

ВЫРАЖЕННОСТЬ АНТРОПОГЕННОГО ДАВЛЕНИЯ НА ЭКОСИСТЕМЫ ПО МОРФОМЕТРИЧЕСКИМ, ФЕНЕТИЧЕСКИМ И ЦИТОЛОГИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ ВИДОВ-БИОИНДИКАТОРОВ

EXPRESSION OF ANTHROPOGENIC PRESSURE ON ECOSYSTEMS BY MORPHOMETRIC, PHENETIC AND CYTOLOGICAL INDICATORS OF BIOINDICATOR SPECIES

Т. П. Сергеева^{1,2}, *О. В. Лозинская*^{1,2}, *Е. Г. Смирнова*^{1,2}, *Е. Т. Титова*³
T. P. Sergeeva^{1,2}, *O. V. Lozinskaya*^{1,2}, *E. G. Smirnova*^{1,2}, *E. T. Titova*³

¹Белорусский государственный университет, БГУ

²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ
Минск, Республика Беларусь
res_sector@gmail.by

³ООЗЖ «Зоосвет», г. Минск, Республика Беларусь

¹Belarusian State University, BSU

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU
Minsk, Republic of Belarus

³PAAP «Zoosvet», Minsk, Republic of Belarus

Дается сравнительный анализ химического состава почв трех территориальных кластеров, а также особенностей цитологических характеристик и популяционной структуры видов-биоиндикаторов. Выделены виды-индикаторы среди Acrididae. Определены тест-критерии у видов-биоиндикаторов: цитологические показатели – у фитоиндикаторов (*Alium cepa*) и морфо-фенетические признаки – у видов-зооиндикаторов – саранчовых (Acrididae),

A comparative analysis of the chemical composition of the soils of three territorial clusters, as well as the features of cytological characteristics and population structure of bioindicator species is given. Indicator species among Acrididae have been identified. Test criteria have been determined in bioindicator species: cytogenetic parameters in phyto indicators (*Alium cepa*) and morpho-phenetic signs in zoo indicators – locusts (Acrididae).

Ключевые слова: фитоиндикаторы, зооиндикаторы, тест-системы, заповедные территории, техноценозы.

Keywords: phyto indicators, zoo indicators, test systems, reserved areas, technocenoses.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-173-177>

Введение. Наблюдаемое изменение природных условий (заметное потепление) и усиление воздействия антропогенных факторов (загрязнение окружающей среды, трансформация естественных ландшафтов, техногенные катастрофы) сказываются на состоянии условий обитания растительных и животных организмов, а также человека. В контексте современных реалий нельзя не учитывать глубокого преобразования сложившихся природных комплексов в результате быстрых темпов развития техногенных процессов, а также потенциальных угроз на примере аварии Чернобыльской АЭС.

Кроме того, в настоящее время вводятся в строй новые атомные электростанции, в ряду которых находится БелАЭС.

В связи с этим во всех странах значимость приобретают системы мониторинга в зоне действия АЭС, базирующиеся на методах физико-химического и биологического контроля. Причем, в отдельных случаях биологический контроль является ведущим методом оценки наблюдаемых воздействий. Обусловлено это его возможностью выявлять совокупное воздействие факторов среды на живые организмы по показателям их состояния, характеризующих стабильность развития или отклонение от нормального развития. При этом, важное значение приобретает относительная экономическая доступность данного метода. В качестве биоиндикационных объектов в экологических исследованиях используют растения и насекомых [1–4].

И, наконец, контроль состояния территорий, находящихся в неравноценных экологических условиях, необходим для разработки интегральных подходов в обеспечении стабильности экосистем и эффективных мер при принятии управленческих решений, что имеет как теоретическое, так и практическое значение.

Материал и методы. Материалом являлись образцы почв из всех реперных точек, корневая меристема лука репчатого, выращенного на водных вытяжках почв исследуемых территорий и сборы прямокрылых в экологически различающихся биогеоценозах, расположенных в естественной и техногенно-измененной среде.

Выбор объектов был продиктован их широким распространением, доступностью сбора, экологической и экономической значимостью, а также пригодностью их в качестве индикаторов среды.

Полевые исследования проводились в пунктах, расположенных в условиях действия разнородных антропогенных факторов, в том числе и радиационного (ПГРЗ), а также на территории, прилегающей к БелАЭС и на контрольной территории, которой служил Березинский биосферный заповедник.

Определение содержания радионуклидов в образцах почв 3-х разнотипных территориальных кластеров – Полесского государственного радиационного заповедника, Белорусской АЭС и Березинского биосферного заповедника – проводилось методом спектрометрического исследования с использованием гамма-бета спектрометра МКС АТ 1315. В работе представлены данные за период с 2012 г. (с момента подготовки площадки для БелАЭС) и до ввода станции в строй.

Изучение влияния на живые организмы элементного состава почв (в том числе и радионуклидов) – одного из факторов окружающей среды – осуществлялось на используемом в качестве модельного вида луке репчатом (*Allium cepa*) [5] путем выявления цитогенетических нарушений с использованием метода *Allium*-тест.

Состояние среды с помощью зооиндикаторов – представителей семейства Acrididae – определяли по их жизненным формам как наиболее точным показателям условий обитания в ландшафте посредством «внешнего облика (габитуса) животного в сочетании с его биологическими адаптациями» [6], а также полового диморфизма [7].

За основу были взяты морфо-метрические показатели и различия габитуса: угол наклона головы, длина и толщина усиков, соотношение между шириной и высотой тела в области заднегруди: (индекс Ш/В) – меньше или больше 1; отекаемость и окраска тела, гигро- и термопреферендум.

Результаты и их обсуждение. В рамках рассматриваемой проблемы интерес представляет интегральная оценка качества среды, что необходимо для разработки мер по ее сохранению. В качестве одной составляющей комплексной оценки было определение элементного состава почв исследуемых территорий. Результаты спектрометрических исследований проб почв всех реперных точек на содержание радионуклидов представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Показатели удельной активности бета- и гамма- излучающих радионуклидов в почвах исследуемых территорий

Точки сбора	Cs-137		Sr-90		K-40	
	Бк/кг	Стат. погр., %	Бк/кг	Стат. погр., %	Бк/кг	Стат. погр., %
ББЗ	10,8	6,1			299,5	8,0
БелАЭС	17,0	10,3			665,33	3,1
Зона отчуждения	10861,3	1,0	2068,9	8,7	429,3	9,2

Результаты измерений показали, что значения содержания радионуклидов в почвах Березинского заповедника и окрестностях Белорусской АЭС (в радиусе 0,5 км) находятся в пределах нормы. Уровень же загрязнения почвы цезием-137 в зоне отчуждения ЧАЭС чрезвычайно высок, что отражено в таблице: его максимальные значения в отдельных точках (д. Масаны) достигали почти 35 тыс. Бк/кг, равно как и уровень стронция-90 – 6679 Бк/кг. Минимальный уровень загрязнения почвы цезием-137 и стронцием-90 зарегистрированы в населенном пункте Бабчин – 8 тыс. Бк/кг и 121 Бк/кг.

Значения радиационного фона в точках сбора зоны отчуждения в порядке убывания составляли следующий ряд: в Масанах до 3,62 мЗв, Красноселье – 1,45 мЗв, Дроньках – 0,34 мЗв, Бабчине – 0,29 мЗв. На территориях БелАЭС и БГБЗ значения находились в пределах нормы.

Оценка изучаемых территорий по цитологическим показателям. Получены результаты цитотоксичности образцов почв по величинам энергии прорастания (ЭП) и митотического индекса (МИ). ЭП и МИ семян лука репчатого *Allium cepa*, пророщенных на вытяжках почв отобранных реперных точек представлен в таблице 2.

Следует отметить, что между значениями энергии прорастания за два года наблюдений статистически значимых различий по годам не выявлено. Широкий диапазон значений ЭП (0,72–0,95) характерен для семян пророщенных на почвах Бел АЭС в 2021 г.

Проанализирована энергия прорастания (ЭП) семян *Allium cepa*. Так, величина энергии прорастания для контрольной пробы К1 (деионизированная вода) составила 0,82±0,05. Тогда как для контрольной пробы К2 (проточная вода) данный показатель ниже – 0,72±0,04.

В таблице 2 представлены данные ЭП семян Березинского биосферного заповедника. Наиболее высокий показатель величины энергии прорастания ($\geq 0,8$) наблюдался в пробах № 3 и № 5, относящихся к точкам сбора Метеостанция 3 и Метеостанция 5. Наиболее низкий показатель ($< 0,6$) наблюдался в пробе № 9 – 0,56±0,03 (Крайцы 4).

Величина энергии прорастания семян на почвах Полесского государственного радиационного заповедника в сравнительном аспекте с контрольными пробами практически во всех точках сходна с энергией прорастания в водопроводной воде. Это может свидетельствовать об оптимальном соотношении микроэлементов в исследуемых вытяжках, и в тоже время о стимулирующем влиянии повышенного уровня радионуклидов в почвах в зоне ЧАЭС.

Таблица 2 – Показатели ЭП и МИ клеток корневой меристемы, пророщенных на образцах почв трех разнотипных территориальных кластеров

№	Бел АЭС				Зона отчуждения				Березинский заповедник			
	ЭП		МИ		ЭП		МИ		ЭП		МИ	
	2012г	2021г	2012г	2021г	2012г	2021г	2012г	2021г	2012г	2021г	2012г	2021г
1	0,95	0,95	19,3	16,1	0,55	0,8	7,1	9,1	0,85	0,75	6,7	7,7
2	0,9	0,95	15,8	14,9	0,8	0,95	10,2	11,2	0,95	0,8	6,2	7,4
3	0,7	0,8	13,4	13,1	0,75	0,85	7,9	8,5	0,85	0,85	10,5	9,7
4	0,75	0,8	15,8	12,4	0,66	0,85	6,2	7,6	0,9	0,75	8,1	10,4
5	0,8	0,85	13,6	12,7	0,72	0,85	9,4	10,2	0,75	0,85	6,0	8,1
6	0,8	0,72	9,8	10,1	0,52	0,85	8,2	9,5	0,85	0,75	6,8	7,5
7	0,85	0,85	16	14,9	0,65	0,80	7,8	6,1	0,95	0,8	10,5	9,7
8	0,85	0,95	10,1	9,4	0,58	0,85	9	8,2	0,9	0,75	7,8	7,4
9	0,9	0,85	9,1	10,5	0,72	0,80	9,6	6,3	0,75	0,56	8,2	6,8
K1	0,5	0,82	6,1	7,4	0,5	0,80	6,1	7,4	0,5	0,74	6,1	7,4
K2	0,95	0,72	10,9	9,8	0,95	0,95	10,9	9,8	0,95	0,75	10,9	9,8

Таким образом, значения ЭП семян на почвенных вытяжках ПГРЗ по сравнению со значениями ЭП Березинского биосферного заповедника и БелАЭС имеют более ровный характер и более высокие значения. Это может быть связано со стимулирующим действием радионуклидов, приводящим к увеличению ЭП, а ее снижение – с дисбалансом элементного состава почв исследуемых территорий.

В то же время, полученные данные по нарушению митотического деления корневой меристемы модельного объекта – *Allium cepa*, представленные в таблице 2 позволяют судить о роли элементного дисбаланса, вносящего значительный вклад в снижение митотического индекса. Анализ данных по Березинскому заповеднику в 2012 и 2021 гг. показал, что почвы этой территории, имеющие специфический элементный состав (пониженная концентрация необходимых элементов и повышенная кадмия) обладают хоть и слабым, но митотоксическим действием.

Наиболее низкий митотический индекс (8,0 %) характерен для корневой меристемы, пророщенной на почвах зоны отчуждения в 2012 года. Ранее было показано, что на этой территории наблюдалось постепенное снижение митотического индекса, в 2021г. он имел также невысокое значение – 8,5 %.

Почвы окрестностей территории БелАЭС характеризуются незначительным дисбалансом элементного состава, при этом тяжелые металлы находятся в пределах нормы. Энергия прорастания семян на почвенных вытяжках БелАЭС составляет 0,83 и 0,85 в 2012 и 2021 гг. соответственно. Митотический индекс статистически достоверно ($p \leq 0,05$) отличается от такового в клетках корневой меристемы лука, пророщенного на почвах ПГЭРЗ и Березинского заповедника.

Таким образом, почвы зоны отчуждения и Березинского заповедника схожи низким содержанием железа (что в ряду других исследованных территорий свойственно только им). Однако, существенные различия, наблюдаемые на проростках *A. cepa*, определяются разным количеством делящихся клеток (это следует из значений митотического индекса), что объясняется загрязнением почв зоны отчуждения радионуклидами.

Адаптационные стратегии Acrididae как показатель среды. Усиление антропогенной нагрузки, а также разнообразие ее форм приводит к изменению естественных биогеоценозов и соответственно – к изменению флоры и фауны, в частности, прямокрылых (Orthoptera). При этом последние, имея высокую численность, широкое распространение и присущий им полиморфизм, могут служить индикаторами состояния среды.

Поскольку важной частью экологических исследований является поиск видов-индикаторов для оценки состояния среды, нами были определены такие модельные виды в идентичных типах биотопов (влажных и сухих), характерных для трех территориальных кластеров. Одним из них явился конек луговой (*Chorthippus dorsatus*) – представитель семейства Acrididae. В качестве же одного из основополагающих критериев были использованы жизненные формы насекомых [8].

Этот вид в спектре жизненных форм относится к злаковым хортобионтам (ЗХ). Выявлены его адаптации к условиям среды соответственно морфометрическим и фенетическим показателям популяционной структуры, определяемой (обусловленной) его гигропреферентом. Наличие полиморфных признаков, позволяющих коньку луговому приспосабливаться к разнородной среде, как гигрофильной, так и ксерофильной, характеризует его как эврибионтный вид. Адаптационные приспособления (габитус, угол наклона головы, окраска) обусловлены условиями обитания. что показано на рисунке 1.

На рисунке отображены его приспособительные морфометрические признаки: угол наклона головы 45°, позволяет свободно передвигаться в травостое; окраска тела характерна для условий обитания видов: зеленая соответствует влажной среде (пойменным лугам) (а), бурая – для сухих (б).



а)

б)

Рисунок 1 – Конек луговой – *Chorthippus dorsatus* (Zett., 1821)

Выявлена зависимость фенетической структуры (окраски тела) у популяций эвритопного вида – конька лугового (*Chorthippus dorsatus*) при одинаковом генотипе от гигро- и термопреферендума; а также зависимость габитуса (морфо-метрических признаков) от экологических условий.

Таким образом, использованный биоиндикационный метод для выявления интегрированного воздействия факторов среды на живые организмы по показателям состояния видов-биоиндикаторов и полученные нами результаты соответствуют литературным данным, используемым для оценки природной среды по наличию признаков, отличающихся от нормы у фитоиндикаторов; качественному и количественному составу зооиндикаторов [9, 10].

Спектрометрические исследования проб почв Полесского государственного радиационного заповедника, Белорусской АЭС и Березинского биосферного заповедника на содержание радионуклидов с использованием гамма-бета спектрометра МКС АТ 1315 показали, что наблюдаемые изменения обусловлены разной удельной активностью бета- и гамма-излучающих радионуклидов в почвах. Это позволяет судить о цитотоксичности почв техногенно трансформированных территорий и, кроме того, использовать этот модельный вид – *Allium cepa* в качестве биотеста в экологических исследованиях. Тест-системы, которыми служат цитологические нарушения в клетках меристемы *Allium* сера, выращенного на вытяжках почв изучаемых территорий в лабораторном эксперименте, отразили важную роль элементного состава почв как фактора, оказывающего негативное воздействие на живые организмы, что продемонстрировано на фитоиндикаторе – луке репчатом.

Показана роль адаптаций у зооиндикатора – конька лугового (*Chorthippus dorsatus*), отражающих экологические характеристики сообществ и степень благополучия среды.

Таким образом, исследования, начатые с момента закладки площадки под БЕЛ АЭС, стали точкой отсчета для долгосрочного экологического мониторинга после запуска станции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Неверова, О. А. Применение фитоиндикации в оценке загрязнения окружающей среды / О. А. Неверова // Биосфера. – 2009. – Т. 1, № 1. – С. 82–92.
2. Хотько, Н. И. Биомониторинг окружающей среды в районах размещения опасных промышленных объектов. Теория и практика / Н. И. Хотько, А. П. Дмитриев. – Саратов: ГосНИИЭНП, 2015. – 184 с.
3. Копанева, Л.М. Прямокрылые (саранчовые и кузнечиковые) индикаторы уровней сукцессии антропогенного типа / Л.М.Копанева, И.В. Иванова // В кн. Актуальные вопросы зоогеографии. – Кишинев: Штиница, 1975. – С. 118–119.
4. Сергеева, Т.П. Роль саранчовых (Acrididae) как индикаторов антропогенно измененных ландшафтов / Т.П. Сергеева, Е.Г. Смирнова // Материалы науч.-практ. конференции «Радиация, экология, техносфера», 3–4 декабря 2015 г., г. Гомель, Республика Беларусь / ред. кол.: И.А. Чешик (гл. ред.) [и др.]. – Минск: ин-т Радиологии, 2015. – С. 123–126.
5. Leme, M. D. *Allium cepa* test in environmental monitoring: A review on its application / M. D. Leme, M. A. Marin-Morales // Mutation Research. – 2009. – Vol. 682, iss. 1. – P. 71–81.
6. Стороженко, С.Ю. Жизненные формы кузнечиковых и ложнокузнечиковых (Orthoptera: Tettigoniodea, Gryllacridoidea) Дальнего Востока СССР / С.Ю. Стороженко; Науч. докл. высш. шк. Биологические науки. – 1982. – 9. – С. 40–52.
7. Стебаев, И.В. Жизненные формы и половой диморфизм саранчовых Тувы и Юго-восточного Алтая. Зоол. журн. – 1970. – Т. 49(3). – С. 20–25.
8. Приставко, В.П. Жизненные формы насекомых как критерий при отборе видов-индикаторов для экологического мониторинга (на примере жуужелиц – Coleoptera, Carabidae) // Энтомол. обозрение. – 1984. – Т. LXIII, № 1. – С. 52–56

9. Биоиндикация как метод мониторинга в процессе территориального управления / А. М. Луговской [и др.] // Пробл. регион. экологии. – 2013. – № 2. – С. 96–97.

10. *Выходцева, И. С.* Биоиндикация как метод оценки окружающей среды: актуальность и перспективы исследования / И. С. Выходцева, Т. А. Рыхлова // Вестн. ландшафт. архитектуры. – 2015. – № 6. – С. 44–47.

ВОЗДЕЙСТВИЕ ЭКОЛОГИИ ГОРОДА НА ЗАНЯТИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРОЙ И СПОРТОМ

THE IMPACT OF URBAN ECOLOGY ON PHYSICAL ACTIVITY AND SPORT

В. Д. Дузинчук^{1,2}, А. Я. Карчмит^{1,2}, С. В. Аксенчик^{1,2}
B. D. Duzinchuk^{1,2}, A. J. Karchmit^{1,2}, S. V. Aksenchik^{1,2}

¹*Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь*

²*Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь
ft@iseu.by, varyaduz@gmail.com*

¹*Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus*

²*International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*

Воздействие деятельности человека на окружающую среду вызвало изменения гидросферы, литосферы, атмосферы, биосферы и привело к множеству экологических проблем, которые остро стоят перед современным обществом. Вызванные изменения окружающей среды оказали воздействия на все стороны общественной жизни. При этом особое внимания заслуживает взаимосвязь экологии с физической культурой и спортом, которая носит двунаправленный характер. С одной стороны, человек активно воздействует на окружающую среду (строительство и эксплуатация спортивных сооружений, организация и проведение спортивных соревнований и др.). С другой – здоровье человека зависит от состояния окружающей среды, экологической обстановки, в которой тренируется человек [1].

The impact of human activity on the environment has caused changes in the hydrosphere, lithosphere, atmosphere, biosphere, and has led to a multitude of environmental problems that are acute for modern society. The caused changes in the environment have had an impact on all aspects of social life. The interrelation of ecology with physical culture and sports deserves special attention, as it is of a bidirectional nature. On the one hand, man actively affects the environment (construction and operation of sports facilities, organization and conduct of sports competitions, etc.). On the other hand, human health depends on the state of the environment, the ecological situation in which a person trains.

Ключевые слова: факторы окружающей среды, экология, физическая культура, спорт.

Keywords: environmental factors, ecology, physical culture, sports.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-177-180>

Яблоков А.В., Гигичев Ю.П. (2002) отмечают, что доля экологической составляющей в ухудшении состояния здоровья населения и развитии заболеваний, по оценке ВОЗ, составляет 20–30 %, а по данным авторов других обзоров – 40–60 %. Доля экологической составляющей значительно увеличивается при дополнительном воздействии на организм физической нагрузки. Повышенный общий обмен веществ, высокий объем дыхания при занятиях физическими упражнениями приводят к поступлению в организм большего, чем в обычных условиях, количества химических экологически негативных факторов. При этом высокий уровень физической нагрузки при занятиях спортом снижает такие показатели, как иммунная защита, нейтрализующие способности печени, крови. Истощаются резервные возможности нейроэндокринной системы. При тренировках и соревнованиях в естественной природной среде на организм спортсмена действуют не только антропогенные экологически негативные факторы, но и дополнительные природные, в первую очередь, экстремальные физические факторы среды.

В процессе занятий спортом состав вдыхаемого воздуха оказывает существенное влияние на самочувствие и здоровье человека. В городском воздухе, в результате антропогенного воздействия, в значительном количестве содержатся: оксид углерода, диоксид серы, оксид азота, бензоперен, пыль и т.п. Все они вредны для здоровья человека.

Например, диоксид азота NO₂ считается одним из наиболее распространенных и токсичных веществ, выбрасываемых в атмосферу транспортными средствами, тепловыми электростанциями и металлургическими