

Оригинальная статья

УДК 631.438.2:626.81:504.1

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2026-2-16-23>

ПРОБЛЕМА МЕЛИОРАЦИИ ТЕРРИТОРИЙ ПРИ СЦЕНАРИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ОТ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

С.В. Василенков

Брянский государственный аграрный университет; Брянская область, п. Кокино, Российская Федерация
vasilenkov_sergey@mail.ru; ORCID: 0009-0009-2027-394X

Аннотация. Цель исследований – изучение сценария экологической защиты радиоактивно загрязненных или находящихся в опасности загрязнения территорий путем оросительных мелиораций, активного использования химических удобрений в сочетании с приемами интенсификации промывки почв и снижения поступления радионуклидов в растения, в организмы животных и человека. Приведены результаты оценки снижения дозы внешнего и внутреннего облучения населения, подчеркнута важная роль уменьшения экологической опасности территорий в масштабе загрязненного региона, защиты здоровья населения, продления трудоспособной человеческой жизни. Применяемые нами химические и физические приемы не один раз проверены в лабораторных опытах и полевых экспериментах. В местах повышенной радиоэкологической опасности, особенно вблизи населенных пунктов с дефицитом водоснабжения и других ресурсов, изучены различные способы экологической защиты и сценарии развития негативной миграции радионуклидов. Природные явления в полевых условиях могут ускорить вынос цезия-137 и значительно сэкономить затраты ресурсов. Применение удобрений и промывных поливов, цеолитовых конструкций для перехвата цезия-137, известкования или внесения органики, глубокого рыхления и интенсификаторов улучшает режим фиксации и выноса радиоактивного загрязнения. Полив водой из осушительных каналов, также интенсивно выщелачивает цезий-137. Оросительная мелиорация должна повысить экологическую защиту за счет предотвращенной дозы внешнего и внутреннего облучения, снизить его до минимально допустимого предела 1 мЗв/год, что положительно скажется на здоровье и продолжительности трудоспособной жизни населения, повысит качество и объем растениеводческой и животноводческой продукции.

Благодарности. Автор выражает благодарность и признательность научному руководителю – профессору, доктору технических наук Валерию Фёдоровичу Василенкову, коллективу кафедры природообустройства и водопользования, за посильный вклад в выполнение данной работы

Ключевые слова: экологическая защита, мелиорация территории, загрязненный почвенный слой, вымывание цезия, предотвращенная доза облучения

Для цитирования: Василенков С.В. Проблема мелиорации территорий при сценарии экологической защиты от радиоактивного загрязнения. Природообустройство. 2026;Т.19(2):16-23. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2026-2-16-23>

Original article

THE PROBLEM OF LAND RECLAMATION IN THE SCENARIO OF ENVIRONMENTAL PROTECTION FROM RADIOACTIVE CONTAMINATION

S.V. Vasilenkov

Bryansk State Agrarian University, 243365, Bryansk region, Kokino village, Russian Federation
vasilenkov_sergey@mail.ru; ORCID: 0009-0009-2027-394X

Abstract. Our goal is to study the scenario of environmental protection of radioactively contaminated or at risk of contamination of territories through irrigation reclamation, active use of chemical fertilizers, combined with methods of intensifying soil washing and reducing the intake of radionuclides into plants, animals and humans. The results of the assessment of reducing the dose of external and internal radiation to the population are presented, the important role of reducing the environmental hazard of territories on the scale of a polluted region, protecting public health, and prolonging able-bodied human life is emphasized. The chemical and physical techniques we use have been tested many times in laboratory experiments and field experiments. In places of increased radioecological danger, especially near settlements with a shortage of water supply and other resources, various methods of environmental protection and

scenarios for the development of negative migration of radionuclides have been studied. Natural phenomena in the field can accelerate the removal of caesium-137 and greatly save resource costs. The use of fertilizers and washing irrigation, zeolite structures for intercepting caesium-137, liming or applying organic matter, deep loosening and intensifiers improves the regime of fixation and removal of radioactive contamination. Watering with water from drainage channels also intensively leaches caesium-137. Irrigation reclamation should increase environmental protection by preventing the dose of external and internal radiation, reduce it to the minimum allowable limit of 1 mSv / year, which will positively affect the health and life expectancy of the population, improve the quality and volume of crop and livestock products.

Gratitudes. The author expresses his gratitude and appreciation to the scientific supervisor, Professor, Doctor of Technical Sciences Vasilenkov Valery Fedorovich; members of their family; to the staff of the Department of Environmental Engineering and Water Use for their feasible contribution to the implementation of this work.

Keywords: environmental protection, land reclamation, polluted soil layer, leaching of cesium, prevented radiation dose

For citation: Vasilenkov S.V. The problem of land reclamation in the scenario of environmental protection from radioactive contamination. *Prirodoobustrojstvo*. 2026;19(2):16-23. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2026-2-16-23>

Введение. Пример радиоактивного загрязнения Брянской области может быть показательным для территорий, испытывающих подобное, а также для тех мест, которые расположены вблизи опасных возможных выбросов радиоактивного заражения. В зону риска попадают не только сельскохозяйственные угодья, но и жилые районы возле атомных станций, хвостохранилищ разработок радиоактивной руды, мест захоронения и консервации радиоактивных отходов. Даже если здесь изначально соблюдены все меры по изоляции и поддержанию

радиационного фона на допустимом уровне, утечки происходят постоянно, а аварии или нарушения по причине природных катаклизмов могут иметь катастрофические последствия для окружающей среды и здоровья населения.

Данные таблицы 1 наглядно свидетельствуют о том, что коэффициенты радиационного риска для внешнего облучения на несколько порядков превышают коэффициенты риска получения больших доз внутреннего облучения. При этом получение доз внешнего облучения усугубляет опасность воздействия на здоровье

Таблица 1. Коэффициенты радиационного риска для разных путей облучения [1]

Table 1. Radiation risk coefficients for different exposure routes [1]

Обозначение радионуклида / <i>Radionuclide designation</i>	Коэффициент радиационного риска при / <i>The coefficient of radiation risk at</i>		
	потреблении воды и продуктов питания, риск / Бк / <i>consumption of water and food, risk / Bq</i>	дыхании, риск / Бк / <i>breathing, risk / Bq</i>	внешнем облучении, риск / год Бк / г / <i>external exposure, risk / year Bq / g</i>
K-40	$2,1 \cdot 10^{-9}$	$8,5 \cdot 10^{-10}$	$2,2 \cdot 10^{-5}$
Co-60	$1,4 \cdot 10^{-9}$	$6,0 \cdot 10^{-10}$	$3,3 \cdot 10^{-4}$
Zn-65	$7,9 \cdot 10^{-10}$	$9,4 \cdot 10^{-11}$	$7,6 \cdot 10^{-5}$
Sr-90	$3,8 \cdot 10^{-9}$	$2,5 \cdot 10^{-9}$	$5,3 \cdot 10^{-7}$
Ru-106	$2,5 \cdot 10^{-9}$	$1,4 \cdot 10^{-9}$	$2,6 \cdot 10^{-5}$
I-131	$8,9 \cdot 10^{-9}$	$3,6 \cdot 10^{-9}$	$4,3 \cdot 10^{-5}$
Cs-134	$9,4 \cdot 10^{-10}$	$3,3 \cdot 10^{-10}$	$1,9 \cdot 10^{-4}$
Cs-137	$6,5 \cdot 10^{-10}$	$2,3 \cdot 10^{-10}$	$6,9 \cdot 10^{-5}$
Ra-226	$7,5 \cdot 10^{-8}$	$2,3 \cdot 10^{-7}$	$2,3 \cdot 10^{-4}$
Ba-140	$8,9 \cdot 10^{-10}$	$3,1 \cdot 10^{-10}$	$2,1 \cdot 10^{-5}$
Th-228	$1,9 \cdot 10^{-8}$	$2,4 \cdot 10^{-6}$	$2,1 \cdot 10^{-4}$
U-235	$6,5 \cdot 10^{-9}$	$1,9 \cdot 10^{-7}$	$1,5 \cdot 10^{-5}$
U-238	$6,0 \cdot 10^{-9}$	$1,7 \cdot 10^{-7}$	$3,1 \cdot 10^{-6}$
Na-24	$1,0 \cdot 10^{-9}$	$8,9 \cdot 10^{-11}$	$5,9 \cdot 10^{-3}$

людей и животных, на экологию окружающей среды в целом с течением времени.

Вопросы экологической защиты и реабилитации почв, растений, людей и животных весьма актуальны. Ограничение доз облучения на допустимом уровне (1 м-Зв/год и ниже), предусмотрено законом о радиационной безопасности населения [2-7]. Кроме того, каждая предотвращенная доза облучения в 1 м-Зв экономически эквивалентна сохранению одного года трудоспособной жизни человека.

Опыт реабилитационных мероприятий Брянской области позволяет взять его за основу в решении вопросов экологической защиты подобных регионов. Так, применение химических удобрений на больших сельскохозяйственных площадях улучшало промывку цезия-137 [4-6]. На кислых почвах эффективно вносились калийные удобрения после извести, при этом урожай очищался от цезия-137 в 15 раз [4-6]. В системе внесения удобрений учитывались поддержание и воспроизводство плодородия с запасом для нейтрализации радиоактивного загрязнения территорий [4-6, 8].

Дефицит удобрений при проведении реабилитационных мероприятий покрывается внесением только на небольших площадях повышенного радиоактивного загрязнения: например, в местах замкнутых понижений, где происходит концентрация цезия-137 в результате водной миграции. Там образуются радиоактивные цезиевые пятна, которые нейтрализуются при внесении повышенных доз минеральных удобрений с последующей промывкой [8].

Количество осадков, частота оттепелей зимой, заморозки весной и летом, температура воздуха, суточные колебания весеннего стока, толщина и плотность снежного покрова, кислотность воды и почв, скорость ветра и другое могут сильно повлиять на эффективность очистки почв от цезия-137 [8, 9].

Дефляция почв является наиболее опасной в теплые и засушливые периоды года (апрель и май) [10]. Вероятность получения большой дозы внешнего и внутреннего облучения в этот период особенно высока.

Ухудшение здоровья и сокращение продолжительности жизни от получаемых доз облучения происходят до настоящего времени, особенно там, где они превышают предельно допустимые показатели, и влияние их на здоровье населения изучено не до конца.

Цель исследований: экологическая защита радиоактивно загрязненных или находящихся в опасности загрязнения территорий

путем оросительных мелиораций, активного использования химических удобрений в сочетании с приемами интенсификации промывки почв и снижения поступления радионуклидов в растения, организмы животных и человека, миграционного движения вглубь почвы или к местам улавливания радионуклидов.

Снижение дозы внешнего облучения населения играет важную роль в уменьшении экологической опасности территорий, защите здоровья населения, продлении трудоспособной человеческой жизни. Главными задачами при дефиците водных ресурсов на землях населенных пунктов с небольшим количеством жителей, личных хозяйств, сельскохозяйственных угодий, средних и малых по площади являются: достижение от применения мелиоративных технологий нормативных показателей, опасных для здоровья внешнего и внутреннего облучения, 1 м-Зв/год и ниже; сохранение плодородия обедненных почв; создание условий, предотвращающих сокращение продолжительности жизни, приостанавливающих негативную миграцию радионуклидов в окружающую среду; повышение качества и объема растениеводческой и животноводческой продукции; включение мелиоративных мероприятий в целевые государственные реабилитационные программы, улучшающие качество жизни согласно новым, современным требованиям.

На землях в районах Брянской области в результате аварии на Чернобыльской атомной станции произошло радиационное загрязнение и перераспределение радиоактивных элементов (в основном цезия-137) в результате миграции с воздушными и водными потоками. Это вызвало необходимость производственной проверки рекомендуемых нами мелиоративных мероприятий для защиты подобных территорий и изменения их водохозяйственного, экологического значения.

Материалы и методы исследований.

Для проверки отбирались образцы почв и проводились полевые исследования в местах наиболее загрязненных районов Брянской области, особенно вблизи малых населенных пунктов. Там, где концентрация цезия могла достигать наивысших значений в результате особенностей миграции, нами особенно тщательно обследовались ложбины, балки, высохшие русла рек и каналов, опустошенные водохранилища, водосборы замкнутых понижений включая микропонижения площадью до 5 га.

В полевых условиях радиационный фон определялся приборами СРП-68-01, РКСБ-104-Белвар, ДКГ-03Д-«Грач» [11].

Выполнение поставленной задачи требовало специальной подготовки и экипировки (пробоотборники, контейнеры, ручные буры и др.), ознакомления с правилами и положениями о полевых исследованиях [11]. С полученными пробами в лаборатории гидравлики БГАУ изучалась миграция радионуклидов с фильтрационным потоком, главным образом – в слоях грунта, различных по механическому составу и радиоактивному загрязнению. Управление процессом выщелачивания цезия-137 проводилось при подаче воды с использованием химических удобрений и других способов интенсификации. Учитывались температурные условия, плотность, влажность и агрегатное состояние почв. Удельная радиоактивность пробы с помощью прибора РУБ-01П6 определялась после каждого промывного цикла. Перед этим выполнялись сушка, восстановление агрегатного состояния (дробление и пропуск через сито) и хранение в герметичной упаковке [11].

Многочисленные опыты, поставленные в радиометрической лаборатории, направлены на выявление эффективности промывки до нормативных показателей и точности полученных результатов.

Результаты и их обсуждение. На выщелачивание цезия сильно влияют природные факторы, изменяющие физические свойства почв, но их необходимо дополнять для закрепления получаемого эффекта, не допуская отката к прежнему состоянию. С этим могут справиться водохозяйственные мелиоративные мероприятия, помогая в скорейшем очищении радиоактивно загрязненных почв и снижении дозы внешнего облучения, и как следствие – в снижении накопления дозы внутреннего облучения.

Климатический фактор влияет на эффективность очистки и экономичность водохозяйственных мероприятий, так как в основном от него зависят затраты водных, энергетических и трудовых ресурсов.

Талые и внутриснежные воды в зимний и весенний периоды для вымыва цезия – наилучший вариант, а переменное замораживание и оттаивание почвы усиливают эффект выщелачивания за счет разрушения частиц грунтовых коллоидов [8, 9].

Верхний слой почвы, замерзая, задерживает углекислый газ, образующийся в ее нижних слоях, который начинает бурно высвобождаться в весенний период. Повышенное содержание CO_2 улучшает десорбирующую способность воды и образует активные ионы HCO_3^- и CO_3^{2-} , что способствует активному выщелачиванию цезия-137.

В зимне-весенний период процесс вымывания цезия-137 в полевом эксперименте происходил довольно интенсивно [8]. Фактически углекислый газ, появившийся после оттаивания замерзшей корочки на поверхности почвы, ускорил выщелачивание цезия.

Реабилитационные работы, проведенные агрономами, были малоэффективными без применения промывных мелиоративных мероприятий. Для повышения эффективности и сокращения срока достижения нормативных показателей загрязнения необходимо задаться целью создания экологической защиты для снижения уровней внешнего облучения и опасного развития внутреннего облучения.

Таким образом, на особенность наших исследований повлияла необходимость защиты здоровья и сохранения продолжительности жизни на законодательном уровне для людей, оставшихся и работающих на данных территориях.

При присутствии КСl в почвенном растворе цезий лучше всего десорбируется из средних и крупных фракций песка [4, 5, 8]. В легкосуглинистой почве наблюдается такая же картина: 183 Бк/кг, 10-й цикл (табл. 2).

В лабораторных условиях при промывке песчаной почвы методом полива, затоплением при начальной удельной активности 11916 Бк/кг, испытан хлористый калий, который вносили с 12-го цикла после обработки воды и почвы интенсификаторами (ультразвук и воздушный компрессор), 5 циклов подряд (7-11 циклы). Промывка в 13-м цикле, выполнявшаяся при внесенной дозе хлористого калия 259 кг/га в верхний почвенный слой толщиной 2 см, уменьшила удельную активность почвы на 205 Бк/кг, что было пересчитано по эквиваленту на индивидуальную предотвращенную дозу облучения 0,7 мЗв/год [8].

Подвижность цезия-137 в почве повышается от внесения аммонийных удобрений, а если доза превышает потребность растений, то происходит накопление цезия урожаем [4, 5].

В эксперименте растворенный в поливной воде аммоний эффективно воздействовал на радионуклиды, обеспечивая вымывание как из верхнего (159 Бк/кг, 11-й цикл), так и из нижележащего слоев образца почвы (табл. 2). Внесение же аммония гранулами не обеспечивало вымывания из верхнего слоя почвы, но цезий начинал вымываться из нижних, менее загрязненных слоев, – 129,4 Бк/кг, 12-й цикл (табл. 2) [8].

В лаборатории изучали влияние известности при выщелачивании цезия-137 из легкосуглинистой почвы с исходной удельной

радиоактивностью 4682 Бк/кг. Промывку почвы провели способом капельного орошения. Известь-пушонка в 10-м промывном цикле в количестве 4,55 г (доза – 1,7 т/га) способствовала снижению удельной радиоактивности почвы на 102 Бк/кг, что эквивалентно предотвращенной индивидуальной дозе облучения 0,349 м-Зв/год, а для 1000 чел. – предотвращенной коллективной дозе облучения 0,349 чел. – Зв/год [8].

Предотвращенная доза облучения может стать экономически ощутимой при повышении уровня доходности на душу населения. Значительным эффект вымывания был при внесении известкового молока в разведенной пропорции с водой 1 : 10, доза 2,8 т/га. Такой способ является наиболее предпочтительным, так как улучшает коллоидную структуру почвы, фиксируя в ней цезий, направляя постепенное вымывание вглубь почвы, повышая защиту от внешнего облучения. Эффект можно усилить, сочетая внесение известковых и органических удобрений (торфа или навоза КРС) с определенным перерывом.

В лаборатории промывалась дерново-подзолистая легкосуглинистая почва при исходной удельной активности 2105 Бк/кг с использованием навоза КРС. Почву взяли в экологически опасной Чернобыльской зоне, а навоз был нерадиоактивным. Скорость фильтрации в экспериментах увеличивалась в 2-3 раза при внесении в почву навоза КРС в количестве 10% от массы сухой почвы. Средние значения скорости с навозом и без навоза составляли 0,0264 и 0,0108 см/мин соответственно [8].

Навоз КРС способствует значительному снижению удельных затрат воды на выщелачивание 1 Бк/кг. Возрастает защитная роль навоза в снижении дозы внешнего облучения, его фиксирующая способность с последующим эффективным вымыванием цезия. Количество воды 37,8 м³/га, потраченное с использованием навоза на вымывание 1 Бк/кг, намного меньше в сравнении с промывкой затопления чистой водой [8]. Нерадиоактивный навоз КРС делает выщелачивание цезия-137 целесообразным за счет предотвращенной дозы внешнего облучения. При этом повышается плодородие почв, снижается содержание цезия в единице урожая культур. Для этих же целей, но значительно реже и в меньших объемах может использоваться другой вид навоза – свиной или птичий.

Поступающие с сельскохозяйственных полей дренажные воды богаты различными питательными элементами и минералами, которые могут быть повторно внесены при промывке радиоактивных почв, делая замкнутый водооборот

экологически целесообразным. Азот, фосфор, калий, кальций, магний будут способствовать ускорению выщелачивания цезия-137 из радиоактивной почвы при комбинированном внесении с промывкой [8].

В лабораторных опытах рассматривали промывку дренажной водой из магистрального канала (МК) осушительной системы поселка Колодезский Новозыбковского района (экологическая зона отселения) при подаче дождеванием. Исследовалась легкосуглинистая и супесчаная почва, взятая в той же зоне, на способы выщелачивания цезия-137. За полив одного цикла с использованием воды МК из легкосуглинистой почвы вымылось из верхнего и в среднем из нижних слоев 118 Бк/кг и 67 Бк/кг соответственно (табл. 2). Следующий цикл при использовании только дистиллированной воды показал выщелачивание из верхнего и нижних слоев образца почвы 114 Бк/кг и 93 Бк/кг соответственно [8]. Так сказались на выщелачивании последствие удобрений – КСI в 10-м цикле и селитры в 11, 12 циклах (табл. 2) и воды МК.

В супесчаной почве в 10-м цикле выщелачивание составляло 187 Бк/кг, в следующих двух циклах – 373 Бк/кг и 240 Бк/кг в среднем по двум слоям при поливе водой из магистрального канала [8].

Показатели являются достаточными для скорейшего оздоровления территории и защиты сельскохозяйственных угодий.

В режиме активного использования орошения миграционная способность радионуклида цезия, несомненно, возрастет, поэтому важно использовать способы фиксации цезия-137 в перерывах между поливными циклами и периодами промывки, чтобы приостановить негативную миграцию и направить ее в нужном направлении [12-14]. Для этой цели хорошо подойдут цеолитовые фильтры, расположенные в местах концентрации радионуклидов. В итоге тщательного исследования различных конструкций таких фильтров нами получены удовлетворительные результаты для смеси гранулированного цеолита и мелкого щебня диаметром 2-5 мм в соотношении 1 к 1,5 (рис. 1) [8].

Съемные цеолитовые кассеты легко накапливают радионуклиды в поглотительных колодцах замкнутых понижений (рис. 2), а также быстро регенерируются в результате возрастающей десорбирующей способности при установлении промывного режима. Цеолитовые фильтры можно как устанавливать сверху вокруг скважины для перехвата поверхностного стока, так и заглублять в почву для фиксации там радионуклидов

Таблица 2. Вымыв цезия из легкосуглинистой почвы периодическими поливами при использовании воды МК

Table 2. Leaching cesium from light loamy soil by periodic watering when using MC water

№ цикла/ the cycle	C_c перв. слой Бк/кг/ C_c the first layer Bq / kg	t сут/ day	W литр/ liter	ΣW нараст. литр/ increase. liter	C_c вто- рой слой Бк/кг/ C_c the second layer Bq / kg	ΔC_c Бк/кг/ ΔC_c Bq / kg	$C_{\text{песок}}$ 3-ый слой Бк/кг/ C_{sand} 3-rd layer Bq / kg	C_{IV} 4-ый слой Бк/кг/ C_{IV} 4-rd layer Bq / kg	C_{V} 5-ой слой Бк/кг/ C_{V} 5-rd layer Bq / kg	Э Вымыв. E washing %	Каче- ство воды/ Water quality
Начало / beginning	4234				4240		30,9	30,9	30,9		
1	4090	6	1,6	1,6	4130	144	41,1	44,6	40,8	3,4	дожд. / rain
2	4050	5	1,3	2,9	4028	40	76,4	45,9	54	4,3	дожд. / rain
3	4051	6	1,1	4,0	4029	+1	143,8	44,1	50,1	4,3	дожд. / rain
4	4005	6	1,6	5,6	4015	46	146,1	48,7	49,5	5,4	дожд. / rain
5	4006	6	1,6	7,2	4012	+1	165,9	48,3	69,3	5,4	дожд. / rain
6	3943	6	1,8	9,0	3892	63	152	48,3	48,7	6,9	снеговая / snow
7	3844	6	1,8	10,8	3874	103	144,8	49,3	55,8	9,2	снеговая / snow
8	3819	7	2,0	12,8	3874	25	142,8	55,8	59	9,8	снеговая / snow
9	3778	6	1,8	14,6	3882	41	140,2	61,4	59,1	10,8	снеговая / snow
10	3595	6	1,8	16,4	3804	183	149	73,4	75,1	15,1	дист. / distilled, KCl.
11	3436	7	1,8	18,2	3656	159	128	50,2	53,2	18,8	селитра / ammon.nitrate
12	3444	6	1,8	20,0	3213	+8	129,4	61,8	50,2	18,6	селитра / ammon.nitrate
13	3413	9	2,0	22,0	3157	31	122,8	62,4	44,9	19,4	дистил. / distilled
14	3295	7	2,0	24,0	3090	118	121,6	60,8	43,85	22,2	вода МК / MC water
15	3181	7	2,0	26,0	2997	114	122,9	62	60,6	24,9	вода дист. / distilled water
16	3013	8	2,2	28,2	2884	168	106,9	68,1	53,3	28,8	селитра / ammon.nitrate
Σ		104									

Примечание: В 10-м цикле один полив из 5-ти был теплой дистиллированной водой.

Note: In the 10th cycle, one watering out of 5 was with warm distilled water

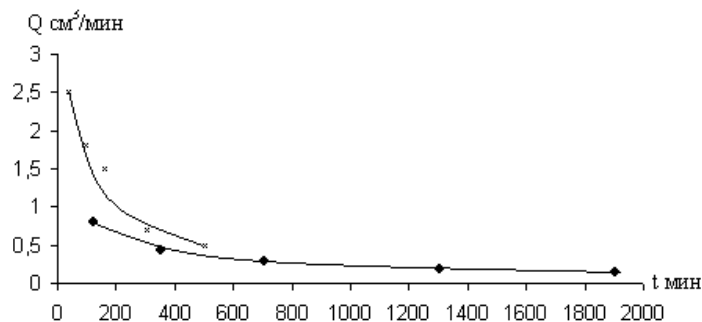


Рис. 1. Изменение скорости фильтрации воды через кассету во времени:

x – кассета из смеси цеолита со щебнем; ♦ – кассета из цеолита

Fig. 1. Change in the water filtration rate through the cassette over time

x – cassette made of a mixture of zeolite and crushed stone; ♦ – a zeolite cassette



Рис. 2. Схемы размещения колодцев-поглотителей с цеолитовыми фильтрами на водосборных площадях

Fig. 2. Schemes for the placement of wells-absorbers with zeolite filters in catchment areas

для последующего удаления путем замены касеты или промывки в нижележащие слои. Также цеолиты неплохо регенерируются при высушивании. Кроме того, цеолитовые фильтры отлично подойдут для перехвата радионуклидов на дне осушительных и нагорно-ловчих каналов, в устьях ложбин и собирателей, что способствует дополнительной защите территории.

Выводы

1. Решение проблем мелиорации радиоактивно загрязненных или находящихся

в опасности загрязнения территорий должно базироваться на использовании интенсификации орошения, химических удобрений в сочетании с установкой в замкнутых понижениях улавливающих цеолитовых конструкций, фиксации цезия в почвенных коллоидах при применении известкования и органических удобрений. Для надежности защиты цеолитовые фильтры также устанавливаются в осушительных и нагорно-ловчих каналах, собирателях в ложбинах. Вода из осушительного канала МК имеет наилучший показатель промывки (супесчаные почвы 373 Бк/кг в среднем по двум слоям).

2. Проведенные нами многочисленные опыты показали, что выщелачивание цезия-137 непосредственно зависит от скорости фильтрационного потока в загрязненном почвенном слое и легкости быстрого поглощения (фиксации и отдачи) воды почвой. При предварительном глубоком рыхлении и обработке интенсификаторами хлористый калий, аммиачная селитра в жидком виде, известь и навоз КРС, внесенные в верхний слой почвы 10 см с определенным перерывом экономически обоснованными дозами, дают хорошие результаты промывки.

3. Необходимо ускорить срок реабилитации загрязненных территорий до нормативных показателей, создать новые реабилитационные программы, включающие в себя мелиоративные мероприятия, учесть климатический фактор, условия для сохранения продолжительности трудоспособной жизни, качества растениеводческой и животноводческой продукции на законодательном уровне.

Список использованных источников

1. Методика оценки радиационных рисков на основе данных мониторинга радиационной обстановки: Рекомендации. Р 52.18.787-2013. Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2014.
2. Черкасова Н.Г., Машура Ю.К., Овчинникова А.Е. Исследование условий накопления радионуклидов деревьями хвойных и лиственных пород в зонах потенциального радиационного загрязнения // *Journal of Agriculture and Environment*. 2024. № 9 (49).
3. Уткин А.А., Нода И.Б. Содержание и распределение радионуклидов в профиле светло-серой лесной почвы и растениях агроценозов // *Агрохимия*. 2024. № 7. С. 73-81. DOI: 10.31857/S0002188124070094. EDN: CFJKZO
4. Анненков Б.Н., Юдинцева Е.В. Основы сельскохозяйственной радиологии. М.: Агропромиздат, 1991.
5. Белоус Н.М., Шаповалов В.Ф. Продуктивность пашни и реабилитация песчаных почв // Брянск: БГСХА, 2006. EDN: SDPIWJ
6. Фесенко С.В., Прудников П.В., Емлютина Е.С., Елифанова И.Э. и др. Динамика содержания ¹³⁷Cs в сельскохозяйственной продукции Брянской области после аварии на ЧАЭС: зерно, картофель и овощи // *Радиационная гигиена*. 2022. № 15 (4). С. 45-57. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2022-15-4-45-57>

References

1. "Recommendations R52.18.787-2013" ("Methodology for assessing radiation risks based on radiation monitoring data"), Obninsk, VNIIGMI – MCD, 2014.
2. Cherkasova N.G., Mashura Y.K., Ovchinnikova A.E. Investigation of the conditions of accumulation of radionuclides by coniferous and deciduous trees in areas of potential radiation contamination // *Journal of Agriculture and Environment*. 2024. №9 (49).
3. Utkin A.A., Noda I.B. The content and distribution of radionuclides in the profile of light gray forest soil and plants of agrocenoses // *Agrochemistry*. 2024. No. 7. P. 73-81. DOI: 10.31857/S0002188124070094. EDN: CFJKZO.
4. Annenkov B.N., Yudinseva E.V. Fundamentals of agricultural radiology // Moscow: Agropromizdat, 1991.
5. Belous N.M., Shapovalov V.F. Productivity of arable land and rehabilitation of sandy soils // Bryansk: BSCA. 2006. EDN: SDPIWJ
6. Fesenko S.V., Prudnikov P.V., Emlyutina E.S., Epifanova I.E., Shubina O.A. Dynamics of ¹³⁷Cs content in agricultural products of the Bryansk region after the Chernobyl accident: grain, potatoes and vegetables. *Radiation hygiene*. 2022;15(4):45-57. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2022-15-4-45-57>

7. Сорокин Ф.Г., Шукин М.В., Содбоев Ц.Ц., Абелев Г.О. Распределение Cs-137 в цепи почва-растения-животное (крупный рогатый скот) в условиях радиоактивно загрязненных территорий Брянской области // Ветеринарный врач. 2025. № 2. С. 94-102.

8. Василенков С.В. Водохозяйственные реабилитационные мероприятия на радиоактивно загрязненных территориях: Монография. М.: Изд-во МГУП, 2009. 290 с. EDN: VQLMGD

9. Лепорский О.Р., Седов С.Н., Шоба С.А., Бганцов В.Н. Роль промораживания в разрушении первичных минералов подзолистых почв // Почвоведение. 1990. № 6. С. 112-116.

10. Трегубов П.С., Зверханский Н.В. Борьба с эрозией почв в Нечерноземье. Л.: Колос, Ленинградское отделение, 1981. 160 с.

11. Василенков С.В. Вода и цезий. Более ста лабораторных работ. М.: МГУП, 2010. 604 с. EDN: TVKWRF

12. Рамзаев В.П., Барковский А.Н., Варфоломеева К.В. Вертикальное распределение ¹³⁷Cs в дерново-подзолистой песчаной почве на лугах и в лесах Брянской области в 2015-2016 гг. // Радиационная гигиена. 2019. № 12 (3). С. 27-41. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2019-12-3-27-41>

13. Прохоров А.В. Моделирование миграции радионуклидов в почве // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2013 № 3. С. 21-23. EDN: QCOKGV

14. Василенков С.В. Удельные затраты воды при промывке радиоактивно загрязненных почв // Природообустройство. 2023. № 4. С. 6-14. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-4-6-14. EDN: IYMOWW

Информация об авторе

Сергей Валерьевич Василенков, д-р техн. наук, доцент кафедры природообустройства и водопользования Брянский ГАУ; SPIN-код: 3228-6401, ID-787096; ORCID: 0009-0009-2027-394X; Scopus ID: 36645351000; vasilenkov_serгей@mail.ru

Критерии авторства / Criteria for authorship.

Василенков С.В. выполнил теоретические исследования, на основании которых провел обобщение и написал рукопись, имеет на статью авторское право и несёт ответственность за плагиат.

Поступила в редакцию / Received 04.09.2025

Поступила после рецензирования / Received 30.03.2026

Принята к публикации после доработки / Accepted 01.04.2026

7. Sorokin F.G., Shchukin M.V., Sodboev C.C., Abelev G.O. Distribution of Cs-137 in the soil-plant-animal chain (cattle) in the conditions of radioactively contaminated territories of the Bryansk region // Veterinarian. 2025. No. 2. P. 94-102.

8. Vasilenkov S.V. Water management rehabilitation measures in radioactively contaminated territories // monograph – Moscow: MGUP Publishing House, 2009. 290 p. EDN: VQLMGD

9. Leporsky O.R., Sedov S.N., Shoba S.A., Bgantsov V.N. The role of freezing in the destruction of primary minerals in podzolic soils. 1990. No. 6. P. 112-116.

10. Tregubov P.S., Zverkhansky N.V. Combating soil erosion in the Non-Chernozem region. – L.: Kolos, Leningrad branch, 1981. 160 p.

11. Vasilenkov S.V. Water and cesium. More than a hundred laboratory works. Moscow: Moscow State University of Environmental Management, 2010. 604 p. EDN: TVKWRF

12. Ramzaev V.P., Barkovsky A.N., Varfolomeeva K.V. Vertical distribution of ¹³⁷Cs in sod-podzolic sandy soil in meadows and forests of the Bryansk region in 2015-2016. Radiation hygiene. 2019;12(3):27-41. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2019-12-3-27-41>

13. Prokhorov A.V. Modeling of radionuclide migration in soil / A.V. Prokhorov // Actual problems of humanities and natural sciences. 2013. No. 3. P. 21-23. EDN: QCOKGV

14. Vasilenkov S.V. Unit costs of water during washing of radioactively contaminated soils // Prirodoobustrojstvo. 2023. No. 4. P. 6-14. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-4-6-14. EDN: IYMOWW

Information about the author

Sergey V. Vasilenkov, DSs (Tech), Associate Professor of the Department of Environmental Management and Water Use; Bryansk State Agrarian University; SPIN code: 3228-6401, ID-787096; ORCID: 0009-0009-2027-394X; Scopus ID: 36645351000; vasilenkov_serгей@mail.ru

Vasilenkov S.V. performed theoretical research, on the basis of which he generalized and wrote a manuscript, he has a copyright for the article and he is responsible for plagiarism.