

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К УСТАНОВЛЕНИЮ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СТАТУСА СРЕДЫ ПРИ МНОГОФАКТОРНОМ ТЕХНОГЕННОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

METHODOLOGICAL APPROACHES TO ESTABLISHING THE ECOLOGICAL STATUS OF THE ENVIRONMENT UNDER MULTI-FACTORY MAN-MADE IMPACT

О. В. Лозинская^{1,2}, Т. П. Сергеева^{1,2}, Е. Т. Тумова³

O. V. Lozinskaya^{1,2}, T. P. Sergeeva^{1,2}, E. T. Titova³

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

²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь aromia@rambler.ru

³Исполнительная дирекция Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований, ИД БРФФИ, г. Минск, Республика Беларусь

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

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

³Executive Directorate The Belorussian Republican Foundation For Fundamental Research, ED BRFFR, Minsk, Republic of Belarus

Экологический статус территорий при современном уровне технического прогресса и мощного антропогенного воздействия является ключевой характеристикой природных экосистем, как наиболее точно отражающий степень влияния. В условиях многофакторного воздействия, приводящего к глубокому преобразованию природных экосистем, вопрос о методах и способах экологической оценки трансформированных территорий приобретает особую значимость. Признанный приоритетным биоиндикационный метод обладает возможностью вычленить влияние одного фактора и по отклонению организма от нормального развития судить о степени опасности отдельного фактора.

The ecological status of territories at the current level of technological progress and strong anthropogenic impact is a key characteristic of natural ecosystems, as it most accurately reflects the degree of impact. In conditions of multifactorial impact leading to a profound transformation of natural ecosystems, the question of methods and ways of ecological assessment of transformed territories is of particular importance. The bioindication method, recognized as priority one, has the ability to define the influence of one factor and assess the degree of danger of a separate factor according to the deviation of an organism from normal development.

Ключевые слова: фитоиндикаторы, тест-системы, Allium cepa, многофакторное воздействие.

Keywords: phytoindicators, test systems, reserved areas, Allium cepa, multifactorial impact.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-99-102>

Работа включает материалы, полученные в рамках выполнения задания Государственной программы научных исследований «Природные ресурсы и окружающая среда» подпрограмма 10.3 «Радиация и биологические системы»

Темпы развития инновационных технологий и промышленности в мировом масштабе, техногенные и природные катастрофы привели к глобальному преобразованию и загрязнению, вплоть до радиационного, большого числа территорий. В конечном счете, это сказалось в нарушении равновесия естественных и трансформированных экосистем, а также повлияло на условия существования живых организмов, включая человека, и экологическую ситуацию в целом.

Во всех странах отдельное внимание в ряду известных техногенных факторов уделяется системе мониторинга радиационной обстановки в зоне действия АЭС, базирующейся на методах физико-химического и биологического контроля. Причем, приоритетным остается биоиндикационный метод [1] благодаря способности многих видов растений и животных чутко реагировать на морфологическом и генетическом уровне на происходящие изменения, в силу чего они признаны надежными биоиндикационными объектами в экологических исследованиях [2]. В отдельных же случаях биологический контроль является ведущим методом оценки среды обитания.

Значимость биологического контроля заключается в том, что он выявляет как совокупное воздействие факторов (естественных и техногенных) на живые организмы по показателям их состояния, так и отдельное, в том числе и воздействие факторов, опасных для организмов.

Антропогенная нагрузка на территории Беларуси в виде широкомасштабной осушительной мелиорации, влияния объектов легкой и тяжелой промышленности, сети автомагистралей, что усугубляется аварией на

Чернобыльской АЭС, в сочетании с аномальными климатическими изменениями ведет к трансформации естественных биогеоценозов и соответственно – к преобразованию флоры и фауны.

Для осуществления программы устойчивого развития необходимы мероприятия по осуществлению экологического мониторинга и сохранению природных ресурсов, в том числе естественных земель, для чего необходимы методы наблюдения и оценки измененных территорий.

Наличие у некоторых представителей растительного и животного мира высокой численности, широкого распространения, полиморфизма у некоторых таксономических групп, а также ответных реакций организма на генетическом уровне позволяет использовать их в качестве биоиндикаторов.

Наряду с интегральной оценкой качества среды интерес представляют сведения об отклонениях растительных и животных организмов-биоиндикаторов от нормального развития, обусловленного одним фактором, по их тест-критериям, в качестве которых могут служить ответные реакции в виде морфометрических изменений и цитогенетических нарушений.

Для оценки состояния среды в условиях действия разнотипных негативных факторов, в частности, солей тяжелых металлов, достаточно надежным и экономически оправданным методом является фитоиндикаторный [2].

Анализ литературы по данной проблеме (как отечественной, так и зарубежной) показал, что использование растений в качестве индикаторов загрязнения окружающей среды вполне оправдано в результате их способности реагировать на всех уровнях на неблагоприятные факторы среды [3].

Следует отметить, что наиболее информативным является цитогенетический анализ, позволяющий не только определить все виды хромосомных и хроматидных нарушений с высокой точностью, но и из всего спектра факторов вычленил один – наиболее опасный, как, например, загрязнение тяжелыми металлами и радионуклидами [4].

Самым приемлемым методом лабораторных исследований по выявлению какого-либо одного фактора влияния окружающей среды для получения достоверных результатов, сопоставимых с другими тест-системами, является *Allium*-тест [5]. Наличие микроядер в клетках корешков *Allium cepa* для оценки мутагенного действия поллютантов является эффективным индикатором прямого воздействия на ДНК, что свидетельствует о результативности этого биотеста. В литературе также отмечено, что частота хромосомных aberrаций объясняет механизм действия тестируемых агентов на ДНК [6].

Материалом являлись образцы почв из всех реперных точек, расположенных в естественной (Березинский биосферный заповедник) и техногенно измененной (Полесский государственный радиационно-экологический заповедник) среде, а также вблизи БелАЭС, корневая меристема фитоиндикатора – лука репчатого (*Allium cepa*), выращенного на водных вытяжках почв исследуемых территорий, различающихся уровнем загрязнения некоторыми химическими элементами (свинец, кадмий, ртуть, медь, цинк и др.) и радионуклидами.

Отбор почвенных проб проводили в июне–августе.

Для определения содержания радионуклидов в образцах почв проведены 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.

Отбор проб и их подготовка для определения удельной активности в образцах осуществлялись согласно ГОСТ 17.4.4.02-84, ГОСТ 28168-89, ТКП 17.13-14-2021 и методикам к приборам для спектрометрического и радиометрического анализа образцов.

Измерения почвенных проб проводились методом регистрации гамма- и бета-излучения сцинтилляционными блоками детектирования на сцинтилляционном гамма-бета спектрометре МКС-АТ1315 согласно методике МВИ. МН 1181-2011.

Измерение удельной активности (УА) радионуклидов в пробах проводилось в плоском сосуде объемом 0,5 литра. Время измерения составляло 10800 секунд. Результатом регистрации гамма- и бета-излучения в исследуемой пробе являлись аппаратные спектры. Расчет активности осуществлялся путем обработки спектров методом максимального правдоподобия.

В результате анализа данных, полученных в лабораторном эксперименте с фитоиндикатором – *Allium cepa* по стандартной методике, установлена степень влияния цитотоксичности почв из разных экологических кластеров на величину энергии прорастания, митотического индекса и патологий митоза корневой меристемы. Семена репчатого лука (сорт Штутгартен Ризен) проращивали в чашках Петри на исследуемых водных вытяжках. Для анализа отбирали проростки с корешками длиной 1,5–2,0 см. В корневой меристеме проростков лука репчатого определяли митотический индекс как процент делящихся от общего количества наблюдаемых клеток. Для окрашивания проростки помещались на сутки в 2–3% раствор ацетокармина. По истечении этого времени у проростков отсекались кончики корешков (1–2 мм), из которых готовились давленные препараты по общепринятой методике. Митотический индекс рассчитывали по формуле:

$$MI = \frac{\sum (P+M+A+T)}{\sum (P+M+A+T+I)} * 100,$$

где в числителе – сумма профаз (P), метафаз (M), анафаз (A) и телофаз (T) (число делящихся клеток), в знаменателе – сумма делящихся и неделящихся клеток (I – число клеток, находящихся в интерфазе).

Статистическую обработку данных исследования проводили с использованием электронных таблиц Microsoft Office Excel.

Результаты сравнительного анализа содержания радионуклидов в почвах трех территориальных кластеров (Березинского заповедника, окрестностей Белорусской АЭС и зоны отчуждения ЧАЭС) представлены в таблице 1 и отражают существенные различия этих территорий.

Таблица 1

Результаты радиометрического анализа проб образцов окружающей среды (июль-август 2022 г.)

№	Место отбора проб	УА Cs-137, Бк/кг	УА K-40, Бк/кг
1	ББЗ	13,8 ± 4,88	518 ± 105
2	Бел АЭС	14,4 ± 3,67	563 ± 153
3	Зона отчуждения (ПГРЭЗ)	5522,3 ± 1,56	491,65 ± 3,85

Как видно из таблицы, удельная активность радионуклидов в исследуемых пробах Березинского заповедника и окрестностей БелАЭС соответствует фоновым уровням.

Полученные в лабораторном эксперименте цитогенетические показатели фитоиндикатора – лука репчатого: митотический индекс (МИ) и частота хромосомных aberrаций (ЧА) явились индикаторами степени загрязнения почв радионуклидами.

Митотический индекс. Рисунок 1 иллюстрирует пролиферативную активность корневой меристемы. Показано, что для корневой меристемы, пророщенной на почвах Березинского заповедника и зоны отчуждения, наблюдается слабая пролиферативная активность клеток корневой меристемы в результате элементного дисбаланса, выражающегося в превышении ПДК тяжелых металлов и радионуклидов (территория зоны отчуждения) и снижении содержания некоторых эссенциальных микроэлементов (Березинский заповедник).

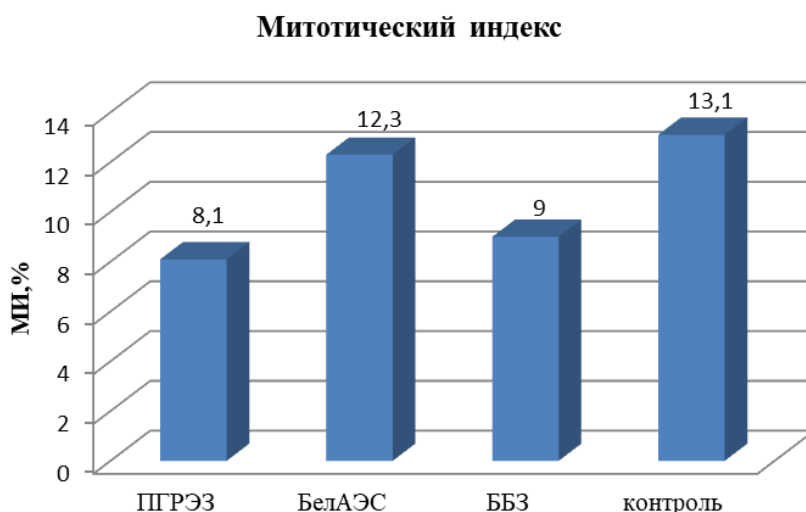


Рисунок 1 – Величина митотического индекса для клеток меристемы *Allium сера*

Как видно из рисунка высокий митотический индекс зафиксирован для корневой меристемы, выращенной на почвенных вытяжках Бел АЭС. Здесь значение МИ приближено к контролю (водопроводная вода), что свидетельствует об экологическом благополучии среды, а не значительное снижение митотического индекса в ББЗ объяснимо типом почв (песчаные), определяющими дисбаланс химических элементов.

Цитогенетические показатели *Allium сера*.

Березинский биосферный заповедник. Данные, полученные в лабораторном эксперименте по выявлению цитогенетических aberrаций в клетках корневой меристемы лука, выращенного на вытяжках образцов почв Березинского заповедника, показали невысокую частоту встречаемости патологий митоза (о чем можно судить по незначительному количеству aberrантных клеток от 1 до 6). Анализ выявленных нарушений в клетках *Allium сера* показал, что в течение всего периода исследования были обнаружены некоторые хромосомные aberrации.

Белорусская АЭС. Как показали исследования, почвенные пробы на территории Бел АЭС практически не обладают мутагенной активностью, что подтверждается небольшим числом aberrаций в клетках лука.

Зона отчуждения. Анализ наблюдаемых нарушений митоза в зоне отчуждения позволил установить, что с усилением антропогенной нагрузки наблюдалась тенденция изменения разнообразия и числа хромосомных aberrаций в сторону их увеличения.

На рисунке 2 отражена тенденция изменения хромосомных aberrаций с усилением антропогенной нагрузки: увеличение их числа и разнообразия.



Рисунок 2 – Количество aberrаций в клетках корневой меристемы лука репчатого при прорастании на вытяжках почв территорий с различной антропогенной нагрузкой

Как следует из рисунка, наибольшее число aberrаций отмечено в клетках корневой меристемы лука из растений, проросших на почвенных образцах территории зоны отчуждения. Показано, что для почв территорий с радиационным загрязнением характерно повышение таких нарушений как опережение хромосом, что в дальнейшем приводит к образованию микроядер, свидетельствующих о неблагоприятных нарушениях на клеточном уровне организма.

Спектр патологических митозов при учете aberrаций на стадии ана-телофазы в клетках лука представлен основными типами цитогенетических нарушений – отставания и опережения хромосом, хромосомные и хроматидные мосты, одиночные и парные фрагменты; также встречались смешанные аномалии (характерны для почв территории зоны отчуждения).

Использование *Allium*-теста позволило проследить влияние на организм одного из множества факторов – загрязнения радиоактивными элементами, а также установить зависимость протекания стадий митоза и выявленных патологий (повышение количества хромосомных aberrаций) от влияния химических элементов и радионуклидов, присутствующих в почвах одного из трех территориальных кластеров.

ЛИТЕРАТУРА

1. 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.
2. Неверова, О. А. Применение фитоиндикации в оценке загрязнения окружающей среды / О. А. Неверова // Биосфера. – 2009. – Т. 1, № 1. – С. 82–92.
3. Бухарина, И. Л. Эколого-биологические особенности древесных растений в урбанизированной среде / И. Л. Бухарина, Т. М. Поварничина, К. Е. Ведерников ; М-во сел. хоз-ва Рос. Федерации, Ижев. гос. с.-х. акад. – Ижевск : Ижев. ГСХА, 2007. – 216 с.
4. Вострикова, Т. В. Цитозоологическое изучение березы повислой (*Betula pendula* Roth.) в условиях техногенной нагрузки / Т. В. Вострикова // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер.: Химия. Биология. Фармация. – 2009. – № 2. – С. 92–98.
5. Применение *Allium* сера эффектов при генетическом мониторинге техногенных территорий / Э. А. Агаджанян [и др.] // Проблемы и мониторинг природных экосистем : Междунар. науч.-практ. конф., Пенза, 17–18 окт. 2014 г. : сб. ст. / Пенз. гос. с.-х. акад. – Пенза, 2014. – С. 11–14.
6. Action mechanisms of petroleum hydrocarbons present in waters impacted by an oil spill on the genetic material of *Allium* cepa root cells / D. M. Leme [et al.] // Aquatic Toxicology. – 2008. – Vol. 88. – P. 214–218.