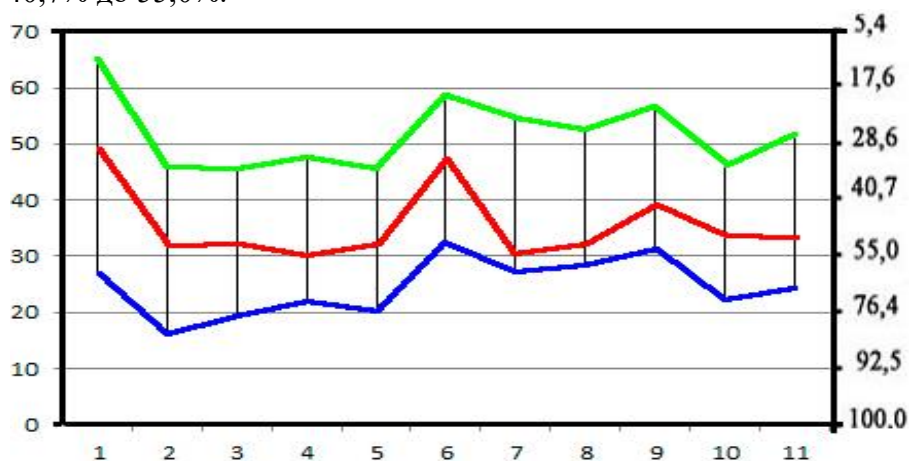


Рис. 13 Положение сообществ на градиенте аэрация субстрата. Левая шкала – значение градиента в баллах; правая шкала – порозность субстрата в %); нижняя шкала – порядок сообществ на профиле

Распределение сообществ по градиенту аэрации субстрата четко отражает их требовательность к водно-воздушному режиму почв. На профиле прослеживается

переход от сообществ, толерантных к уплотнённым и слабоаэрируемым почвам, через сообщества, занимающие зону оптимума в условиях сбалансированной аэрации, к псаммофитным и петрофитным сообществам, адаптированным к существованию на чрезвычайно рыхлых и быстро дренирующихся субстратах.

Выводы

Наиболее благоприятные условия складываются в фитоценозах 8 и 11, где отмечается высокое видовое богатство, разнообразие биоморф, сбалансированное распределение корневых систем и вегетационных стратегий. Экстремальные условия (засоление, аридность, бедность субстрата) характерны для фитоценозов 1, 2, 10, где сообщества упрощены, преобладают однолетники и виды с специализированными адаптациями (розеточные формы, глубокие корни). Переходные сообщества демонстрируют промежуточные черты, отражающие градиенты увлажнения, засоления и аэрации. Таким образом, биоморфологическая структура фитоценозов чётко отражает экологические условия разных элементов донного рельефа и их динамику вдоль профиля, отражая ключевую роль растительного покрова в стабилизации дюн, что важно для поддержания устойчивости хрупких прибрежных экосистем, в связи с увеличением рекреационной нагрузки.

Список литературы

1. Иванов Н.Н. Об определении величины континентальности климата // Известия Всесоюзного Географического общества. – 1959. – Т. 91, Вып. 5. – С. 410-423.
2. Квитницкая А.А., Корженевский В.В. Динамика средовых условий в оползневом рельефе на мысе Маяк (Керченский полуостров) // Биология растений и садоводство: теория, инновации. – 2025. – №2 (175). – С. 42-55.
3. Клюкин А.А., Корженевский В.В. Дюны Крыма // Физическая география и геоморфология: Сборник научных трудов. – Выпуск 33. – Киев: Вища школа, 1986. – С. 103-109.
4. Корженевский В.В. Растительность дюн Крыма // Сборник научных трудов Государственного Никитского ботанического сада. – 1986. – Том 98. – С.122-133.
5. Корженевский В.В., Квитницкая А.А. Фитоиндикационные особенности донного рельефа Крыма. – Вести биосферного заповедника «Аскания-Нова». – 2009. – Т. 11. – С 48-60.
6. Корженевский В.В., Плугатарь Ю.В., Корженевская Ю.В. Кому в сосняке жить хорошо? Сообщества ассоциации *Salviotomentosae-Pinetum pallasianae* Korzh. 1984 на градиентах факторов среды // Сборник научных трудов Государственного Никитского ботанического сада. – 2019. – Т.149. – С. 96-112.

Статья поступила в редакцию 17.09.2025 г.

Kvitnitskaya A.A., Abramnikov A.A., Korzhenevsky V.V. Phytoindication of conditions on the leaning dune of Crimea // Bull. Of the State Nikita Botan. Gard. – 2025. – № 157 – P.105-117.

The article presents the results of phytoindication of environmental conditions on the leaning dunes of the northwestern coast of Karalar 0.8 km from the village of Zolotoe (Crimea, Kerch Peninsula). The method of syntaxonomic analysis revealed unique phytocenoses that have no analogues in the Mediterranean, which are associated with various elements of the dune relief: from a modern beach to a dead cliff and a mossy reef ridge. Species diversity, biomorphological composition (life forms, structure of shoots and root systems), and ecomorphological spectra were analyzed for each of the 11 described communities. Using the original calculation program, the position of communities was determined on the gradients of environmental factors (illumination, temperature regime, humidification, continentality, etc.) and resource factors (acidity, salinity, carbonates and nitrogen content, substrate aeration). It was found that the plant communities of the leaning dunes with a high probability (73-100%) indicate specific relief forms. The importance of preserving vegetation cover in order to maintain the stability of dune ecosystems under conditions of recreational loads is emphasized.

Key words: Kerch Peninsula; leaning dune; phytoindication; plant communities; gradients of environmental factors; syntaxonomy