

3D-печати для создания запрограммированной микроструктуры материала. В диапазоне частот от 150 до 2000 герц коэффициент звукопоглощения у ауксетичного пенополиуретана в 3 раза выше в сравнении с обычным полиуретаном, поэтому нами предлагается использовать такие материалы в качестве звукопоглощающего и демпфирующего материала во внутренней оболочке таких строений как ЭкоДома и ЭЖД, что позволяет снизить толщину защитного покрытия и, соответственно, массу и стоимость строительства орбитального сооружения, которая прямо пропорциональна стоимости доставки строительных материалов в ближний космос.

То же касается и вибростойкости. При использовании ауксетичного пенополиуретана в качестве демпфера в диапазоне частот от 60 до 100 герц по коэффициенту пропускания вибрации у ауксетичного пенополиуретана наблюдается двукратное преимущество по сравнению с обычным пенополиуретаном, что позволит снизить толщину виброзащитных конструкций при блокировании жилых и производственных помещений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Юницкий, А.Э. Струнные транспортные системы: на Земле и в Космосе: науч. издание / А.Э. Юницкий. – Силакрос: ПНБ принт, 2019. – 576 с.: ил.
2. Материалы с отрицательным коэффициентом Пуассона (обзор) / Д.А. Конёк [и др.] // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2004. – Т. 10, № 1. – С. 35–69.
3. Юницкий А. Э. и др. Перспективы применения ауксетичных материалов в конструкциях ЭкоКосмоДома // Сборник материалов V международной научно-технической конференции «Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты». – ООО «Астроинженерные технологии», 2022. – №. 1. – С. 47–51.
4. Bianchi M., Scarpa F. Vibration transmissibility and damping behaviour for auxetic and conventional foams under linear and nonlinear regimes // Smart materials and structures. – 2013. – Т. 22. – №. 8. – С. 084010.
5. Chekkal I. et al. Vibro-acoustic properties of auxetic open cell foam: model and experimental results // Acta Acustica united with Acustica. – 2010. – Т. 96. – №. 2. – С. 266–274.

ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФИТОИНДИКАТОРА ALLIUM CEPA КАК ТЕСТ-КРИТЕРИИ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ПОЧВ РАДИОНУКЛИДАМИ CYTOGENETIC CHARACTERISTICS OF THE PHYTOINDICATOR ALUM CEPA AS A TEST CRITERIA FOR SOIL CONTAMINATION WITH RADIONUCLIDES

О. В. Лозинская¹, Т. П. Сергеева¹, З.Я. Князева¹, Е. Т. Титова²
O. V. Lozinskaya¹, T. P. Sergeeva¹, Z.Ya. Knyazeva, E. T. Titova²

¹Учреждение 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

²Исполнительная дирекция Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований, ИД БРФФИ, г. Минск, Республика Беларусь

¹International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

²Executive Directorate The Belorussian Republican Foundation For Fundamental Research, ED BRFFR, Minsk, Republic of Belarus

Обсуждается процесс протекания стадий митоза в клетках корневой меристемы у фитоиндикатора – лука репчатого, а также наличие патологий коррелирующих с присутствием химических элементов и радионуклидов в почвах экологически неравноценных кластеров. Отмечается увеличение хромосомных aberrаций в клетках корневой меристемы, пророщенной на водных вытяжках почв территорий, загрязненных радионуклидами.

The process of the stages of mitosis in the cells of the root meristem of the phytoindicator onion is discussed, as well as the presence of pathologies correlating with the presence of chemical elements and radionuclides in the soils of ecologically unequal clusters. There is an increase in chromosomal aberrations in the cells of the root meristem germinated in water extracts from soils in areas contaminated with radionuclides.

Ключевые слова: фитоиндикаторы, почвы, тяжелые металлы, радионуклиды, Allium cepa, хромосомные aberrации.

Keywords: phytoindicators, soils, heavy metal, radionuclides, Allium cepa, chromosomal aberrations,

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2024-2-83-86>

Введение. Способность многих видов растений и животных реагировать на изменение условий обитания, отражающееся на морфологических и генетических показателях организмов, определила их пригодность для оценки состояния среды в экологических исследованиях [1].

Поскольку некоторым представителям растительного и животного мира присуще широкое распространение, а отдельным из них – свойственен полиморфизм, обуславливающий ответные реакции организмов на воздействие разнообразных факторов среды, позволяет использовать их в качестве биоиндикаторов.

Наиболее приемлемым методом лабораторных исследований по выявлению одного из множества факторов окружающей среды, позволяющим получать достоверные и сопоставимые с другими тест-системами результаты, является *Allium*-тест [2, 3]. В литературе отмечено, что результативность этого биотеста для оценки мутагенного влияния поллютантов подтверждается присутствием в клетках корешков тестируемого *Allium cepa* микроядер – эффективных индикаторов прямого воздействия на ДНК [4]. Другими авторами указано, что для лучшего понимания механизма действия тестируемых агентов на ДНК служит частота хромосомных aberrаций [5, 6].

Целью работы являлось установление характера изменения биоиндикационных показателей у фитоиндикаторов и в зависимости от элементного состава почв, в частности, тяжелых металлов и радионуклидов.

Материал и методы. Полевые исследования в период с 2021 по 2023 гг., проводились в 3-х экологически разнотипных кластерах, расположенных в условиях действия разнородных антропогенных факторов или в естественной ненарушенной среде.

В качестве точки отсчета, которой является Березинский биосферный заповедник, материал собирали вблизи дд. Домжерицы, Крайцы, Кветча, а также в районе метеостанции и зоопарка.

В окрестностях Бел АЭС исследовались реперные точки – дд. Валейкуны и Гоца, а также в северо-западном направлении – окрестности д. Шульники (Гродненская область).

В «чернобыльской зоне», входящей в состав *Полесского государственного радиационно-экологического заповедника* (ПГРЭЗ), состоящей из двух частей – **зоны отселения**, где ведется ограниченная деятельность человека: как правило, это посадка леса с целью предотвращения переноса радионуклидов с пылью; а ближе к ЧАЭС – **зоны отчуждения**, где отсутствует всякая деятельность человека из-за высокого уровня радиации. На этой территории почвенные пробы отбирались в окрестностях дд. Бабчин, Масаны, Дроньки, Оревичи, Краснополье, Крюки.

Материалом являлись образцы почв из всех реперных точек, корневая меристема фитоиндикатора – лука репчатого, выращенного на водных вытяжках почв исследуемых территорий, расположенных в естественной и антропогенно измененной среде. Отбор почвенных проб проводился в июне–августе месяца.

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

Химический анализ содержания тяжелых металлов проводили методом атомной абсорбционной спектроскопии на атомно-абсорбционном спектрофотометре NovAA-400.

Цитотоксичность почв оценивали по их способности влиять на величину энергии прорастания, митотического индекса и патологий митоза корневой меристемы.

Семена в количестве пятидесяти штук для каждого варианта закладывали в чашки Петри и заливали вытяжкой почв исследуемых территорий. Общую токсичность почв оценивали по их способности влиять на митотическое деление и появление хромосомных aberrаций. Контролем служили семена, проросшие на водопроводной воде (контроль 1).

Семена проращивали от 3 до 5 дней. Для проведения анализа на стадии анафазы, когда наблюдаются первые митозы в меристеме, фиксируются корешки длиной около 1 см. Затем помещали в фиксаторе Кларка: смесь 96 % этилового спирта и ледяной уксусной кислоты в соотношении 3:1. Окрашивание производилось в течение 8–15 минут раствором ацетокармина при температуре 40–50°C.

При дальнейшем проращивании aberrации хромосом в последующих митозах можно наблюдать в виде микроядер на стадии интерфазы. Анализ препаратов проводился на 2000 интерфазных и митотических клетках с использованием анализатора изображений, включающего оптический микроскоп Nikon Eclipse 50i видеокамеру Nikon DS-Fi1 и компьютер с программным обеспечением.

Статистическая обработка данных проводилась с использованием электронных таблиц Microsoft Office Excel.

Результаты и их обсуждение. Для некоторых реперных точек в Березинском биосферном заповеднике (БГБЗ) выявлено отклонение от нормального содержания по двум или трём элементам. Так, отмечено сниженное содержание цинка – 5,9 мкг/г при норме 50 мкг/г в окрестностях пос. Крайцы и железа (во всех точках, кроме окрестностей д. Домжерицы (7654,2 мкг/г)).

Почвы в районе проведения исследований вблизи БелАЭС также характеризуются незначительным элементным дисбалансом. В отдельных точках наблюдается снижение содержания цинка, тогда как в других (территории, непосредственно прилегающих к станции) – повышенное (по сравнению с территорией БГБЗ) содержание свинца (11,7 мкг/г), но в целом находящееся в пределах нормы (ПДК – 32 мкг/г).

Территория зоны отчуждения характеризуется более серьезными изменениями элементного состава почв. Так, в большинстве точек наблюдается повышенное содержание кадмия (1,4–9,3 мкг/г), ртути (2,3 мкг/г) и свинца (23,3 мкг/г), а содержание эссенциальных элементов – цинка (20,8 мкг/г) и железа (2435,5 мкг/г) – понижено.

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

№ Место отбора проб	УА Cs-137, Бк/кг		
	2021	2022	2023
ББЗ	10,8 ± 6,1	13,8 ± 4,9	13,1 ± 4,8
Бел АЭС	152,8 ± 92,3	14,4 ± 3,7	41,7 ± 19,8
Зона отчуждения (ПГРЭЗ)	10861,3 ± 1,0	5522,3 ± 1,6	7991,0 ± 1,3

Как видно из таблицы, удельная активность радионуклидов почв Березинского заповедника и окрестностей БелАЭС соответствует фоновым уровням в течение всего периода исследований, а в зоне отчуждения значительно превышают этот уровень.

Полученные в лабораторном эксперименте цитогенетические показатели фитоиндикатора – лука репчатого: митотический индекс (МИ) и частота хромосомных aberrаций (ЧА) явились индикаторами степени загрязнения почв как радионуклидами, так и имеющим место быть элементарным дисбалансом. На гистограмме (рис. 1) представлены результаты за трехлетний период исследований. Как видно, значения митотического индекса в клетках корневой меристемы (для ЧАЭС и ББЗ) статистически достоверно ($p \leq 0,05$) отличаются от контроля, в то время как для Бел АЭС этой зависимости не выявлено. Низкие значения митотического индекса для клеток корневой меристемы БГБЗ объяснимы дисбалансом элементарного состава. Так, показатели по цинку ниже фоновых (0,13 мг/кг) значений характерны для этих территорий.



Рисунок 1 – Митотический индекс в клетках корневой меристемы *Allium cepa*, пророщенных на почвах территорий с различной антропогенной нагрузкой

Выше отмечалось сниженное содержание железа в почвах БГБЗ. Иная ситуация характерна для территории зоны отчуждения (ЧАЭС). Здесь также наблюдалось пониженное значение митотического индекса, находящегося в диапазоне 8,6–9,7, но связанное уже со значительной удельной активностью радионуклидов почв. Такие показатели связаны с приостановкой деления клеток для репарации генетического материала.

Результаты выявленных патологий митоза в клетках корневой меристемы *A. cepa* при проращивании его семян на почвенных вытяжках 4-х реперных точек Березинского биосферного заповедника, показывают лишь незначительные нарушения деления клеток, что свидетельствуют о благоприятных условиях среды. Вклад же в разнообразие аномалий митоза, вносят опережение и отставание хромосом, а также одиночные фрагменты, наличие микроядер в клетках и формирование мостов. Следует отметить, что наименьшие отклонения от нормы характерны для реперной точки «Крайцы», находящейся в 15 километрах от центральной усадьбы и на стыке с абсолютно-заповедной зоной.

Выявлены значительные хромосомные и митотические нарушения в меристематических клетках корешков лука, пророщенных на водных вытяжках почв Зоны отчуждения, а для территории Березинского заповедника характерно наличие лишь незначительных нарушений. На рисунке 2 представлены фотографии aberrаций, наблюдаемых в клетках *Allium cepa*, пророщенных на различающихся водных вытяжках почв данных территорий.

Следует отметить, что в процессе выполнения работы впервые наблюдался сочетанный эффект образования полинуклеарных клеток и увеличения их размеров (рисунок 2б). Полинуклеарность была выявлена во всех исследуемых вариантах территории зоны отчуждения. Наиболее часто встречается в клетках корневой меристемы, пророщенных на водных вытяжках почв территорий Дроньки и Бабчин.

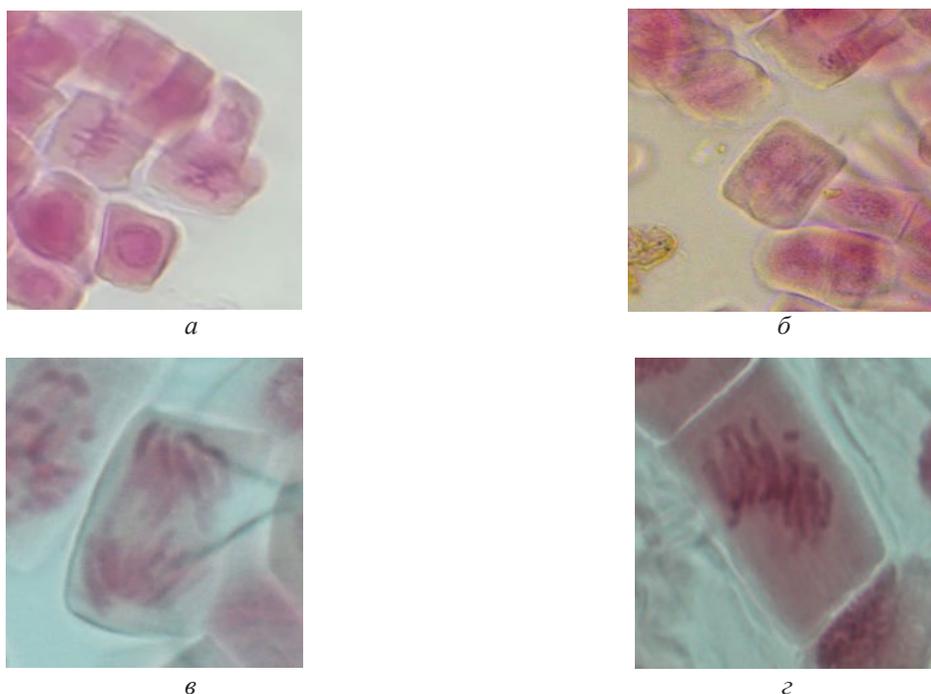


Рисунок 2 – Выявленные aberrации в корневой меристеме *A.сера*. Окраска ацеткармином. Ув. ×400.
а) опережение, б) полинуклеарность, в) двойной мост, з) фрагмент

Установлена **зависимость** протекания стадий митоза у фиитоиндикатора – лука репчатого и выявленных патологий от степени присутствия химических элементов и радионуклидов в почвах экологически неравноценных кластеров.

В работе представлены данные, полученные в рамках выполнения задания Государственной программы научных исследований «Природные ресурсы и окружающая среда» подпрограмма 10.3 «Радиация и биологические системы»

ЛИТЕРАТУРА

1. Неверова, О. А. Применение фиитоиндикации в оценке загрязнения окружающей среды / О. А. Неверова // Биосфера. – 2009. – Т. 1, № 1. – С. 82–92.
2. 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.
3. Levan, A. The effect of colchicine on root mitoses in allium [Electronic resource] / A. Levan // Hereditas. – 1938. – Vol. 24, iss. 4. – 471–486. – Mode of access: <https://doi.org/10.1111/j.1601-5223.1938.tb03221.x> – Date of access: 15.11.2021.
4. Genotoxicity and mutagenicity of water contaminated with tannery effluents, as evaluated by the micronucleus test and come to assay using the fish *Oreochromis niloticus* and chromosome aberrations in onion root-tips / S. T. Matsumoto [et al.] // Genetics Molecular Biol. – 2006. – Vol. 29, № 1. – P. 148–158.
5. Chromosome aberration and micronucleus frequencies in *Allium cepa* cells exposed to petroleum polluted water – a case study / D. M. Leme [et al.] // Mutation Research. – 2008. – Vol. 650, № 1. – P. 80–86.
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.