

не увеличивается при повышении количества аланита с 0,3–0,5 до 0,8–1,0 т/га. Это может указывать на то, что эффективность применения аланита для очистки от тяжёлых металлов достигает максимума в первый год. Поэтому для более эффективной очистки почв от тяжёлых металлов в последующих исследованиях могут быть рассмотрены альтернативные материалы, обладающие сорбционными свойствами, например бурый уголь, торф.

На второй год рекультивации использование амаранта позволяет достичь более высокой степени очистки почвы (в среднем в 2–3 раза) по сравнению с классическим использованием многолетних трав, где преобладают бобовые растения. Таким образом, результаты исследования указывают на потенциал амаранта в качестве растения для рекультивации загрязнённых почв. Он способен эффективно снижать содержание нефтепродуктов и тяжёлых металлов в почве за двухлетний период. В дополнение, амарант превосходит многолетние травы с бобовыми растениями по степени очистки почвы.

Из представленной информации можно сделать следующие выводы:

A. hypochondriacus L. обладает высокими пищевыми и хозяйственными качествами. Амарантовая мука содержит в 1,2–1,4 раза больше белка, в 3 раза больше жиров, в 4 раза больше минеральных веществ, чем пшеничная и превосходит по этим показателям многие другие крупяные культуры. В составе амаранта присутствуют такие ценные нутриенты как сквален, пектины, в большом количестве аминокислота лизин и отсутствует глютен.

Амарант имеет большие перспективы как в качестве пищевого сырья, так и в качестве зелёного корма (в 2 и более раз превышает овёс и другие зелёные корма по выходу зелёной массы с га) и сидерата для ускоренного в 1,5–2 раза восстановления почв при совместном применении с аланитом и/или другими минералами. Кроме того, амарант, благодаря большому количеству семян в одном растении, не имеет себе равных по возможному приросту биомассы в виде микрозелени, используемой круглогодично для корма скота, – площадь кормовых сельхозугодий при этом может быть уменьшена примерно в 500 раз – до 20 м² на одну корову.

Массовая культивация амаранта может быть вызовом из-за некоторых трудностей, связанных с эффективной механизацией и автоматизацией сбора мелких семян амаранта, обладающих максимальной пищевой ценностью. Из-за отсутствия высокой популярности амаранта, работы в данном направлении ведутся не так активно, как отработка сбора более распространённых сельскохозяйственных культур.

Таким образом, совершенствование агротехнологии и селекция новых сортов амаранта являются перспективным сельскохозяйственным направлением, которое позволит производить высококачественную, полезную пищу, богатую нутриентами, зелёные корма и восстанавливать истощённые почвы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Joshi, D.C. From zero to hero: the past, present and future of grain amaranth breeding / D.C. Joshi [et al.] // Theor. Appl. Genet. – 2018. – Vol. 131, n. 9. – P. 1807–1823.
2. Асташов, А. Н. Эффективность выращивания амаранта для производства кормов в условиях Нижнего Поволжья / А. Н. Асташов, Т. В. Родина, А. З. Багдалова // Таврический вестник аграрной науки. – 2017. – № 2. – С. 39–44.
3. Звягин, А. А. Потенциальные возможности амарантовой муки как безглютенового продукта / А. А. Звягин [и др.] // Вопросы детской диетологии. – 2015. – Т. 13. – № 2. – С. 46–51.
4. Урубков, С. А. Сравнительный анализ гликемического индекса амаранта и других продуктов без глютена / С. А. Урубков, С. С. Хованская, С. О. Смирнов // Техника и технология пищевых производств. – 2019. – Т. 49. – № 4. – С. 629–634.
5. Бекузарова, С. А. Сорбционные свойства амаранта на токсических почвах / С. А. Бекузарова, М. В. Дзампаева // Материалы международной научно-практической конференции 100-летие кафедры растениеводства, кормопроизводства и агротехнологий: итоги и перспективы инновационного развития. – 2019. – С. 112–119.

АУКСЕТИКИ: ИННОВАЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ВИБРОЗАЩИТЫ И ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ В ЭКОДОМАХ AUXETICS: INNOVATIVE MATERIALS FOR VIBRATION PROTECTION AND SOUND PROOFING IN ECOCOSMOHOUSE

**А. Э. Юницкий, Д. А. Конёк, А. М. Павлюченко, Н. С. Зыль
A. E. Unitsky, D. A. Konyok, A. M. Pavljuchenko, N. S. Zyl**

ЗАО «Струнные технологии», г. Минск, Беларусь
d.konek@unitsky.com
Unitsky String Technologies Inc., Minsk, Republic of Belarus

Рассмотрены инновационные ауксетичные материалы (ауксетики), расширяющиеся/сужающиеся в направлении, перпендикулярном направлению растяжения/сжатия соответственно. Указанные особенности

деформационного поведения выражаются в отрицательном коэффициенте Пуассона. Приводится анализ применимости ауксетичных пороматериалов в конструкциях ЭкоДомов, ЭкоКосмоДома (ЭКД) для виброзащиты и звукоизоляции.

Innovative materials called auxetics which can expand/contract in a direction perpendicular to axial stretching/compression are considered. The mentioned deformation behavior properties reach the negative Poisson ratio. The analysis of the applicability of auxetics in EcoHouse, EcoCosmoHouse (ECH) structures for vibration protection and sound proofing is given.

Ключевые слова: ауксетики, отрицательный коэффициент Пуассона, ЭкоКосмоДом, вибрации, звукопоглощение.

Keywords: auxetics, negative Poisson ratio, EcoCosmoHouse, vibration, sound absorption.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2024-2-79-83>

Проблемы сохранения и рационального использования природных ресурсов в настоящее время имеют высокую актуальность. Существует необходимость разработки и реализации концептуально новых эффективных мероприятий по сохранению мирового биоразнообразия, обеспечения людей комфортными условиями для жизни, работы и отдыха.

Разработка и строительство биосферных ЭкоДомов, в которых будут созданы оптимальные условия для проживания людей, в том числе с минимальным уровнем вибрационного и звукового загрязнения, позволит сделать шаг к реализации концепции ЭкоКосмоДома (ЭКД) на орбите Земли [1]. В ЭкоДомах будут созданы условия для выращивания ценных плодовых субтропических культур, предусмотрена переработка отходов. При этом культивирование растений является одной из важнейших основ поддержания баланса окружающей среды и экономического развития общества. Растениеводство субтропических широт предоставляет множество полезных и незаменимых продуктов: бананы, ананасы, ваниль, чёрный перец, каучук, кофе, какао и др. Большое количество лекарственного, пряно-ароматического сырья транспортируется из тропических стран. Одна из задач Глобальной стратегии сохранения биоразнообразия растений – спасение и сохранение социально-экономически ценных для человечества видов растений: плодовых, текстильных, пряно-ароматических, лекарственных, иных. Концепция ЭкоКосмоДома в том числе предполагает создание биосферной среды, по условиям близкой к тропическому и субтропическому поясу. Это позволит круглый год получать продукцию и выращивать различные виды растений данной зоны, а также обеспечит комфортные условия для жителей ЭКД. Создавая разнообразие растительного мира внутри ЭКД, реализуются не только оптимальные условия для развития замкнутой экосистемы, но и база для решения ряда экологических проблем, формируется коллекция (фонд) живых организмов. В последующем помимо проживания людей она может использоваться для реинтродукции редких и исчезающих видов в антропогенно изменённые биотопы. Для обеспечения эффективного функционирования ЭкоДомов и ЭКД востребованы конструктивные элементы, выполненные из инновационных материалов с особыми прочностными свойствами и имеющие целесообразные адаптивные реакции на эксплуатационные воздействия (силовые, температурные, акустические и др.).

Таковыми являются материалы, обладающие отрицательным коэффициентом Пуассона ν , т. е. способных расширяться/сужаться в направлении, перпендикулярном направлению растяжения/сжатия соответственно (рис. 1).

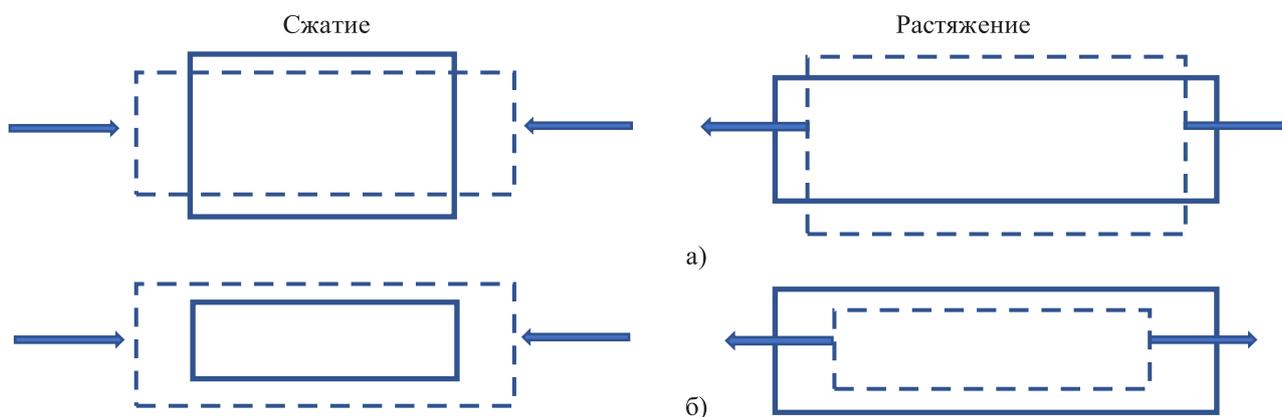


Рисунок 1 – Деформационное поведение: а – обычный материал; б – ауксетичный материал

Возможность существования таких материалов, несмотря на кажущееся противоречие здравому смыслу, подтверждается известным соотношением теории упругости изотропных тел:

$$\nu = (3K - 2\mu)/(6K + 2\mu) \quad (1)$$

где K, μ – модули объёмной деформации и сдвига, имеющие положительные значения.

Из уравнения (1) следует, что отрицательные значения ν возможны при условии $\mu > 3/2K$, когда модуль сдвига превышает модуль объёмной деформации более чем на 50 %. Значит, коэффициент Пуассона изотропного тела может находиться в диапазоне $-1 \dots 0,5$. Верхний предел соответствует несжимаемым материалам (например, резине), сохраняющим в процессе деформации свой объём при значительном изменении формы. Нижний предел соответствует материалам с относительно высокой сдвиговой жёсткостью, образец которых при деформировании сохраняет геометрические пропорции, но изменяет объём. Такие материалы, имеющие $\nu < 0$, называют ауксетичными, или ауксетиками (от греч. *auxetos* – разбухающий).

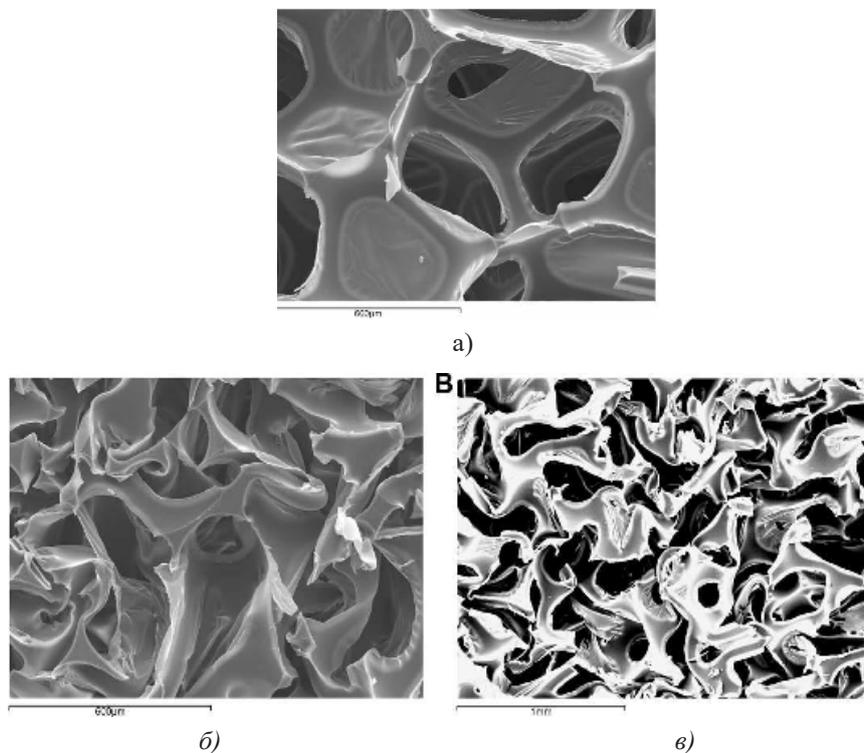


Рисунок 2 – Микрофотографии: а – обычный, б, в – ауксетичный пороматериал

Ауксетика активно исследуются на протяжении последних 20 лет. Такие материалы встречаются в природе, к примеру около 40 % кристаллов кубической сингонии, некоторые породы древесины, трубчатые кости человека и даже эритроциты обладают такими свойствами.

В настоящее время хорошо изучены синтетические пористые материалы с отрицательными коэффициентом Пуассона, например пенополиуретан, вспененные полиэтилен и полипропилен. Такое необычное деформационное поведение обусловлено особенностями их микроструктуры (рисунок 2). Структурные уровни и общность механизмов реализации данного эффекта, а также примеры таких природных и искусственных материалов и конструкций, достаточно подробно описаны авторами в [2, 3]. Практический интерес к ауксетикам обусловлен возможностью создания изделий, отличающихся особыми характеристиками.

Целью данной работы является анализ преимуществ ауксетичных материалов при использовании в конструкциях ЭКД, размещённого в космическом пространстве на экваториальной земной орбите.

Исследования динамического поведения ауксетика на основе пенополиуретана (ППУ) показали увеличение коэффициента потерь и, значит, преимущество материала в поглощении энергии. На рисунке 3 сопоставлены коэффициенты пропускания вибрации T (амплитуда $1,5 \times 10^{-4}$ м) пластин размером $10 \times 380 \times 120$ мм из ауксетичного и обычного ППУ. При этом необходимо учитывать два важных момента.

Первый связан с более высокой резонансной частотой пластины, выполненной из ауксетичного ППУ (83 Гц), по сравнению с исходным ППУ (69 Гц). Второй, более важный, связан с сильным снижением пиковой передачи вибрации. На частотах ниже 10 Гц у обоих материалов наблюдалось преобладание фактора жёсткости и коэффициент пропускания вибрации был равен 1. В диапазоне частот 49–150 Гц величина T для обычного ППУ из-за большой деформации, вызванной резонансом, начинается со значения 2. Ауксетичный ППУ, напротив, по-прежнему демонстрирует поведение с преобладанием жёсткости, даже относительно близкое к резонансу. При увеличении частоты вибрации до 110–150 Гц значения T у обычного и ауксетичного ППУ практически не отличаются.

Акустические свойства материала определяются отношением скоростей распространения продольных v_l и поперечных v_t волн, зависящим от коэффициента Пуассона:

$$v_l/v_t = \sqrt{(1 - 2\nu)/2(1 - \nu)} \quad (2)$$

Если для обычных изотропных материалов отношение v_l/v_t не превышает $1/\sqrt{2}$, то у ауксетиков достигает $\sqrt{3}/2$. Этим объясняется тот факт, что в ауксетичных пороматериалах коэффициент звукопоглощения и модуль

потерь значительно выше по сравнению с обычными пенопластами при одинаковых значениях пористости и плотности. Так, для ауксетичного сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ) коэффициент поглощения ультразвука достигал 47 дБ/см, что в 1,5 раза выше, чем для обычного вспененного полиэтилена.

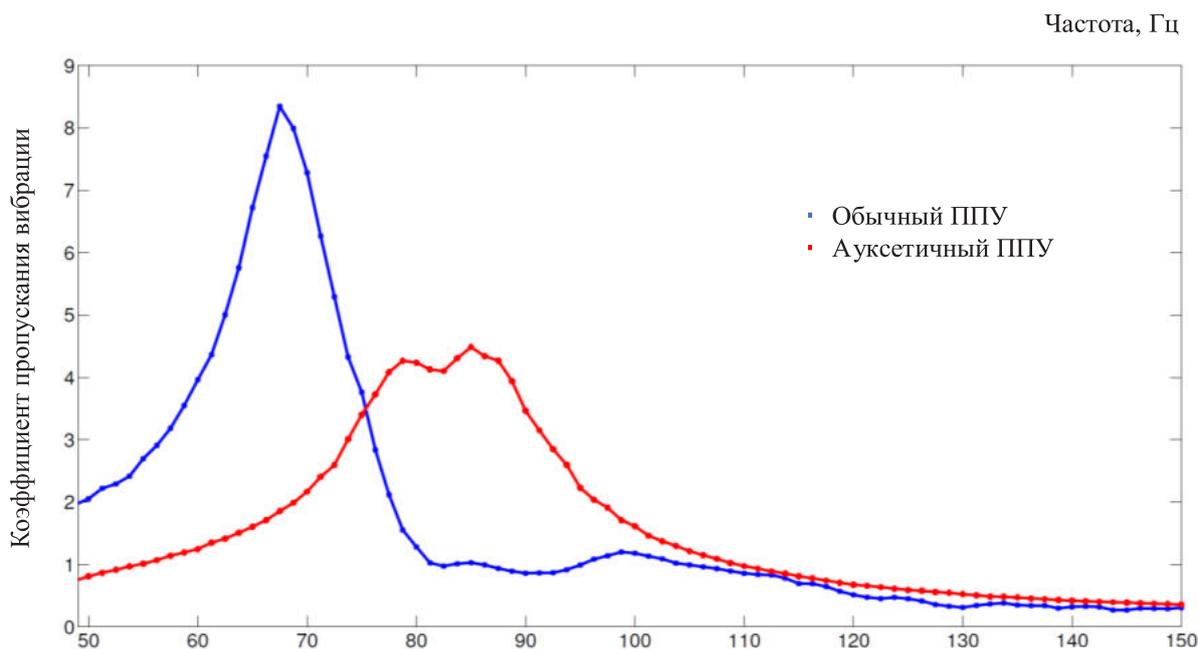


Рисунок 3 – Коэффициенты пропускания вибрации (T) обычного и ауксетичного ППУ при малых амплитудах возбуждения [4]

На рисунке 4 продемонстрированы экспериментальные и расчётные результаты для звукопоглощения образцов ауксетичного (сплошная линия) и обычного (пунктир) ППУ толщиной 26 мм. Серая область представляет дисперсию между результатами измерений для двух сторон образцов.

Низкий уровень дисперсии свидетельствует об однородности ауксетичного пороматериала в объёме. Из сравнения показателей поглощения обычных и ауксетичных ППУ можно увидеть, что при формировании пористой структуры с вогнутой формой ячеек значительно изменяются акустические свойства материала. Ауксетичный пороматериал имеет более высокие поглощающие свойства в низкочастотном диапазоне до 1500 Гц. Его коэффициент звукопоглощения достигает 0,6 при 500 Гц. При более высоких частотах коэффициент звукопоглощения $K_{зв}$ ауксетика выходит на плато, не превышая 0,7, по сравнению с максимальным (почти 100 %) поглощением обычного пенополиуретана при частоте около 2500 Гц, причём уровень поглощения ауксетичного ППУ в образцах толщиной 26, 35 и 39 мм остаётся почти постоянным в диапазоне частот 1000–4500 Гц.

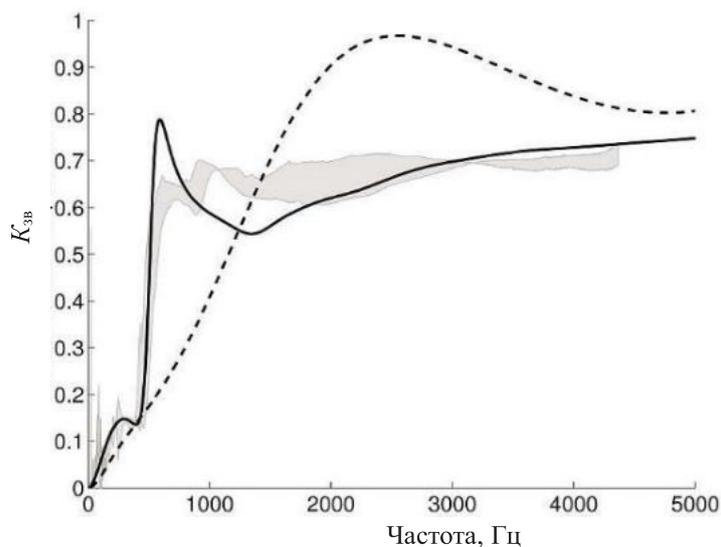


Рисунок 4 – Коэффициенты звукопоглощения ($K_{зв}$) образцов обычного и ауксетичного ППУ толщиной 26 мм [5]

Таким образом, существует большая потребность в дальнейших исследованиях по совершенствованию технологии производства для изготовления крупномасштабных ауксетичных структур, в том числе и с применением

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 arotia@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>