

УДК 581.5:591.6 (292.471)

БИОИНДИКАЦИЯ ПРИРОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ СТЕПНОГО КРЫМА ПО РАСТИТЕЛЬНОСТИ И ЭНТОМОКОМПЛЕКСУ С УЧЕТОМ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЭМИССИЙ

Кобечинская В. Г.¹, Пышкин В. Б.^{1,2}

¹*Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение)
ФГАОУ ВО «Крымский Федеральный университет им. В.И. Вернадского», Симферополь,
Республика Крым, Россия.*

²*Филиал Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова в г. Севастополе,
Севастополь, Россия
E-mail: valekohome@mail.ru*

Выполнено исследование воздействия антропогенных эмиссий промышленных предприятий Присивашья степного Крыма на природные степные экосистемы. Биоиндикаторами, выявляющими перестройки этих сообществ, были состав растительности и фаунистический спектр энтомокомплекса. Установлены факторы деградации биоморфологического состава и изменений в структуре сложения растений, а также доминантов почвенно-зоологического комплекса зоофагов. Проведенный анализ оценки продуктивности как растительности, так и биомассы почвенных беспозвоночных позволили выявить существенные нарушения морфологических параметров биогеоценозов степного Крыма, что резко снижает потенциал биологического круговорота веществ в этом регионе под влиянием техногенных загрязнений.

Ключевые слова: структура биогеоценозов, энтомокомплекс, продуктивность растительности, биомасса почвенной мезофауны, промышленные эмиссии, Присивашье, Крым.

ВВЕДЕНИЕ

Состав и структура растительных сообществ, почвы, а также зоологический спектр энтомокомплекса выявляют многообразие взаимоотношений степных экосистем со средой обитания, являясь наиболее информативными блоками. Это позволяет использовать их количественные соотношения для решения вопросов биоиндикации при оценке интенсивности техногенного воздействия на них, что освещено в российских и зарубежных публикациях [1–10].

Интенсивное развитие химической промышленности на севере Крымского полуострова с 70-х годов XX века привело к существенному нарушению природных ландшафтов и ухудшению условий окружающей среды [11, 12 и др.]. Здесь расположены Армянский Филиал ООО «Титановые инвестиции», производящий двуокись титана, серную кислоту, железный купорос и др. продукцию, Сивашский анилино-красочный завод и ПАО «Крымский содовый завод» (г. Армянск Красноперекоский район Республики Крым). Из-за промышленных выбросов, в первую очередь диоксида серы (6,4 т/сут.), а также за счет испарения из кислотонакопителя образуются кислотные осадки, которые оказывают негативное

воздействие не только на здоровье жителей городов, но и на прилегающие степные экосистемы.

Эти процессы для данного региона подтверждены и в Распоряжении Правительства РФ от 29 июля 2014 года № 1398-р «Об утверждении перечня монопрофильных муниципальных образований Российской Федерации (моногорода), в которых имеются риски ухудшения социально-экономического положения». В перечень этих городов от Республики Крым вошли г. Армянск и г. Красноперекопск [13].

Для получения количественных характеристик влияния и аккумуляции аэрозолей ведущих загрязнителей промышленных выбросов заводов этого региона на природные степные фитоценозы нами были заложены постоянные пробные площади, находящиеся на различном удалении от территории этих предприятий с учетом розы ветров (от 200 м до 80 км).

Целью наших исследований было проследить в трехлетней динамике направленность и особенности перестройки растительности, почв и почвенно-зоологического комплекса пробных участков степи с учетом воздействия на них промышленных эмиссий. Вышеуказанная проблематика обусловила выбор темы исследования и ее актуальность.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Нами были заложены 5 пробных площадей по 100 м² с использованием стандартных геоботанических методик [14, 15]. Изучались полный флористический состав, выявлялись постоянные и временные доминанты, эдификаторы и субдоминанты, общее проективное покрытие, вертикальная и горизонтальная структура растительности. Видовая насыщенность изучалась соответственно на пробных площадках по 1 м² в 10-кратной повторности, оценивались также высота травостоя и первичная продуктивность фитоценозов [16]. Номенклатура таксонов растений приведена согласно С. К. Черепанову [17].

На этих же пробных участках были выполнены почвенные разрезы с отбором образцов почвы и последующим их физико-химическим анализом. Определяли количество гумуса, рН водной вытяжки, оксидов кальция комплексонометрическим титрованием [18]. При исследовании энтомокомплекса был выявлен видовой состав хортобионтов и их экологическая структура, сделан количественный учет почвенных беспозвоночных и изучен их видовой состав по сезонам с учетом биомассы особей каждой группы мезофауны. Сбор материала вели, используя стандартные энтомологические методики: кошение сачком, ловушки Барбера-Гейлера и др. [19–21]. Все полученные результаты обрабатывались стандартными методами математической статистики. Ошибка средней величины для полученных данных составила $\pm 7-10\%$ [22].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Настоящие (типичные) степи на черноземах и каштановых почвах в равнинном Крыму сохранились фрагментарно [11, 12, 23–25]. Они характеризуются

преобладанием в травостое многолетних ксерофитных, преимущественно плотнoderновинных злаков. Высокая порозность почв района исследований обуславливают целый ряд их физико-химических свойств: большая воздухоёмкость, быстрота впитывания влаги, высокая теплопроводность и фильтрационная способность, что ведет к резкому уменьшению влагоемкости верхнего горизонта и создают крайне жесткие условия для жизнедеятельности растительного покрова и зоокомплекса, особенно в сезонной динамике [4, 5, 25, 26].

Климат района исследования – умеренно-континентальный со средней температурой января – $1,3^{\circ}\text{C}$ и июля – $+22,6^{\circ}\text{C}$. Среднегодовые температуры $+10,5^{\circ}\text{C}$, а среднегодовое количество осадков – 407 мм, выпадающие преимущественно в осенне-зимний период. Летом степная зона отличается засухами и суховеями (18–20 дней). Континентальность и засушливость климата степного Крыма усиливается за счет повышенного ветрового режима. Величина испаряемости влаги почти в два раза превышает количество выпавших осадков. По данным исследований климата Крыма В. П. Нестеренко [27] отмечено, что за последние 20 лет в степной зоне среднегодовая температура воздуха увеличилась на $1,24 \pm 0,06^{\circ}\text{C}$, осадки в зимний период в среднем увеличились на 62 ± 15 мм.

Участок № 1 расположен с юга вблизи стен завода двуокиси титана (таблица 1). Это фрагмент деградированной вторичной степной растительности с высоким обилием сорных видов: *Amaranthus retroflexus*, *Atriplex hortensis*, *Erucastrum gallicum*, *Euphorbia humifusa* и др. Средняя высота травостоя – 25–40 см. Доминируют: *Agropyron pectiniforme*, *Diploaxis tenuifolia*, *Bromus squarrosus*, *Euphorbia virgata*, *Centaurea diffusa* и др. Здесь развита ass. *Agropyron pectiniforme* + *Diploaxis tenuifolia* – *Euphorbia virgata* – *Bromus squarrosus* (асс. кострово-молочайно-двурядково-житнякавая). Здесь наиболее низкое флористическое разнообразие – 28 в. Общее проективное покрытие незначительное (45–50 %), также и наиболее малые показатели видовой насыщенности $4,2 \pm 0,9/1 \text{ м}^2$. Почвы – темно-каштановые, карбонатные. Содержание гумуса низкое – 1,33 %, обусловлено в том числе недостатком почвенного увлажнения, pH – 6,0–7,1, общая скважность достаточно высокая в пределах 60–70 %, поглотительная способность почвы – 49,2 %.

Таблица 1

Сравнительные показатели структуры и продуктивности растительности пробных площадей степного Крыма

№ п/п участка	Число видов на 100 м^2	Общее проективное покрытие, %	Видовая насыщен. на 1 м^2	Коэффициент пестроты сложения	Продуктивность фитомассы, ц/га
1.	28	45–50	$4,2 \pm 0,9$	12,1	$4,2 \pm 0,3$
2.	33	70–75	$12,6 \pm 1,2$	11,5	$8,5 \pm 0,5$
3.	56	80–90	$17,5 \pm 1,8$	10,2	$9,7 \pm 0,9$
4.	75	95–100	$19,6 \pm 1,4$	6,9	$13,5 \pm 1,2$
5.	63	60–70	$20,8 \pm 1,7$	10,6	$10,7 \pm 0,9$

Участок № 2 представлен настоящей степью, он расположен в 3 км к югу от завода. Средняя высота травостоя – 25–35 см. Здесь можно выделить ass. *Artemisia lercheana* – [*Peganum harmala*] – *Agropyron pectiniforme* – *Teucrium chamaedrys* (дубровниково-житняково-полынную). Субдоминантами являются: *Artemisia taurica*, *Festuca rupicola*, *Tanacetum millifolium*, *Koeleria lobate*. В сложении растительности хорошо выражена мозаичность в связи с тем, что он расположен по склону холма и здесь ведется периодический выпас овец. Численность растений на 100 м² – несколько выше 33 вида, как и общее проективное покрытие. Резко повышается видовая насыщенность – $12,6 \pm 1,2 / 1 \text{ м}^2$ почти в три раза. Это коренная растительность для данной климатической зоны, хотя и нарушенная из-за антропогенного влияния. Почвы – южные черноземы, карбонатные, содержание гумуса выше – 2,3 %, рН – 6,5–7,2. Вследствие выпаса физические свойства почвы пропускать воду падают ниже 60 %, опускаясь до величины 50 % у подножья холма. Сумма обменных оснований значительно ниже – 38,2 %.

Участок № 3 заложен в 8 км к западу от промышленного комплекса, равнинный. Здесь в первом ярусе доминируют: *Stipa ucrainica*, *S. capillata*, *Artemisia austriaca*, субдоминантами выступают: *Phlomis pungens*, *Tanacetum achilleifolium*, *Lepidium draba*, *Sinecio vernalis*. Во втором ярусе часто встречаются бурачок бурачковидный (*Alyssum alyssoides*) и солнцезвезд крупноцветковый (*Helianthemum grandiflorum*). Высота травостоя – 30–40 см. Флористическое разнообразие существенно выше – 56 в. Здесь также ведется устойчивый выпас, поэтому обильны в составе степи виды, устойчивые к этому фактору: *Bromus mollis*, *Silene conica*, *Poa sterilis*, *P. angustifolia*, *Teucrium polium*, *Veronica multifida*, *Potentilla recta*, *Camphorosma monspeliaca* и др. В целом сообщество не замкнуто, поэтому новые виды растений легко могут проникнуть в него. Здесь сформировалась ассоциация: ass. *Stipa ucrainica* – *Festuca rupicola* – *Artemisia austriaca* (полынно-овсяницево-ковыльная). Почвы каштановые, карбонатные. Механический состав – легкий суглинок и глина. Содержание гумуса 3,4 %, рН – 6,2–7,1, поглотительная способность почвы – 49,8 %.

Участок № 4 – контрольный. Это целинная заповедная степь у с. Клепинино Красногвардейского района, он расположен в 80 км к югу от промзоны и наиболее удален от промышленных эмиссий. Ведущую роль в сложении сообщества играют злаки, наиболее обильны: *Festuca rupicola*, *Stipa ucrainica*, *Lolium perenne*. Выпас отсутствует, мощная подстилка, высота травостоя – 40–50 см, наблюдается вертикальный континуум. Общее проективное покрытие достигает максимальных значений – 95–100 %, здесь отмечено самое высокое флористическое разнообразие на 100 м² – 75 видов. Здесь выделена ass. *Festuca rupicola* – *Stipa ucrainica* – *Galium ruthenicum* (подмаренниково-ковыльно-типчакковая). Почвы южные черноземы, механический состав – тяжелый суглинок, гумус имеет также самые высокие показатели – 3,9 %, рН – 6,3–6,9. Поглотительная способность наиболее низкая – 29,4 %, что характерно для этого типа почв [25].

Участок № 5 расположен в 70 км к юго-западу от объектов изучения недалеко от г. Черноморск. Это петрофитный вариант настоящей степи, слабо холмистая равнина с выходами плотных известняков на поверхность, почва сильно

щепенчатая. Травостой разрежен, умеренный выпас. Общее проективное покрытие значительно ниже контроля – 60–70 %, как меньше и высота травостоя – 25–35 см. Следует отметить большое разнообразие биоморф от однолетников:

Medicago lupulina, *M. minima*, *Dianthus pseudarmeria*, *Kohlrauschia prolifera* и др., поликарпических трав – *Potentilla depressa*, *Poa angustifolia*, *Euphorbia seguierana*, *Onobrychis gracilis* и др. до полукустарничков – *Euphorbia petrophila*, *Helianthemum stevenii*, *Thymus callieri*, *Th. hirsutus*, *Satureja taurica* и др. Почвы карбонатные черноземы, щепенчатые с содержанием гумуса – 3,4 %, нейтральные (рН – 6,9–7,1), поглотительная способность самая высокая из изученных участков – 50,1 %.

Сравнительный анализ пробных площадей (таблица 1) по флористическому составу позволяет отметить, что наряду с существенным фактором как наличие умеренного выпаса животных [26], четко прослеживается, что чем ближе к заводу, тем беднее флористический спектр сообществ (снижение с 75 до 23 видов). Падает общее проективное покрытие почти в два раза, а, следовательно, сокращается и ассимиляционный аппарат, что сказывается как на снижении биологической продуктивности растительности, так и на фаунистическом разнообразии хортобионтов. Значительно обедняется состав биоморф, если на участках № 4 и № 5 доминируют поликарпические виды (52,3–58 %), то на пробных площадях № 1 и № 2 господствуют однолетники и монокарпики, преимущественно сорные виды. Полукустарнички, значимые в петрофитном варианте настоящей степи (уч. № 5) – 10 %, полностью выпадают в десяти километровой промзоне.

Еще одна особенность влияния промышленных эмиссий – на участках № 1–3 нет видов с встречаемостью более 60 %. По классификации фитоценотивов Л. Г. Раменского [14] виоленты, обеспечивающие устойчивость сложения растительности вблизи завода отсутствуют или очень редки, что свидетельствует о неустойчивости структуры этих биогеоценозов, здесь главенствуют эксплеренты. Рассчитанный коэффициент, оценивающий пестроту сложения структуры изученных сообществ [22] в сравнительном аспекте выявил, что он наиболее низок на контрольном участке № 4 – 6,9, возрастая почти вдвое на пробных площадях, расположенных вблизи от техногенных выбросов (11,5–12,1). Показатель видовой насыщенности также постепенно возрастает по мере удаления от промышленной зоны, достигая максимальных значений на самых дальних № 4 и № 5 площадях ($19,6 \pm 1,4$ и $20,8 \pm 1,7 / 1 \text{ м}^2$ соответственно).

Анализ продуктивности растительности выявил следующие тенденции. Главенствуют по соотношению в фитомассе злаки (16,0–40,5 %) и разнотравье (9,3–12,8 %), кроме участка № 1, где последняя группа составляет всего 1,8 %. В сумме ветошь и подстилка на контроле (участок № 4) значительно превышает фитомассу (71,5–79,3 %) по сезонам года, но вблизи завода этот показатель резко снижается. В промзоне подстилка в 1,5 раза меньше ветоши, т.е. здесь процесс отмирания фитомассы и переходе её в ветошь идет значительно быстрее минерализации, поэтому здесь наиболее низкие показатели гумуса. По мере удаления от завода с учетом ослабления выбросов на растительность отмирание фитомассы и переход её в ветошь замедляется и вес подстилки значительно

превышает ветошь. В целом, продуктивность фитомассы (таблица 1) на всех участках, кроме заповедного ($13,5 \pm 1,2$ ц/га) даже в период максимального развития травостоя низкая (4,2–10,7 ц/га), но все же четко прослеживается возрастание этого параметра по мере удаления от источника промышленного загрязнения.

Установленные тенденции деградации растительности степных экосистем при воздействии на них аэрозолей промзоны г. Армянска подтверждают и выполненные исследования распределения спектра энтомокомплекса на этих же территориях.

Экологическая структура хортобионтов выглядит следующим образом (таблица № 2). Вблизи завода (участок № 1) отмечен их обедненный состав – 23 вида. Полностью выпадают такие характерные для степных экосистем фитофаги, как прямокрылые, единично встречаются растительноядные клопы.

Перепончатокрылые представлены немногочисленными и паразитарными формами – хальцидами. Относительно многочисленными являются одиночные пчелы и разнородные виды муравьев. Видовой состав группы антофилов практически одинаков на всех площадях, но численность их особей сокращается у стен завода (участок № 1) более чем в 3 раза. Фитофаги с колюще-сосущим ротовым аппаратом незначительны по видовому спектру, причем самые низкие показатели их присутствия выявлены на участках № 4 и № 5 (5,9–7,7 %), более всего их выявлено на участке № 2–8 в (17,4 %). По количеству особей в ловушках самая низкая их численность отмечена на участке № 1 вблизи завода (в 5 раз меньше, чем на остальных пробных площадях). Наиболее уязвимы к газопылевым эмиссиям заводов насекомые с грызущим типом ротового аппарата, потребляющие растительную пищу с осаждаемой на ней химическими загрязнителями.

Таблица 2

Состав хортобионтов по способам питания на пробных площадях степного Крыма

№ участка	1		2		3		4		5	
	Кол.	%	Кол.	%	Кол.	%	Кол.	%	Кол.	%
Экогруппы по способу питания										
Антофилы	5	21,7	5	10,9	5	12,5	1	5,9	6	15,4
Фитофаги, питающиеся соком растений	2	8,7	8	17,4	6	15,0	1	5,9	3	7,7
Фитофаги (ротовой аппарат грызущего типа)	8	34,8	24	52,1	20	50,0	12	70,6	18	46,1
Зоофаги	8	34,8	9	19,6	9	22,5	3	17,6	12	30,8
Итого	23	100	46	100	40	100	17	100	39	100

На участке № 1 уменьшение их видового спектра отмечено в 2,5–3 раза по сравнению с пробными площадями № 2 и № 3 в 10-ти километровой промзоне. По доле участия их в структуре хортобионтов по участкам снижение идет с 50,0–52,1 %

БИОИНДИКАЦИЯ ПРИРОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ СТЕПНОГО КРЫМА...

до 34,8 % соответственно, а общая численность по особям каждого вида снижается в 1,5 раза. Напротив, на контроле (№ 4) эти показатели самые высокие (70,6 %) от всего видового состава. Доля зоофагов в спектре форм питания по всем участкам меняется незначительно (8–12 видов) с минимальным их участием в заповедной степи.

Проанализируем по видовому составу представленность мезофауны пробных площадей степного Крыма (таблица 3).

Таблица 3
Видовой состав мезофауны пробных площадей степного Крыма

№ участка	1		2		3		4		5	
	Кол.	%	Кол.	%	Кол.	%	Кол.	%	Кол.	%
Семейства	0	0	0	0	3	15,0	4	16,0	3	16,6
Oligocheta	0	0	0	0	3	15,0	4	16,0	3	16,6
Chilopoda	0	0	1	6,2	1	5,0	1	4,0	1	5,6
Diplopoda	0	0	0	0	0	0	1	4,0	1	5,6
Insecta	4	50,0	5	31,4	5	25,0	6	24,0	5	27,7
Scarabaeidae	0	0	1	6,2	1	5,0	1	4,0	0	0
Cerambycidae	0	0	0	0	1	5,0	1	4,0	1	5,6
Elateridae	0	0	1	6,2	3	15,0	2	8,0	1	5,6
Tenebrionidae	0	0	1	6,2	1	5,0	2	8,0	1	5,6
Alleculidae	0	0	2	12,6	0	0	0	0	0	0
Chrisomelidae	0	0	1	6,2	0	0	0	0	0	0
Hemiptera	0	0	1	6,3	0	0	1	4,0	0	0
Diptera	2	25,0	1	6,2	1	5,0	3	12,0	2	11,1
Lepidoptera	2	25,0	2	12,6	4	20,0	3	12,0	3	16,6
Итого	8	100	16	100	20	100	25	100	18	100

На пробной площади вблизи источников эмиссий (участок № 1) самая малочисленная группа по фаунистическому разнообразию представлена всего 2 отрядами: Diptera и Lepidoptera. По мере удаления от источника химических загрязнений существенно меняется спектр хортобионтов как по видовому, так и по количественному составу. Например, на участке № 2 – количество видов возрастает до 16, а собранных экземпляров до 2609 экз. Удаление всего на 3 км от стен завода ведет к удвоению видового разнообразия – до 32 видов, которые являются представителями уже 10 семейств. На участке № 3 – удаление на 8 км от источников химических выбросов также растёт фаунистическое разнообразие – до 42 видов преимущественно за счет представителей отряда Lepidoptera. Самые бедные по представленности видами – это семейства Tenebrionidae и Chrisomelidae, выявлены их особи в пробах только на втором участке. Наиболее часто встречаются прямокрылые и разнокрылые, что связано с более густым травостоем на контрольной площади № 4. В 10-ти километровой промзоне чаще встречаются представители семейства шелконов: *Agriotes (A) sputator* (Linnaeus), *Ag. (A) lineatus* (Linnaeus), *A. (A) gurgistanus* (Faldermann) среди которых

доминирует последний – вредитель сельского хозяйства. В почве и подстилки из отряда жесткокрылых встречаются личинки насекомых из семейств Elateridae, Tenebrionidae, Scarabaeidae и Cerambycidae: *Dicronychus atricapillus* (Germar), *Synaptus filiformis* (Fabricius), *Melanotus (M) fusciceps* (Gyllenhal), *Pimelia (C) subglobosa* Pallas, *P. obtusa* (Fabricius), *Crypticus (C) quisquilius* (Linna.), *Tenebrio obscurus* Fabricius, *Odocnemis (H) perplexus* (Menetr), *Rhamnusium testaceipenne* Pic, *Pyrrhidium sanguineum* (Linnaeus), *Echinocerus floralis* (Pallas), *Chlorophorus sartor* (Muller) и др.

Дождевые черви наиболее чувствительны к промышленному загрязнению почвы и вблизи завода вообще не встречаются. На участке № 3 выявлены 3 вида: *Lumbricus terrestris* L., *Nicodrilus dubiosus* L., *N. caliginosus* Sav. в почвенном горизонте 0–30 см, причем наиболее многочисленные особи (4 экз./м²) последнего вида в весенних пробах, снижаясь в летний период до 1,3 экз./м², что обусловлено температурным режимом и низкой влагообеспеченностью верхних слоев почвы (полевая влажность падает до 15–18 %). Отсутствие выпаса, хорошо развитый травостой и мощная подстилка являются ведущими факторами видового и численного многообразия группы хортобионтов на участке № 4 (таблица 3). Здесь также многочисленны жесткокрылые, встречаются редкие виды подсемства Bruchinae из семества листоедов и Vupristidae, которые не выявлены в пробах на других территориях. Среди мезофауны на наиболее удаленных от заводов участках № 4 и № 5 преобладают подстилочно-почвенные зоофаги родов: *Calosoma* Web. и *Pteros* Bon., относящимся к гемикриптобионтам, численность их в сумме достигает в летний период 42,6 экз./м². Встречаются личинки Tenebrionidae, представленные видами *Dendarus punctatus* Serv., *Opatrum sabulosum* L., *Blaps letifera* F. Среди почвообитающих личинок наиболее часто встречаются представители двукрылых, семейства лжектырей (Therevidae) и чернотелок подсемейства Alleculidae. Виды из семейства Tipulidae (Diptera) обнаружены только здесь в верхнем слое почвы и активно участвуют в формировании гумусового слоя [28]. Следует также отметить высокую численность видов семейства Asilidae – хищников, питающихся почвообитающими беспозвоночными.

Анализ экологической структуры хортобионтов выглядит следующим образом (Рис. 1). По трофической специализации среди почвенно-зоологического комплекса доля зоофагов вблизи предприятия составляет на участках № 1 и № 2 – 62,5–47,4 %, причем хищники неспециализированные представлены журами и двукрылыми (*Pterostichus cupreus* L., *Pt. melanarius* L., *Amara consularis* Duft., *A. fulva*).

Доминирование их над миксофитофагами и сапрофагами – характерный признак разбалансированности экосистемы. Напротив, на наиболее удаленных от источника промышленных эмиссий двух участков преобладают зоофаги (48,2–48,4 %), второе место занимают фитофаги (25,9–27,5 %), значимость сапрофагов резко снижается до полного их выпадения вблизи завода.

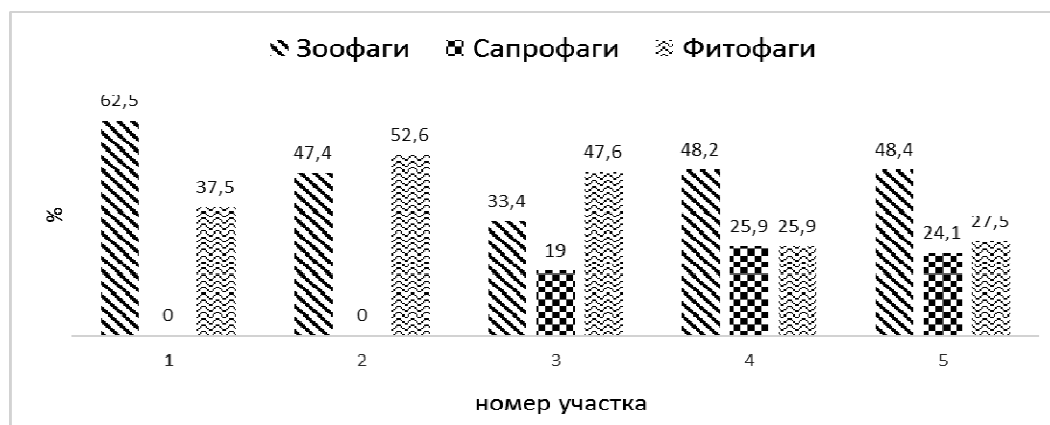


Рис. 1. Трофические группы в почвенно-зоологическом комплексе на пробных площадях степного Крыма (%).

Биомасса почвенных беспозвоночных существенно колеблется по сезонам и горизонтам почвы с учетом степени антропогенного загрязнения территорий. Но общая тенденция сохраняется – с увеличением расстояния от источника химических эмиссий повышается биомасса почвенной мезофауны от 0,759 до 2,404 г/м² весной (участки № 1–5), летом и осенью 0,113–1,182 г/м² и 0,283–0,979 г/м² соответственно. Биомасса этой группы уменьшается за счет вертикальной миграции и перехода в имагинальную фазу развития ряда видов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных комплексных исследований было установлено, что структура растительности и энтомокомплекса естественных экосистем выступают хорошими биологическим индикаторами, выявляющими существенные нарушения морфологических параметров биогеоценозов степного Крыма, ослабляя их устойчивость и активизируя процессы деградации под влиянием техногенных загрязнений. Показатели сезонной динамики фитомассы и биомассы почвенных беспозвоночных также можно использовать с целью выявления эдафической принадлежности этих сообществ, что подтверждает правомерность использования этих подходов. Качественный и количественный состав, определенный набор доминантов, соотношение биоморф растений и фауны герпетобия обусловлены зональными особенностями этих компонентов, что позволяет выявлять общие закономерности при раскрытии их сукцессионных перестроек, четко свидетельствуя о разбалансированности и уязвимости природных экосистем степного Крыма под техногенным воздействием.

Список литературы

1. Мордкович В. Г. Судьба степей / В. Г. Мордкович, А. М. Гиляров, А. А. Тишков, С. А. Баландин – Новосибирск: Мангазея, 1997. – 208 с.

2. Сажнев А. С. Жесткокрылые сем. Helerozeridae (Insecta: Coleoptera) в экстремальных условиях / А. С. Сажнев // Трансформация экосистем. – 2020. – Т.3, № 2 (8). – С. 84–93.
3. Ярошенко В. Л. Жуки-листоеды естественных и антропогенных экосистем Северного Кавказа : автореферат дис. докт. биол. наук. / В. Л. Ярошенко. – М., 1994. – 40 с.
4. Ивашов А. В. Оценка разнообразия флоры и фауны биогеоценозов Крымского Присивашья / А. В. Ивашов, В. М. Громенко, В. Б. Пышкин // Экология и ноосферология. – 2010. – Т.21, № 1-2. – С. 19–26.
5. Пышкин В. Б. К анализу биологического разнообразия мелойдофауны (Insecta: Meloidae) основных экоцентров региональной экологической сети Крыма / В. Б. Пышкин, В. Г. Кобечинская // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Серия. Биология. Химия. – 2020. – Т. 6 (72), № 2. – С. 195–203.
6. Dormaar J. F. Vegetation and soil responses to short-duration grazing on fescue grasslands / J. F. Dormaar, S. I. Smoliak, W. D. Willms // Journal of range management. – Wyoming – 1989. – Vol. 50, No. 3. – P. 252–256.
7. Подсвинова К. А. Насекомые как объект биоиндикации / К. А. Подсвинова, Д. Г. Смирнова, Е. А. Чернова // Молодой ученый. – 2019. – № 47 (285). – С. 160–161.
8. Bock C. E. Cover of perennial grasses in southeastern Arizona in relation to livestock grazing / C. E. Bock // Conservation biology. – Boston. – 1993. – Vol. 7, No. 2. – P. 371–377.
9. Stephenson G. R. Recovery of compacted soil on pastures used for winter cattle feeding / G. R. Stephenson, A. T. Veigel // Journal of range management. – New York. – 2005. – Vol. 40, No.1. – P. 46–48.
10. Неверова О. А. Опыт использования биоиндикаторов в оценке загрязнения окружающей среды: аналит. обзор / О. А. Неверова, Н. И. Еремеева. – Новосибирск: Ин-т экологии человека, 2006. – 288 с.
11. Багрикова Н. А. Современное состояние растительного покрова Крымского Присивашья и перспективы охраны / Н. А. Багрикова // Современное состояние Сиваша. – Киев: Wetland International – АЕМЕ, 2007. – С. 27–37.
12. Николаев Е. В. Естественные пастбища Крыма / Е. В. Николаев, А. В. Ена, М. М. Мельников. – Симферополь, 2010. – 140 с.
13. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 29 июля 2014 г. № 1398-р «Перечень монопрофильных муниципальных образований Российской Федерации (моногородов), в которых имеются риски ухудшения социально-экономического положения». – Режим доступа: <http://41d4f68fb74d798eae71.pdf> (government.ru). (Дата обращения 13.02. 2022).
14. Воронов А. Г. Геоботаника / А. Г. Воронов – М.: МГУ, 1990. – С. 71–154.
15. Ипатов В. С. Описание фитоценоза: методические рекомендации / В. С. Ипатов, Д. М. Мирин – СПб.: СПб гос. ун-т, 2008. – 71 с.
16. Титлянова А. А. Изучение биологического круговорота в биогеоценозах / А. А. Титлянова // Методическое руководство. – Новосибирск: Наука, 1971. – 136 с.
17. Черепанов С. К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). / С. К. Черепанов – СПб.: Мир и семья, 1995. – 992 с.
18. Воробьева Л. А. Химический анализ почв. / Л. А. Воробьева – М.: МГУ. – 1998. – 272 с.
19. Фасулати К. К. Полевое изучение насекомых беспозвоночных / К. К. Фасулати – М.: Высшая школа, 1971. – С. 16–73.
20. Гиляров М. В. Методы почвенно-зоологических исследований / М. В. Гиляров – М.: Наука, 1975. – С. 12–55.
21. Фокина М. Е. Методы полевых зоологических исследований: учебное пособие / М. Е. Фокина, Ю. Л. Герасимов – Самара: Изд. Самарского гос. ун-та, 2018. – 92 с.
22. Шмойлова Р. А. Общая теория статистики: учебник / Р. А. Шмойлова – М.: Финансы и статистика, 2002. – 480 с.
23. Шалыт М. С. К вопросу о существовании “полюнных степей” на юге Украины и в северном Крыму / М. С. Шалыт // Бюл. МОИП. – 1948. – Отд. биол. Т. 53, Вып. 6. – С. 53–66.
24. Дзен-Литовская Н. Н. Почвы и растительность степного Крыма / Н. Н. Дзен-Литовская. – Л.: Наука, 1970. – 156 с.
25. Драган Н. А. Почвы Крыма / Н. А. Драган. – Симферополь: ТНУ, 2005. – 95с.

26. Кобечинская В. Г. Постпастбищная демутиация в опустыненных степях равнинного Крыма с учетом интенсивности пасквальной нагрузки / В. Г. Кобечинская // Ученые записки КФУ Серия. Биология. Химия. – 2018. – Т.4 (73). – С. 79–96.
27. Нестеренко В. П. Закономерности формирования климатических изменений и их прогноз на территории Крыма / В. П. Нестеренко // Научные ведомости: Естественные науки. – 2016. – Вып. 36, № 18. – С. 2–39.
28. Стриганова Б. Р. Функциональная характеристика сапрофильного комплекса беспозвоночных в наземных экосистемах / Б. Р. Стриганова // Проблемы и методы биологической деструкции органических веществ в почве естественных биогеоценозов и агроценозов. – Львов. – 1982. – С. 12–15.

BIOINDICATION OF NATURAL ECOSYSTEMS OF THE STEPPE CRIMEA BY VEGETATION AND ENTOMOCOMPLEX TAKING INTO ACCOUNT THE IMPACT OF INDUSTRIAL EMISSIONS

Kobechinskaya V. G.¹, Pyshkin V. B.^{1,2}

¹*V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Republic of Crimea, Russia*

²*Branch of Moscow State University M. V. Lomonosov in Sevastopol, Sevastopol, Russia*

E-mail: valekohome@mail.ru

The purpose of our research was to identify the effect of aerosol pollutants from industrial emissions from plants near the Sivash region of the steppe Crimea on the leading components of natural steppe ecosystems. To do this, permanent trial plots were established, located at different distances from the territory of these enterprises, taking into account the wind rose (from 200 m to 80 km). A comparative analysis of sample plots by floristic composition revealed that the closer to the plant, the poorer this spectrum (reduction from 75 to 23 species). The total projective cover almost halved, therefore, the assimilation apparatus is also reduced, which affects both the decrease in the biological productivity of vegetation and the faunistic diversity of chortobionts. The composition of biormorphs is significantly depleted, if in plots No. 4 and No. 5 polycarpic species dominate (52.3–58 %), then in sample plots No. 1 and No. 2, annuals and monocarpics, mainly weeds, dominate. Semi-shrubs, significant in the petrophytic variant of the real steppe (plot No. 5) – 10 %, completely fall out in a ten-kilometer industrial zone. Another feature of the influence of industrial emissions is that there are no species with an occurrence of more than 60 % in plots Nos. 1-3. Violents, which ensure the stability of the composition of vegetation, are absent or very rare near the plant, which indicates an imbalance in the structure of these biogeocenoses; explerents dominate here.

Vegetation productivity analysis revealed the following trends. Cereals (16.0–40.5 %) and herbs (9.3–12.8 %) dominate in terms of the ratio in phytomass, except for plot No. 1, where the latter group is only 1.8 %. In total, rags and bedding in the control (plot No. 4) significantly exceeds the phytomass (71.5–79.3 %) in the seasons of the year, but this figure sharply decreases near the plant. In the industrial zone, bedding is 1.5 times smaller than rags, i.e. here the process of dying off of phytomass and its transition to rags goes much faster than mineralization, therefore, here the humus values are the lowest. With

distance from the plant, taking into account the weakening of emissions to vegetation, the death of phytomass and its transition to rags slows down and the weight of the litter significantly exceeds rags. In general, the productivity of phytomass in all areas, except for the reserved one (13.5 ± 1.2 c/ha), even during the period of maximum development of the herbage, is low (4.2–10.7 c/ha), but an increase in this parameter is still clearly visible, as they move away from the source of industrial pollution.

The established tendencies of vegetation degradation in steppe ecosystems under the influence of aerosols from the industrial zone of the city of Armyansk are also confirmed by the performed studies of the distribution of the spectrum of the entomocomplex in the same territories. Near the plant (site No. 1), their depleted composition was noted – 23 species. Phytophages, characteristic of steppe ecosystems, such as orthopterans, completely disappear, herbivorous bugs are found sporadically. Hymenoptera are represented by a few and parasitic forms – chalcids. Relatively numerous solitary bees and polyphagous ant species. The species composition of the anthophylls group is practically the same in all areas, but the number of their individuals decreases near the walls of the plant (plot No. 1) by more than 3 times. Phytophages with piercing-sucking mouthparts are insignificant in terms of species spectrum, and the lowest indicators of their presence were found in plots No. 4 and No. 5 (5.9–7.7 %), most of all they are found in plot No. 2–8 in (17.4 %). In terms of the number of individuals in traps, their lowest number was also noted in the area near the plant (5 times less than in the rest of the sample plots). The most vulnerable to gas and dust emissions from factories are insects with a gnawing type of mouth apparatus, which consume plant food with chemical pollutants deposited on it. The proportion of zoophages in the spectrum of food forms in all areas varies slightly (8–12 species) with their minimal participation in the protected steppe. As we move away from the source of chemical pollution, the spectrum of hortobionts changes significantly both in terms of species and quantitative composition. So, only 8 species, represented by only 3 families, were found near the walls of the plant. A distance of 3 km from the source of emissions leads to a doubling of the species diversity to 16 species, which are already representatives of 10 families. At site No. 3, which is 8 km away from chemical emissions, faunal diversity grows - up to 20 species, mainly due to the family *Lepidoptera*. The representatives of the family drop out. *Alleculidae*, *Chrisomelidae*, *Hemiptera*, but species from the *Oligocheta* family appear in the traps, retaining their species composition in other sample plots. Among the soil-dwelling larvae of *Diptera*, representatives of the fam. *Therevidae*, *Alleculidae*. Earthworms are the most sensitive to industrial soil pollution and are not found near the plant at all. Among the mesofauna in the most remote from the plants areas No. 4 and No. 5, litter-soil zoophages related to hemicryptobionts predominate, and their total number reaches 42.6 ind./m² in summer. *Tenebrionidae* larvae are also found, represented by the species *Dendarus punctatus* Serv., *Opatrum sabulosum* L., *Blaps letifera* F. Among soil-dwelling dipteran larvae, representatives of the families *Therevidae* and *Alleculidae* are most often noted. In terms of trophic specialization among the soil-zoological complex, the share of zoophages near the enterprise is 62.5–47.4 % in plots No. 1 and No. 2, and non-specialized predators are represented by ground beetles and *Diptera*. Their dominance over mixophytophages and saprophages is also a characteristic sign of ecosystem

imbalance. On the contrary, in the two areas most distant from the source of industrial emissions, zoophages prevail (48.2–48.4 %), phytophages occupy the second place (25.9–27.5 %), the significance of saprophages sharply decreases until they completely disappear from samples near factory.

The biomass of soil invertebrates fluctuates significantly by seasons and soil horizons, taking into account the degree of anthropogenic pollution of territories. But the general trend remains – with increasing distance from the source of chemical emissions, the biomass of soil mesofauna increases from 0.759 to 2.404 g/m² in spring (sites No. 1–5), in summer and autumn 0.113–1.182 g/m² and 0.283–0.979 g/m², respectively.

Thus, as a result of the comprehensive studies, it was found that the structure of vegetation and the entomocomplex of natural ecosystems act as good biological indicators that reveal significant violations of the morphological parameters of the biogeocenoses of the steppe Crimea, weakening their stability and activating degradation processes under the influence of technogenic pollution.

Keywords: structure of biogeocenoses, entomocomplex, vegetation productivity, soil mesofauna biomass, industrial emissions, Sivash region, Crimea.

References

1. Mordkovich V. G., Gilyarov A. M., Tishkov A. A., Balandin S. A., *The fate of the steppes*, 208 (Mangazeya, 1997).
2. Sazhnev A. S. Coleoptera fam. Heleroceridae (*Insecta: Coleoptera*) under extreme conditions, *Ecosystem Transformation*. **3**, 2(8) 84 (2020).
3. Yaroshenko V. L. Leaf beetles of natural and anthropogenic ecosystems of the North Caucasus, *Abstract... dis. doc. biol sciences*, 40 (1994).
4. Ivashov A. V., Gromenko V. M., Pyshkin V. B., *Ecology and noospherology*, **21**, 1-2, 19 (2010).
5. Pyshkin V. B., Kobechinskaya V. G. On the analysis of the biological diversity of the meloid fauna (*Insecta: Meloidae*) of the main ecocenters of the regional ecological network of Crimea, *Scientific notes of the Crimean Federal University named after V. I. Vernadsky. Series. Biology. Chemistry*, **6 (72)**, 2, 195 (2020).
6. Dormaar J. F., Smoliak S. I., Willms W. D. Vegetation and soil responses to short-duration grazing on fescue grasslands, *Journal of range management*, **50**, 3, 252 (1989).
7. Podsvirova K. A., Smirnova D. G., Chernova E. A. Insects as an object of bioindication, *Young scientist*, **47 (285)**, 160 (2019).
8. Bock C. E. Cover of perennial grasses in southeastern Arizona in relation to livestock grazing, *Conservation biology*, **7**, 2, 371 (1993).
9. Stephenson G. R., Veigel A. T. Recovery of compacted soil on pastures used for winter cattle feeding, *Journal of range management*, **40**, 1, 46 (2005).
10. Neverova O. A., Eremeeva N. I. *Experience of using bioindicators in assessing environmental pollution: analyt. review*, 288 (Institute of Human Ecology, 2006).
11. Bagrikova N. A. The current state of the vegetation cover of the Crimean Sivash region and the prospects for protection, *Modern state of Sivash*, 27 (Wetland International – AEME, 2007).
12. Nikolaev E. V., Yena A. V., Melnikov M. M., *Natural pastures of Crimea*, 140 (N. Oreanda, 2010).
13. Decree of the Government of the Russian Federation dated July 29, 2014 No. 1398-r "List of single-industry municipalities of the Russian Federation (single-industry towns) in which there are risks of deterioration of the socio-economic situation." – *Electron. Dan (2014)*. Access mode: <http://41d4f68fb74d798eae71.pdf> (government.ru) Zagli. from the screen.
14. Voronov A. G. *Geobotany*, 71 (MGU, 1990).
15. Ipatov V. S., Mirin D. M. *Description of phytocenosis: guidelines*, 71 (St. Petersburg state. un-ta, 2008).

16. Titlyanova A. A. Study of the biological cycle in biogeocenoses, *Methodological guide*, 136 (Nauka, 1971).
17. Cherepanov S. K. *Vascular plants of Russia and neighboring states (within the former USSR)*, 992 (World and family, 1995).
18. Vorobeva L. A. *Chemical analysis of soils*, 272 (MSU, 1998).
19. Fasulati K. K. *Field study of invertebrate insects*, 16 (Higher School, 1971).
20. Gilyarov M. V. *Methods of soil-zoological research*, 12 (Nauka, 1975).
21. Fokina M. E., Gerasimov Y. L. *Methods of field zoological research: textbook*, 92 (Ed. Samara State un-
ta, 2018).
22. Shmoylova R. A. *General theory of statistics: textbook*, 480 (Finance and statistics, 2002).
23. Shalyt M. S. On the question of the existence of "wormwood steppes" in the south of Ukraine and in the
northern Crimea Bul. MOIP, Det. biol., **53**, 6, 53 (1948).
24. Zen-Litovskaya N. N. *Soils and vegetation of the steppe Crimea*, 156 (Nauka, 1970).
25. Dragan N. A. *Soils of Crimea*, 95 (TNU, 2005).
26. Kobechinskaya V. G. Postpasture demutation in the desert steppes of the Crimean plains, taking into
account the intensity of the pasqual load, *Uchenye zapiski KFU Series. Biology. Chemistry*, **4** (73), 79
(2018).
27. Nesterenko V. P. Patterns of formation of climatic changes and their forecast on the territory of Crimea,
Scientific Bulletin: Natural Sciences, **36**, 18, 2 (2016).
28. Striganova B. R. Functional characteristics of the saprofile complex of invertebrates in terrestrial
ecosystems, *Problems and methods of biological destruction of organic substances in the soil of natural
biogeocenoses and agroocenoses*, 12 (1982).