

Рисунок – Среднегодовая ЭРОА радона в жилых помещениях Хатлонской области Таджикистана

Среднее значение ЭРОА радона в жилых помещениях в Хатлонской области на первых этажах составляют 99 Бк/м³, а на вторых этажах 81 Бк/м³. И максимальное значение ЭРОА радона составляет около 140 Бк/м³, а минимальное значение – 64 Бк/м³. При этом ЭРОА не превышает установленную норму НРБ-06 РТ (т.е. 200 Бк/м³), так как >99 % исследуемых зданий были старыми зданиями.

Кроме того, из рисунка видно, что в некоторых местах на вторых этажах значение ЭРОА радона относительно выше, чем на первых этажах. Предполагается, что частота обмена воздуха на вторых этажах сравнительно мала, чем на первых этажах. В целях минимизации концентрации радона в этих помещениях, рекомендуется почаще проветривать помещения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сапожников, Ю. А. Радиоактивность окружающей среды. Теория и практика / Ю. А. Сапожников, Р. А. Алиев С. Н. Калмыков – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. – 226 с.
2. Пивоваров, Ю. П. Радиационная экология: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Ю. П. Пивоваров, В. П. Михалев. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 240 с.
3. Мирсаидов, И. У. Исследование содержания радона в атмосферном воздухе и в жилых помещениях города Душанбе Республики Таджикистан / Мирсаидов И.У., Хамидов Ф.А., Баротов Б.Б., Муминов С.В., Баротов А.М. ДАН РТ. – 2017. – Т.60. – №7-8.
4. Радиационный контроль и санитарно-эпидемиологическая оценка жилых, общественных производственных зданий и сооружений после окончания их строительства, капитального ремонта, реконструкции по показателям радиационной безопасности: Методические указания. — М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2011. – 26 с.
5. Нормы радиационной безопасности РТ (НРБ-06) / СП 2.6.1.001-06.

НАКОПЛЕНИЕ ¹³⁷Cs В НАДЗЕМНЫХ ОРГАНАХ ПШЕНИЦЫ ЯРОВОЙ НА ЮВЕНИЛЬНОЙ СТАДИИ РАЗВИТИЯ ПРИ НЕПРОДОЛЖИТЕЛЬНОМ ИЗМЕНЕНИИ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ ACCUMULATION OF ¹³⁷Cs IN THE AERIAL PARTS OF JUVENILE SPRING WHEAT UNDER THE IMPACT OF SHORT CHANGE IN SOIL MOISTURE

А. Н. Никитин, О. А. Шуранкова, Е. В. Мищенко, Г. А. Леферд
A. Nikitin, O. Shurankova, E. Mischenko, G. Leferd

*Институт радиобиологии Национальной академии наук Беларуси,
г. Гомель, Республика Беларусь
nikitinal@gmail.com*

*Institute of Radiobiology of the National Academy of Sciences of Belarus,
Gomel, Republic of Belarus*

Влияние отклонений температурного и гидрологического режима от климатической нормы на поведение техногенных радионуклидов в системе «почва – растение» является слабо изученной проблемой. Исследования в данном направлении важны для эффективного применения мероприятий по обеспечению радиационной безопасности на загрязненных радионуклидами территориях в условиях глобального и регионального

изменения климата. В фитокомнате с регулируемыми условиями исследовано влияние непродолжительного (до месяца) изменения водного режима почвы на накопление ^{137}Cs в надземных органах ювенильных растений яровой пшеницы. Экспериментально показано, что кратковременная почвенная засуха и переувлажнение не оказывают влияние на накопление ^{137}Cs растениями. Переувлажнение почвы, продолжающееся более трех недель, приводит к существенному повышению накопления ^{137}Cs в надземных органах растений.

Impact of temperature and hydrological regime deviations from the climatological normal on the activity of artificial radioisotopes in the soil-plant system is not well studied. Research in this direction is essential for the application of measures to ensure radiation safety on the territories contaminated with radionuclides on the background of global and regional climate change. Influence of changes in the soil water regime lasting no more than a month on accumulation of ^{137}Cs in the aerial parts of juvenile spring wheat was studied in a phyto-chamber with controlled conditions. The experiment has shown that short-term soil drought and waterlogging do not affect on the accumulation of ^{137}Cs by plants. Lasting more than three-weeks waterlogging significantly increase accumulation of ^{137}Cs in the aerial parts of plants.

Ключевые слова: водный стресс, накопление, почва, пшеница яровая, цезий-137.

Keywords: water stress, accumulation, soil, spring wheat, cesium-137.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2020-1-365-369>

Направленные изменения погодных условий, а также их относительно кратковременные отклонения от многолетней нормы могут оказывать комплексное влияние на биологический круговорот веществ в наземных экосистемах. С одной стороны, изменение температурного и водного режима почвы способно привести к повышению или понижению биологической доступности макро-, микро- и следовых элементов в почве. С другой стороны, стресс растений, вызванный неблагоприятными погодными условиями, оказывает влияние на физиологию корневого питания. Актуальность анализа и моделирования этих процессов повышается на фоне наблюдаемых климатических изменений на территории Республики Беларусь. В настоящее время они характеризуются значительным ростом температуры холодных сезонов года, ростом испаряемости при сохранении и даже при снижении количества атмосферных осадков за теплый период года, возрастанием повторяемости засух, при одновременном увеличении интенсивности экстремальных (ливневых) осадков [1]. Отмечается смещение агроклиматических областей на 60-150 километров к северу. В Полесье появилась новая для республики более теплая агроклиматическая зона.

На загрязненных техногенными радионуклидами землях важно оценить влияние отклонения погодных условий от многолетней климатической нормы и изменения режима увлажнения почв на переход ^{137}Cs и ^{90}Sr в растения, поскольку это может отразиться на формировании доз облучения человека и биоты и эффективности защитных мер в сельском хозяйстве. Dowdall et al. [2] указывают на существование неопределенности в направлении изменения коэффициентов накопления радионуклидов растениями при наиболее вероятных сценариях изменения климата. Отмечается необходимость детального изучения данного вопроса, так как поведение радионуклидов в звене «почва-растения» является ключевым элементом в формировании доз внутреннего облучения человека.

Среди почвенных характеристик наибольшее влияние на аккумуляцию радионуклидов оказывают гранулометрический и минералогический состав, агрохимические показатели почвы и режим ее увлажнения. При этом сведения по влиянию влажности почвы на поступление радионуклидов в растения неоднозначны. Водный режим влияет на физико-химическое состояние радионуклидов, их способность переходить в раствор и мигрировать по профилю почв. От доступности влаги зависит физиологическое состояние растений и микробиологическая активность почвы. Известно, что с увеличением влажности почвы снижается коэффициент распределения цезия между твердой фазой и почвенным раствором. Но в природной среде эти данные получены преимущественно не при кратковременном изменении условий увлажнения, а на участках, постоянно отличающихся по уровню грунтовых вод и степени гидроморфности.

В серии лабораторных экспериментов Караваевой и др. [3] было изучено распределение ^{137}Cs в равновесной системе «почва-раствор» при изменении в широких пределах соотношений твердой и жидкой фаз почвы. Результаты показали, что повышение обводненности почв приводит к увеличению содержания всех радионуклидов в жидкой фазе. При крайних значениях коэффициентов обводненности различия в содержании растворенных форм свежевнесенного цезия изменяется в 150–200 раз. Однако, в наиболее вероятном диапазоне почвенной влажности (25–85% от полной влагоемкости) равновесие ^{137}Cs в системе «почва-раствор» существенно не изменялось.

Для выяснения особенностей поступления радионуклидов в растения, произрастающие на почвах различной степени увлажненности, Куликовым и др. [4], были проведены вегетационные опыты на дерново-луговой почве. Влажность поддерживалась на уровне 80, 50 и 25% от их полной влагоемкости. Результаты данного эксперимента показали очень незначительное влияние влажности почвы на удельную активность ^{137}Cs в растениях.

Ehlsen [5] отмечает неоднозначную реакцию накопления радиоактивных изотопов цезия растениями на режим увлажнения. В естественных условиях происходят сложные изменения, недостаток воды изменяет морфологию

и физиологию корней, влияет на скорость миграции калия и цезия в направлении к ризосфере, влияет на коэффициент его распределения между твердой и жидкой фазами. Результаты экспериментов автора свидетельствуют о том, что засуха может как повышать, так и понижать коэффициент накопления цезия растениями.

Таким образом, однозначного ответа на вопрос о влиянии флуктуаций режима увлажнения на накопление ^{137}Cs дать нельзя. Для раскрытия данной проблемы следует учитывать не только влажность почвы, но и целый ряд других факторов и биологические особенности растения.

Цель настоящей работы состояла в анализе влияния относительно кратковременного переувлажнения почвы и засухи на переход ^{137}Cs чернобыльских выпадений в надземную часть ювенильных растений пшеницы яровой на дерновой почве.

Объектом исследований в вегетационном эксперименте явилась яровая пшеница сорта «Рассвет», категория РС, репродукция 1. Предварительно пророщенные семена пшеницы высевались в контейнеры объемом 1,1 л по трафарету в количестве 20 штук на контейнер.

Растения выращивались при температуре воздуха 18°C и относительной влажности воздуха 50-60%. Продолжительность светового дня составляла 22 часа, включая 30 минут на постепенное увеличение и ослабление светового потока. Поток ФАР на максимуме составлял $100\text{ мМсек}^{-1}\text{м}^{-2}$. Полив растений осуществлялся через день в расчетном количестве в зависимости от варианта опыта.

В качестве субстратов для выращивания растений использовался верхний 10-15-см слой дерновой суглинистой почвы, отобранной в б.н.п. Борщевка (зона отчуждения Чернобыльской АЭС). Удельная активность ^{137}Cs в субстрате составила около 16 кБк/кг. Субстрат характеризовался средним содержанием органического вещества, реакция среды близкая к нейтральной, содержание подвижного фосфора (P_2O_5) и обменного калия (K_2O) высокое, содержание обменного магния и кальция повышено.

На первом этапе исследований растения развивались при влажности субстрата равной 70% от полной влагоемкости. В варианте с засухой на 18-й день развития растений полив прекращался, влажность почвы постепенно снижалась до 40% от полной влагоемкости (36-е сутки), после чего восстанавливалась 70% влажность почвы. Растения выводились из эксперимента в различные сроки после снятия водного стресса. В варианте с переувлажнением содержание воды в почве доводилось до 90–95% от полной влагоемкости на 22-е сутки развития растений. Растения выводились из эксперимента на 10, 11, 13, 16, 18 и 24 сутки роста на переувлажненной почве. Параллельно контрольные группы растений продолжали выращивать при влажности почвы 70% от полной влагоемкости и выводились из эксперимента одновременно с экспериментальными. Для эксперимента с недостатком почвенной влаги и переувлажнением использовались различные контрольные варианты. Повторность всех вариантов на каждом из сроков — четыре сосуда.

После вывода растений из эксперимента определялась масса надземных частей в абсолютно сухом состоянии, удельная активность ^{137}Cs в них и почвенном субстрате, высушенном до воздушно-сухого состояния.

Измерение удельной активности ^{137}Cs в образцах почвенного субстрата и растений проводили в соответствии с принятыми методическими рекомендациями с использованием гамма-спектрометрического комплекса CANBERRA Packard (США) с коаксиальным полупроводниковым детектором Ge(Li) с расширенным энергетическим диапазоном. Относительная ошибка измерения удельной активности ^{137}Cs в пробах составляет от 5 до 10 % в зависимости от активности образца.

Во всех группах опыта отмечено влияние недостатка влажности субстрата на продуктивность растений. За условно оптимальный режим увлажнения субстрата принято содержание воды, равное 70% от полной влагоемкости почвы. При недостатке влаги в субстрате масса надземных органов была ниже контроля на 2,1–13,7%. Переувлажнение также привело к падению биомассы надземных частей на 1,6–15,5%, однако на 27 сутки роста в условиях переувлажнения установлено увеличение массы надземных органов пшеницы на 10,2% (в абсолютно сухом состоянии).

Содержание ^{137}Cs в надземных органах яровой пшеницы на 32–47 сутки развития варьировало от 54,9 до 94,2 Бк/кг в различных вариантах эксперимента с засухой (рис. 1). Стандартное квадратичное отклонение результатов не имело выраженных различий между вариантами опыта и составляло 3,2–28,2 Бк/кг.

Максимальная средняя удельная активность в контрольных вариантах отмечена в первый срок наблюдения (сразу после снятия водного стресса). По мере развития растений она постепенно снижается. Разница между первым и последним сроком наблюдения составляет 42%. Выявляется тенденция к снижению удельной активности ^{137}Cs в надземной массе растений по мере увеличения их возраста, причем в контроле данная тенденция прослеживается более отчетливо.

После снятия водного стресса на протяжении первых 8 суток наблюдается слабая тенденция к увеличению удельной активности ^{137}Cs в надземных органах пшеницы. Однако на 11-е сутки происходит заметное падение содержания радиоизотопа цезия в надземных органах. Разница между первым и последним сроком наблюдения здесь составляет 21%.

Анализ полученных данных показал, что коэффициент накопления ^{137}Cs в надземных органах яровой пшеницы в различные сроки после снятия стресса, вызванного почвенной засухой, не имеет существенных отличий от контроля и составляет 0,006–0,011. Статистический анализ с использованием t-критерия Стьюдента не позволил выявить достоверные различия по удельной активности и коэффициенту накопления ^{137}Cs в надземных органах пшеницы между контрольными и подвергавшимися водному стрессу растениями через 0–11 суток после снятия стресса, вызванного почвенной засухой. Следовательно, кратковременная почвенная засуха не вызывает существенных изменений в накоплении ^{137}Cs пшеницей.

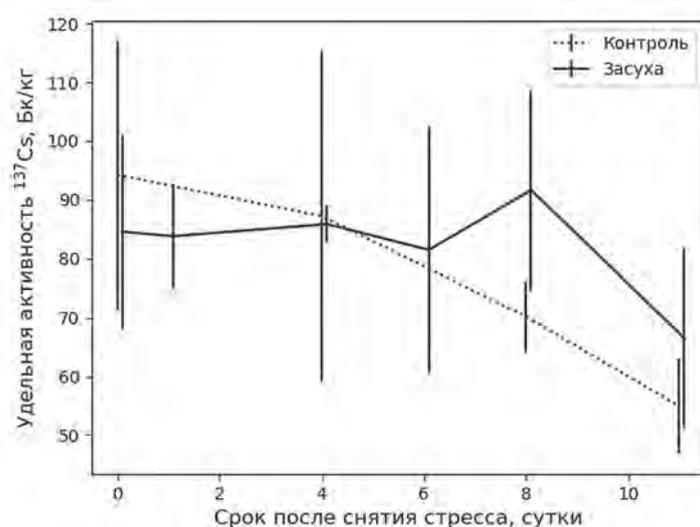


Рисунок 1 – Динамика изменения удельной активности ^{137}Cs в надземных органах пшеницы яровой после снятия водного стресса. Полоса погрешностей – доверительный интервал при $p = 0,05$

Содержание ^{137}Cs в надземных органах яровой пшеницы на 32–46 сутки развития варьировало от 109,6 до 328,1 Бк/кг в различных вариантах эксперимента с переувлажнением почвы. Стандартное квадратичное отклонение результатов не имело выраженных различий между вариантами опыта и составляло 25,6–87,0 Бк/кг.

Через 10–18 суток после начала режима переувлажнения почвы содержание ^{137}Cs в надземных органах яровой пшеницы существенно не отличается от контрольных значений (рис. 2). Однако в варианте с переувлажнением почвы в этот срок проявляется слабая тенденция к росту содержания радионуклида в надземных органах растений. В то же время, в контроле, наоборот, проявляется тенденция к снижению удельной активности ^{137}Cs . К 24-м суткам после начала режима переувлажнения почвы данная тенденция приводит к возникновению статистически значимых различий ($p < 0,01$; t-критерий Стьюдента). В варианте с затоплением почвы среднее содержание радиоактивного изотопа цезия более чем в два раза превышает контрольные значения.

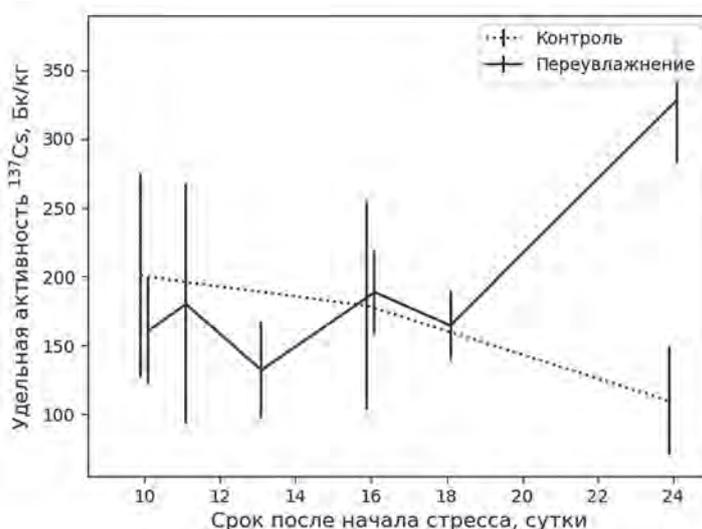


Рисунок 2 – Динамика изменения удельной активности ^{137}Cs в надземных органах пшеницы яровой при переувлажнении почвы. Полоса погрешностей – доверительный интервал при $p = 0,05$

Анализ полученных данных показал, что коэффициент накопления ^{137}Cs в надземных органах яровой пшеницы в различные сроки после начала переувлажнения почвы составляет преимущественно 0,013–0,027 и не отличается от контроля. Лишь к 24-м суткам коэффициент накопления достигает значения 0,037 и достоверно отличается от контроля.

Таким образом, статистический анализ не позволил выявить статистически значимые различия по удельной активности и коэффициенту накопления ^{137}Cs в надземных органах пшеницы между контрольными и развивающимися на переувлажненной почве растениями на протяжении первых 10–18 суток. Однако к 24 суткам различия приобретают статистически значимый характер. Следовательно, затянувшийся до 3 недель и более режим переувлажнения почвы приводит к повышению показателей накопления ^{137}Cs в надземных органах пшеницы.

Обращают на себя внимание более высокие коэффициенты накопления ^{137}Cs надземными органами пшеницы в контрольных вариантах эксперимента с переувлажнением почвы по сравнению с контрольными вариантами эксперимента с почвенной засухой, имеющих одинаковую влажность почвы – 70% от полной влагоемкости. Объяснение данного различия вызывает затруднение, поскольку оба эксперимента проводились с использованием тщательно перемешанной почвы, отобранной в одном и том же месте, а растения выращивались в фитокомнате с идентичными контролируемыми условиями. Разница состояла лишь во времени проведения эксперимента.

Проведенный в условиях строго контролируемых условий роста растений эксперимент показал, что кратковременная (до 20 суток) почвенная засуха и переувлажнение не оказывают влияние на накопление ^{137}Cs надземными частями ювенильных растений яровой пшеницы. Переувлажнение почвы, продолжающееся более трех недель, приводит к более чем двукратному росту накопления ^{137}Cs растениями.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Логинов, В. Ф.* Современные изменения глобального и регионального климата / В. Ф. Логинов, С. А. Лысенко. – Минск: Беларуская навука, 2019. – 315 с.
2. *Dowdall, M.* Will global warming affect soil-to-plant transfer of radionuclides? / M. Dowdall [и др.] // *Journal of Environmental Radioactivity*. – 2008. – Vol. 99, № 11. – P. 1736–1745.
3. *Караваева, Е. Н.* Режим почвенного увлажнения и миграция радионуклидов в почвенно-растительном покрове / Е. Н. Караваева, И. В. Молчанова, Н. В. Куликов // *Радиоактивные изотопы в почвенно-растительном покрове*. – Свердловск, 1979. – С. 3–16.
4. *Куликов, Н. В.* Влияние режима почвенного увлажнения на переход стронция-90, цезия-137 и церия-144 из почвы в раствор / Н. В. Куликов, И. В. Молчанова, Е. Н. Караваева // *Экология*. – 1973. – № 4. – С. 57–62.
5. *Ehlken, S.* Environmental processes affecting plant root uptake of radioactive trace elements and variability of transfer factor data: a review / S. Ehlken, G. Kirchner // *Journal of Environmental Radioactivity*. – 2002. – Vol. 58, № 2-3. – P. 97–112.

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ЦЕЗИЕМ-137 ПРЕДСТАВИТЕЛЬНЫХ ВИДОВ ИХТИОФАУНЫ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «ПРИПЯТСКИЙ» CESIUM-137 CONTAMINATION OF REPRESENTATIVE SPECIES OF ICHTHIOFAUNA OF THE NATIONAL PARK «PRIPYATSKY»

М. В. Пашук, Н. В. Гончарова
M. Pashuk, N. Goncharova

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь
goncharova@iseu.by*

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

В работе представлены результаты радиоэкологического мониторинга проводившегося на территории Национального парка «Припятский» в 2013-2018 г.г. Показано накопления ^{137}Cs у разных видов рыб из водоемов национального парка «Припятский», загрязненных радионуклидами в результате аварии на ЧАЭС. Обоснована возможность использования рыб разных трофических уровней в качестве индикаторов радиоактивного загрязнения при различной степени загрязненности водоемов. Даны рекомендации по снижению риска поступления ^{137}Cs в организм человека при употреблении рыб из исследованных водоемов в пищу с учетом видовых закономерностей накопления и выведения радионуклида.

The paper presents the results of radioecological monitoring in the territory of the Prip'yatsky National Park for the period of 2013-2018. Accumulation of ^{137}Cs in different fish species from the reservoirs of the Prip'yatsky National Park contaminated with radionuclides as a result of the Chernobyl accident was shown. The possibility of using fish of different trophic levels as the indicators of radioactive contamination by the various degrees of pollution of water bodies is substantiated. Recommendations have been prepared for the population on how to reduce the risk of ^{137}Cs entering the human body when eating fish from the studied reservoirs, taking into account the specific patterns of accumulation and elimination of the radionuclide.

Ключевые слова: икhtiофауна, окружающая среда, радионуклиды, водные экосистемы, биота.

Key words: ichthyofauna, environment, radionuclides, aquatic ecosystems, biota.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2020-1-369-372>