

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В.ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи

Ракинцев Дмитрий Сергеевич

**Экономическая оценка экосистемных услуг почв в условиях радиационного
загрязнения**

Специальность 5.2.3. Региональная и отраслевая экономика
(экономика природопользования и землеустройства)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата экономических наук

Москва – 2023

Работа выполнена на кафедре экономики природопользования
экономического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова

- Научный руководитель** - **Маликова Ольга Игоревна**,
доктор экономических наук, профессор
- Официальные оппоненты** - **Краснощеков Валентин Николаевич**,
доктор экономических наук, профессор,
ФГБОУ ВО Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ (РАНХиГС), Институт государственной службы и управления (ИГСУ), кафедра управления природопользованием и охраны окружающей среды, заведующий кафедрой
- Липски Станислав Анджеевич**,
доктор экономических наук, доцент,
ФГБОУ ВО Государственный университет по землеустройству, факультет управления недвижимостью и права, кафедра земельного права, заведующий кафедрой
- Макаров Олег Анатольевич**,
доктор биологических наук, профессор,
ФГБОУ ВО Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, факультет почвоведения, кафедра эрозии и охраны почв, заведующий кафедрой

Защита состоится «31» октября 2023 года в 16 часов 00 минут на заседании диссертационного совета МГУ.052.4 Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова по адресу: 119991, Российская Федерация, г. Москва, МГУ, Ленинские горы, дом 1, строение 46, экономический факультет, аудитория П – 4.

E-mail: mgu.08.05@yandex.ru

С диссертацией можно ознакомиться в отделе диссертаций научной библиотеки МГУ имени М.В. Ломоносова (Ломоносовский просп., д. 27) и на портале: <https://dissovet.msu.ru/dissertation/052.4/2647>

Автореферат разослан «___» сентября 2023 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета МГУ.052.4
кандидат экономических наук

Илимбетова А.А.

I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В настоящее время 179 государств, включая Россию, реализуют 17 Целей устойчивого развития (ЦУР), которые были приняты Генеральной Ассамблеей ООН в 2015 году в рамках Парижского соглашения и сформулированы в «Повестке дня на период до 2030 года»¹. Тремя из семнадцати целей названы «сохранение экосистем суши», «ликвидация голода», «чистая вода и санитария». Безусловно, достижению заявленных целей препятствует загрязнение природных и искусственных экосистем, в том числе и радиоактивное.

На 2023 год в мире произошло более 200 инцидентов и радиационных аварий², самыми крупными из которых стали: авария на Чернобыльской АЭС (1986) и авария на АЭС Фукусима-1 (2011). Вышеназванным авариям организацией МАГАТЭ был присвоен самый высокий уровень опасности INES – 7. На территории России в результате аварии на ЧАЭС наибольшему загрязнению долгоживущими радиоактивными элементами подверглись четыре области: Брянская, Калужская, Тульская и Орловская³. В вышеуказанных регионах значительные площади были выведены из хозяйственного оборота, а на землях с меньшим уровнем загрязнения на данный момент производится сельскохозяйственная и лесная продукция, а также используются водные ресурсы. Таким образом, данным территориям нанесен весомый экологический вред, который проявляется в экономическом и социальном ущербе. В настоящее время, риск новых радиационных аварий существенно вырос в связи с текущим политическим кризисом. Главным экосистемным барьером, препятствующим прямому и косвенному негативному воздействию на население в долгосрочной перспективе, являются почвы⁴.

В настоящее время решение проблем природопользования в основном осуществляется в рамках концепции устойчивого развития. Преимуществом данной концепции является трехфакторное рассмотрение проблемы: с экологической, экономической и социальной точки зрения. Связующим звеном между данными факторами является теория экосистемных услуг, которая предоставляет возможность выявить экономически наилучший вариант использования природного ресурса, а также найти компромиссный вариант решения проблемы для всех заинтересованных сторон. Однако,

Сайт Департамента по экономическим и социальным вопросам ООН [Электронный ресурс]. URL: ([дата обращения: 09.01.2023](#))

² Сайт Литейного округа МО. Аварии на АЭС [Электронный ресурс]. URL: ([дата обращения: 09.01.2023](#))

³ Радиоэкологические последствия аварии на Чернобыльской АЭС: биологические эффекты, миграция, реабилитация загрязненных территорий/ Под ред. чл.-корр. РАН Н.И. Санжаровой и проф. С.В. Фесенко М.: РАН. – 2018 – 278 с.

⁴ Mamikhin S.V., Manakhov D.V., Shcheglov A.I., Tsvetnov E.V. Some aspects of evaluation of the role of soils as a shielding medium from ionizing-radiation / Moscow University Soil Science Bulletin. – 2017. – V.72, №2. – p. 66–70.

стоит отметить, что на данный момент не существует единого варианта оценки экосистемных услуг, чему способствуют такие факторы, как большое разнообразие экосистемных услуг и методов их оценки, а также отсутствие традиционных рынков. Исходя из этого, работа приобретает дополнительную актуальность в области методологической разработки теории экосистемных услуг.

Актуальность работы также подтверждается и аналитикой Всемирного банка. Согласно докладу «The Global Risks Report 2022», природные антропогенные катастрофы вошли в пятерку главных экологических рисков. Действительно, на 2023 год в мире функционирует 190 атомных электростанций (АЭС) с 438 энергоблоками, при этом 10 действующих АЭС и 33 энергоблока находятся на территории России⁵. Несмотря на все предпринимаемые превентивные меры безопасности, риск аварий на АЭС существует и может привести к радиационному загрязнению международного масштаба. Исходя из вышесказанного, разработка рационального варианта природопользования в условиях радиоактивного загрязнения необходима, как для фактически загрязненных территорий, так и для территорий, которые подвержены риску данного негативного воздействия.

Степень разработанности темы исследования. Научные аспекты устойчивого управления радиоактивно загрязненными территориями, а также экономической оценки экосистемных услуг почв в условиях радиационного загрязнения были сформулированы в результате анализа и синтеза работ российских и зарубежных ученых.

Теоретическим и практическим вопросам устойчивого управления природным капиталом, в том числе почвами, были посвящены работы С. А. Балюка, С.Н. Бобылева, Г. М. Хасанхановой, П.В. Красильникова, О.В. Кудрявцевой, С.М. Никонорова, К.В. Папенова, Т.С. Хачатурова и др. Среди иностранных ученых можно выделить Р.У. Айреса (R.U. Ayres), Ш. Барнетта (H. Barnett), К.Е. Боулдинга (K.E. Boulding) Г. Дэйли (H. Daily), Р. Костанзу (R. Constanza), Д.В. Крутилле (J.W. Krutilla), П. Кумара (P. Kumar), Д. Пирса (D. Pearce), А. Якобуса (A. Jacobus) и др.

Методологические аспекты, а также практические результаты экономической оценки разных типов экосистемных услуг, в том числе, и экосистемных услуг почв были рассмотрены в работах. Е.Н. Букваревой, В.И. Васенева, В.И. Грабовского, А.А. Данилкина, А.В. Дроздова, Д.Г. Замолотчикова, О.А. Макарова, Т.В. Свиридова, Д.Е. Конюшкова, Е.В. Цветнова и др. Также, были изучены работы следующих авторов: Д. Брунхильдура (D. Brynhildur), Е. Доминати (E. Dominati), Г. Йонссона (G. Jónsson), М. Паттерсона (M.

⁵ Сайт Всемирной ядерной организации [Электронный ресурс]. URL: <https://www.world-nuclear.org/information-library/facts-and-figures/world-nuclear-power-reactors-and-uranium-requireme.aspx> (дата обращения: 09.01.2023)

Patterson), Д. Орвара (J. Orvar), М. Потчина (M. Potschin), Р. Хайнес-Янга (R. Haines-Young), и др. Однако методология для оценки экосистемных услуг почв в условиях радиоактивного загрязнения не составлена, а также не проведена экономическая оценка почвенных природных функций, нивелирующих негативные последствия радиоактивного загрязнения.

Процессы миграции радиоактивных элементов в почвах и пищевых цепях рассмотрены в работе следующих авторов: Ю.А. Израэля, С.В. Мамихина, Д.В. Манахова, М.А. Нестеренко, Н.И. Санжаровой, С.В. Фесенко, О.Б. Цветновой, А.И. Щеглова и др. Исследования перечисленных авторов применялись для оценки в физических единицах снижения негативного воздействия почвами на социально-экономические параметры радиоактивно загрязненных территорий.

Эколого-экономические аспекты рекультивации радиоактивно загрязненных территорий рассматривались в работах следующих ученых: Н.М. Белоуса, Т.В. Дробышевской, Е.В. Смольского, Н.К. Симоненко, Е.П. Чиркова, В.Ф. Шаповалова и др. Необходимо отметить, что в работах данных авторов рассматривались отдельные типы почв и сельскохозяйственных товаров без учета долгосрочных экономических последствий негативного воздействия радиоактивного загрязнения на население.

Анализ степени разработанности проблемы оценки экосистемных услуг почв и устойчивого управления в условиях радиоактивного загрязнения показал, что данная тема исследована недостаточно. Это обусловлено тем, что методология экосистемных услуг начала применяться отечественными учеными для рассмотрения проблем антропогенного загрязнения территорий относительно недавно.

Цель и задачи. Цель исследования состоит в проведении экономической оценки экосистемных услуг почв и разработке экономических инструментов устойчивого управления почвенными ресурсами в условиях радиоактивного загрязнения.

Для достижения заявленной цели были поставлены следующие **задачи**:

1. Систематизировать подходы, методы и результаты различных оценок природного капитала и экосистемных услуг для составления методологии экономической оценки экосистемных услуг почв в условиях радиоактивного загрязнения.

2. Идентифицировать экосистемные услуги почв в условиях радиоактивного загрязнения и выполнить их оценку в физических единицах измерения на разных пространственных уровнях.

3. Выполнить экономическую оценку экосистемной услуги почв по снижению перехода радиоактивных элементов в сельскохозяйственную продукцию на разных пространственных уровнях.

4. Выполнить экономическую оценку экосистемной услуги по снижению воздействия радиационного излучения на население на региональном уровне.

5. Сформулировать рекомендации по устойчивому управлению радиоактивно загрязненными сельскохозяйственными территориями, позволяющие повысить экономическую эффективность их использования и минимизировать ущерб населения, проживающего на данных территориях, путем улучшения экологического качества земель.

Объектом исследования является комплекс социально-экономических ресурсов на радиоактивно загрязненных территориях, снижение качества которых предотвращается в результате защитного действия почв.

Предметом исследования являются социально-экономические выгоды от функционирования почвенного природного капитала и экосистемных услуг в условиях радиационного загрязнения.

Теоретическая, методологическая и информационная база исследования

Теоретическую основу диссертации составляют исследования в области экономики природопользования, экономики устойчивого развития, природного капитала, экстерналий, экосистемных услуг. Помимо того, теоретическую основу исследования составили работы в области радиационной экологии и почвоведения. Автор опирался на научные труды российских и зарубежных исследователей.

Методологической основой исследования являются следующие методы: методы анализа и синтеза, метод математического моделирования, ГИС-метод, экономико-статистический метод, методы анализа рынков, метод замещения затрат, метод упущенной выгоды.

Информационная основа исследования включает статистические данные сводных паспортов безопасности проживания на радиоактивно загрязненных территориях Брянской, Калужской, Тульской и Орловской областей МЧС России. Базы данных российских ведомств: Росстата, Министерства сельского хозяйства РФ. Международных организаций: МАГАТЭ, ФАО, Всемирного Банка, МКРЗ. Отчеты о проведении оценок экосистемных услуг в национальном и глобальном масштабе в рамках достижений ЦУР.

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

1. Составлена методология оценки экосистемных услуг почв в условиях радиоактивного загрязнения с выделением нового этапа в оценке экосистемных услуг: анализа социально-экономических проблем территорий, связанных с негативной экологической обстановкой. Выделение данного этапа позволило выявить отрицательные социально-экономические эффекты на радиоактивно загрязненных территориях.

2. Проведена квантификация сорбционной услуги на локальном, муниципальном,

региональном и федеральном уровне и экранирующей экосистемной услуги на региональном уровне. Был произведен расчет доз радиационного облучения, уровня загрязнения почв и сельскохозяйственной продукции на радиоактивно загрязненных территориях.

3. Впервые проведена экономическая оценка экосистемной услуги дерново-подзолистых почв по снижению перехода радиоактивных элементов в сельскохозяйственную продукцию (сорбционная экосистемная услуга) на локальном, муниципальном и региональном уровне.

4. Проведена оценка экосистемной услуги почв по снижению воздействия радиационного излучения на население (экранирующая экосистемная услуга) на региональном уровне.

5. Сформулированы рекомендации по устойчивому управлению радиоактивно загрязненными сельскохозяйственными территориями, позволяющие повысить экономическую эффективность их использования путем улучшения их экологического качества.

Положения, выносимые на защиту

1. Наиболее значимыми для социально-экономической деятельности в условиях радиоактивного загрязнения территорий являются функции почв по поглощению и закреплению радиоактивных элементов, а также по снижению уровня радиационного излучения.

- Поглощение и закрепление почвами радиоактивных элементов снижает уровень химического загрязнения сельскохозяйственной и лесной продукции, а также воздуха и грунтовых вод, что повышает экономическую ценность природных ресурсов и препятствует попаданию радионуклидов в организм человека.
- Поглощение почвами радиационного излучения после заглубления в них радиоактивных элементов снижает уровень негативного воздействия на здоровье населения, увеличивая продолжительность жизни и снижая количество медицинских затрат.

В ходе исследования был выделен новый этап оценки экосистемных услуг: анализ социально-экономических проблем территорий, связанных с негативной экологической обстановкой.

2. По состоянию на 2022 год, исходя из расчетов, проведенных с помощью математического моделирования, около 380 тыс. га сельскохозяйственных земель на территории Брянской, Калужской, Тульской и Орловской областей характеризуются тем

или иным уровнем радиоактивного загрязнения.

- На территории сельскохозяйственных предприятий Орловской, Тульской и Калужской области радиоактивно загрязнены порядка 170 тыс. га разных типов почв, которые используются в качестве пашен, пастбищ и сенокосов. Однако современный уровень загрязнения в сочетании с природными свойствами почв позволяет получать растениеводческую продукцию, удовлетворяющую санитарным и ветеринарным нормам.
- На территории сельскохозяйственных предприятий Брянской области уровень радиоактивного загрязнения не позволяет производить сельскохозяйственную продукцию, соответствующую санитарным и ветеринарным нормам на 60 тыс. га дерново-подзолистых почв, используемых в качестве пашен, пастбищ и сенокосов.

Кроме того, согласно расчетам, почвы обуславливают снижение дозовой нагрузки на разные группы населения Брянской области приблизительно в 1000 раз. По состоянию на 2023 год, расчетная коллективная эффективная доза (чел.-Зв) без учета снижения почвами радиоактивного загрязнения составляет приблизительно 327,9 тыс. чел.-Зв на территории Брянской области. С учетом поглощения почвами радиационного загрязнения данный показатель составляет около 0,4 тыс. чел.-Зв.

3. Поглощение и закрепление почвами радиоактивных элементов в период с 1987 по 2022 год, исходя из расчетов с использованием метода упущенной выгоды, обуславливало ежегодное снижение ущерба на уровне сельскохозяйственных предприятий до 22,6 млн. рублей. На муниципальном уровне ежегодный размер сорбционной экосистемной услуги доходил до 111,2 млн рублей. На региональном уровне ежегодный размер сорбционной экосистемной услуги составлял до 444,1 млн рублей. Общая ценность сорбционной экосистемной услуги почв на территории Брянской области с 1987 по 2022 год составила 9,3 млрд рублей.

4. Экранирующая экосистемная услуга почв обеспечивает снижение негативного воздействия радиационного излучения на разные группы населения Брянской области. Таким образом, расчеты, проведенные с использованием показателя среднестатистической стоимости жизни (ССЖ), продемонстрировали, что природные свойства почв способствуют сокращению ущерба от уменьшения продолжительности жизни на 18,9 млрд рублей, исходя из расчетов на 2023 год. Общее снижение экономического ущерба, обусловленное природными свойствами почв по поглощению радиационного излучения в период с 2018 по 2023 год, составляет порядка 120,1 млрд рублей.

5. Восстановление радиоактивно загрязненных территорий путем внесения

калиево-фосфорных минеральных удобрений является экономически эффективным. Чистый дисконтированный доход в период с 2022 по 2037 год составит порядка 13,5 млрд рублей. Рекультивационные мероприятия могут быть осуществлены за счет регионального и федерального бюджета с использованием средств и технологий государственной корпорации «Росатом» по примеру федеральных проектов в рамках национального проекта «Экология».

Теоретическая значимость исследования заключается в развитии определения структуры почвенного природного капитала, методологии оценки межсекторальных экстерналий и экосистемных услуг, а также в расширении экономического анализа воздействий на окружающую среду.

Практическая значимость исследования состоит в том, что основные выводы могут быть использованы при реализации ESG-проектов компаний атомно-промышленного комплекса, формировании компенсаторных механизмов для улучшения функционирования почвенного природного капитала, административном управлении радиоактивно загрязненными территориями.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Диссертационное исследование выполнено в соответствии с пунктами Паспорта специальности 5.2.3. Региональная и отраслевая экономика (экономика природопользования и землеустройства):

9.4. Анализ влияния антропогенных факторов на окружающую среду;

9.7. Разработка и совершенствование методов и методик экономической оценки и компенсации ущерба окружающей среде;

9.11. Экологическая политика. Стимулирование экологизации экономики и повышения эффективности природопользования методами экономической политики.

Апробация и реализация результатов исследования. Результаты данного исследования представлены автором на следующих всероссийских, международных конференциях: Международная научная конференция студентов, магистрантов и молодых ученых «Ломоносов» (г. Москва, апрель 2023 г.), Пятая и Шестая ежегодная научная конференция консорциума журналов экономического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова (г. Москва, 25–26 октября 2021, 2022 г.); XXX International Scientific Conference «Agrarian Perspectives: Sources of Competitiveness under Pandemic and Environmental Shocks» (г. Прага, 15–16 сентября 2021 г.); Международная научная конференция Ресурсная экономика, климатические изменения и природопользование (г. Красноярск, 5-10 июля 2021 г.) и др.

По теме диссертации опубликовано 4 статьи общим объемом 5,83 п.л. в журналах, рекомендованных Ученым советом МГУ для защиты в диссертационном совете МГУ по

научной специальности 5.2.3. Региональная и отраслевая экономика (экономика природопользования и землеустройства), а также 5 иных публикаций общим объемом 4,88 п.л. Объем общего вклада автора в публикации из списка МГУ, выполненные автором в соавторстве, составляет 1,38 п.л., без соавторства 4,45 п.л.

Структура и объем диссертационного исследования

Работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы, включающего 156 источников, и двух приложений. Цели, задачи и логика работы определили её структуру. Научно-квалификационная работа изложена на 135 страницах основного текста и включает в себя 18 таблиц и 8 рисунков. Работа имеет следующую структуру:

Введение

Глава 1. Теоретические основы концепции экосистемных услуг и их оценки

- 1.1. Становление концепции устойчивого развития и ее место в современной России и мире
- 1.2. Понятия природный капитал и экосистемные услуги в концепции устойчивого развития
- 1.3. Природный капитал почв
- 1.4. Механизм и методы оценки экосистемных услуг

Глава 2. Современный опыт оценки экосистемных услуг

- 2.1. Оценка экосистемных услуг России
- 2.2. Оценка экосистемных услуг на глобальном уровне
- 2.3. Опыт оценки экосистемных услуг почв

Глава 3. Оценка экосистемных услуг почв в условиях радиоактивного загрязнения

- 3.1. Идентификация экосистемных услуг почв и формирование компенсаторного механизма в условиях радиоактивного загрязнения территорий
- 3.2. Квантификация экосистемных услуг почв по снижению радиационного воздействия
- 3.3. Экономическая оценка сорбционной экосистемной услуги почв в условиях радиоактивного загрязнения
- 3.4. Экономическая оценка экранирующей услуги почв в условиях радиоактивного загрязнения

Заключение

Список литературы

Приложение 1

Приложение 2

II. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Наиболее значимыми для социально-экономической деятельности в условиях радиоактивного загрязнения территорий являются функции почв по поглощению и закреплению радиоактивных элементов, а также по снижению уровня радиационного излучения.

Поглощение и закрепление почвами радиоактивных элементов снижает уровень химического загрязнения сельскохозяйственной и лесной продукции, а также воздуха и грунтовых вод, что повышает экономическую ценность природных ресурсов и препятствует попаданию радионуклидов в организм человека.

Поглощение почвами радиационного излучения после заглубления в них радиоактивных элементов снижает уровень негативного воздействия на здоровье населения, увеличивая продолжительность жизни и снижая количество медицинских затрат.

В ходе исследования был выделен новый этап оценки экосистемных услуг: анализ социально-экономических проблем территорий, связанных с негативной экологической обстановкой.

Для экономической оценки экосистемных услуг в данной работе выделяется семь этапов:

1. Анализ социально-экономических проблем территорий, связанных с негативной экологической обстановкой.
2. Идентификация экосистемной услуги.
3. Квантификация – количественная оценка.
4. Определение экономической ценности.
5. Определение поставщика и собственника экоуслуги.
6. Определение получателей выгод (бенифициаров) от экоуслуги.
7. Формирование механизма компенсации предоставленной ЭС.

Необходимо отметить, что все этапы оценки выполняются не всегда по нескольким причинам. Например, многие культурные услуги очень сложно оценить экономически, особенно религиозные или познавательные. Кроме того, может быть тяжело сформировать механизм компенсации экоуслуги, например, по причине несовпадения границ политических субъектов и географических объектов.

Стоит сказать, что последние шесть этапов оценки экосистемных услуг, являются общепринятыми, однако, первый этап выделяется впервые в связи со спецификой работы – радиоактивным загрязнением территорий.

Данный этап был выделен в связи с тем, что в результате любого типа загрязнения возникает ряд социально-экономических проблем, которые нивелируются благодаря действию природных барьеров.

Наибольшим негативным последствием радиоактивного загрязнения территорий в результате аварии на Чернобыльской АЭС (1986) являются заболевания, вызываемые его воздействием. Человек может получить дозу облучения двумя путями: внешним – от других объектов, а также внутренним – при попадании в организм радиоактивных элементов. Главным природным барьером, снижающим негативное воздействие радиоактивного излучения, являются почвы⁴.

С течением времени негативное воздействие от внешнего излучения снижается за счет того, что радиоактивные элементы заглубляются в более нижние слои почв, благодаря почвенным свойствам, обеспечивающим вертикальную миграцию. Таким образом, слой почвы, оказавшийся выше радионуклидов, поглощает и отражает радиационное излучение как экран, снижая его негативное воздействие на здоровье населения. В рамках исследования, данное положительное влияние почв на здоровье населения было идентифицировано и оценено как **экранирующая экосистемная услуга**.

Кроме того, радиоактивные элементы могут попадать внутрь организма и оказывать негативное влияние на здоровье человека инкорпорировано. Попадание в организм человека возможно тремя путями: через воздух, воду и пищу. Почвы сорбируют радиоактивные элементы и значительно снижают их концентрацию в атмосферном воздухе, в поверхностных и грунтовых водах, а также в пищевых цепях. Описанное положительное влияние почв классифицировано в данной работе как **сорбционная экосистемная услуга**.

Идентифицированные экосистемные услуги оказывают положительное влияние не только на снижение заболеваемости населения, но и на возможность производить на радиоактивно загрязненных территориях сельскохозяйственную и лесную продукцию, соответствующую санитарным и ветеринарным нормам, снижают затраты на очистку или замену технической и питьевой воды. Кроме того, благодаря данным экосистемным услугам, государство не несет затрат на отселение людей.

Для демонстрации основных этапов оценки экосистемных услуг была составлена схема оценки экоуслуг в условиях радиоактивного загрязнения территорий (рисунок 1).



Рисунок 1. Этапы оценки природного капитала и экосистемных услуг в условиях радиоактивного загрязнения территорий (источник: выполнено автором)

Если экосистемные функции обладают ценностью для людей, то они становятся экосистемными услугами, которые в случае обеспечивающих и регулирующих услуг

можно выразить в денежном эквиваленте. Функции почв, снижающие негативные последствия радиоактивного загрязнения, можно отнести к группе регулирующих экосистемных услуг.

2. По состоянию на 2022 год, исходя из расчетов, проведенных с помощью математического моделирования, около 380 тыс. га сельскохозяйственных земель на территории Брянской, Калужской, Тульской и Орловской областей характеризуются тем или иным уровнем радиоактивного загрязнения. Кроме того, почвы обуславливают снижение дозовой нагрузки на разные группы населения Брянской области приблизительно в 1000 раз.

В результате аварии на Чернобыльской АЭС было загрязнено около 3,2% (71,7 млн га) территории бывшего СССР. На территории России было загрязнено более 2,3 млн га территорий Брянской, Калужской, Тульской и Орловской областей. На 2023 год примерное значение радиоактивно-загрязненных территорий России составляет приблизительно 1,4 млн га^{6,11}.

В ходе проведения этапа квантификации был проведен обзор литературных данных, полученных в ходе радиоэкологических исследований. Для осуществления естественно-научного этапа был применен метод математического моделирования, чтобы исследовать снижение уровня радиоактивного загрязнения разных типов почв и сельскохозяйственных культур в течение времени.

Для исследования уровня загрязнения почв на разной глубине была применена конвективно-диффузионная модель, которая учитывает перечисленные выше почвенные процессы, отвечающие за миграцию радиоактивных элементов по почвенному профилю. Для разных типов почв была смоделирована вертикальная миграция ¹³⁷Cs – долгоживущего радиоактивного гамма-элемента, который является главным загрязнителем почв. Данный тип моделей описывается дифференциальным уравнением второго порядка Фоккера-Планка (формула 1):

$$\frac{dq_0}{dt} = D \frac{d^2q}{dx^2} - v \frac{dq}{dx} - \lambda q \quad (1)$$

где q^0 — концентрация цезия-137 на поверхности (Бк/кг);

q — концентрация цезия-137 на глубине x (Бк/кг);

D — коэффициент диффузии ($\text{см}^2/\text{год}$)

⁶ Нестеренко М.А. Динамика радиационного загрязнения почв сельскохозяйственных угодий Брянской области/ Ученые записки Брянского государственного университета. – 2022. – №2, с. 83-88.

λ – постоянная радиоактивного распада (год⁻¹);

v – скорость миграции радионуклида с водой (см/год);

t – время, прошедшее с момента загрязнения (год).

Решение уравнения (1) имеет следующий вид:

$$q(x, t) = Ae^{-\lambda t} \left\{ \frac{1}{\sqrt{\pi Dt}} \exp \left[-\frac{(x-vt)^2}{4Dt} \right] - \frac{v}{2D} \exp \left(\frac{vx}{D} \right) \operatorname{erfc} \left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}} + \frac{v}{2} \sqrt{\frac{t}{D}} \right) \right\}$$

где A - начальная удельная активность ¹³⁷Cs (кБк/м²).

Благодаря данной математической модели вертикальной миграции, а также использованию коэффициентов перехода радиоактивных элементов в растения, удалось установить уровень радиоактивного загрязнения продукции сельскохозяйственных предприятий. Всего от радиоактивного загрязнения пострадало 154 сельскохозяйственных предприятия, из них более половины – 83 в Брянской области⁷. Общее количество разных типов почв с тем или иным уровнем загрязнения на сельскохозяйственных предприятиях России составило приблизительно 380 тыс. га (таблица 1). Из них около 60 тыс. га дерново-подзолистых почв, расположенных на территории Брянской области, нуждаются в рекультивационных мероприятиях для производства продукции, соответствующей ветеринарным нормам.

Таблица 1. Площадь радиоактивно загрязненных почв на территории сельскохозяйственных России по состоянию на 2022 год (га)

Тип почвы	Пашня	Пастбища	Сенокосы
Дерново-подзолистая песчаная	10 258	822	2 803
Дерново-подзолистая супесчаная	123 778	20 559	9 362
Дерново-подзолистая суглинистая	60 584	12 095	9 062
Серая лесная	15 716	0	0
Черноземы среднесуглинистые	90 545	0	0
Черноземы тяжелосуглинистые	21 173	0	0
Сумма	322 054	33 476	21 227

⁷ Сводный паспорт безопасности проживания на радиоактивно загрязненных территориях Брянской области – 2015.

Далее с помощью ГИС-метода на основе полученных данных были составлены цифровые карты в программе ArcGIS. Пример карты, составленной для предприятия СПК «Шлома» представлен в приложении 1.

После получения данных о загрязнении почвенного покрова и сельскохозяйственных культур на отдельных предприятиях, они объединялись для получения информации на муниципальном, региональном и межрегиональном уровне.

Для того, чтобы провести количественную оценку экранирующей экосистемной услуги в естественно-научных единицах, была разработана следующая методика:

1. Получение и цифровизация данных о поверхностной активности загрязненной территории с помощью ГИС-технологий, или потенциально загрязненной территории с помощью метода математического моделирования.

2. Получение и цифровизация данных о почвенном покрове загрязненной или потенциально-загрязненной территории с помощью ГИС-технологий.

3. Получение информации об уровне радиоактивности территории методом наложения почвенной карты и карты загрязнения.

4. Построение математической модели вертикальной миграции в почве радионуклида, обуславливающего загрязнение территории.

5. Вычисление эффективной дозы облучения, исходя из МР 2.6.1.0063-12 «Контроль доз облучения населения, проживающего в зоне наблюдения радиационного объекта, в условиях его нормальной эксплуатации и радиационной аварии».

6. Вычисление коллективной эффективной дозы облучения, исходя из рассчитанной эффективной дозы для разных типов почв и демографических параметров рассматриваемой территории.

7. Вычисление экономического ущерба с учетом и без учета экранирующей способности почв, исходя из положения НРБ-99-2009 «облучение в коллективной эффективной дозе в 1 чел.-Зв приводит к потенциальному ущербу, равному потере примерно 1 чел.-года жизни населения».

8. Расчёт экономической выгоды от экранирующей функции почв как разницы между экономическим ущербом без учета экранирующей способности почв и ущерба с учетом экранирующей способности почв.

Для расчета внешней коллективной эффективной дозы, полученной населением Брянской области в период с 2018 по 2023 год, необходимо было выполнить следующие задачи:

1. Получить данные о количестве городского и сельского населения Брянской области, проживающего на территории с тем или иным уровнем удельной радиационной активности.
2. Получить данные о возрастной структуре населения Брянской области.

Для выполнения расчета эффективной дозы использовалась карта загрязнения территории Брянской области цезием-137 на 2016 год из Атласа современных и прогнозных аспектов последствий аварии на Чернобыльской АЭС на пострадавших территориях России и Беларуси⁸. Карта привязывалась к векторному слою, содержащему информацию о численности населения, в программе QGIS 3.4 Madeira. Таким образом, были получены данные о численности населения Брянской области, проживающих на территориях с определенными типами почв с тем или иным уровнем загрязнения.

Но данная карта отражает поверхностную активность загрязнения Брянской области ($\delta_k[\text{кБк}/\text{м}^2]$), следовательно, исходя из цели данной работы, необходим перевод из $\delta_k[\text{кБк}/\text{м}^2]$ в Зв/ч – единицы эффективной дозы [Е]. Физический перевод из δ_k^k в Е невозможен, поэтому для перевода из Бк/м² в Зв/час были использованы действующие на данный момент МР 2.6.1.0063-12 «Контроль доз облучения населения, проживающего в зоне наблюдения радиационного объекта, в условиях его нормальной эксплуатации и радиационной аварии».

Для расчета коллективной эффективной дозы с официального сайта Федеральной службы государственной статистики были взяты данные по возрастной структуре городского и сельского населения Брянской области за 2018 год. Далее, используя статистические данные, была рассчитана внешняя коллективная эффективная доза для населения Брянской области (таблица 2).

Таблица 2. Рассчитанная коллективная эффективная доза K_E (чел.-Зв) для разных групп населения Брянской области 2018-2023 гг.

Год	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Взрослые (село)	154,1	147,8	141,4	135,0	128,6	122,4
Взрослые (город)	226,6	217,4	208,0	198,5	189,1	180,0
Школьники (село)	24,6	23,6	22,6	21,5	20,5	19,5
Школьники (город)	45,5	43,7	41,8	39,9	38,0	36,2
Дошкольники (село)	18,3	17,6	16,8	16,0	15,3	14,5
Дошкольники (город)	31,9	30,2	28,9	27,6	26,3	25,0
Суммарная K_E	501,0	479,7	459,5	438,5	417,8	398,6

⁸ Израэль, Ю.А. Атлас современных и прогнозных аспектов последствий аварии на Чернобыльской АЭС на пострадавших территориях России и Беларуси (АСПА Россия–Беларусь) / Ю.А. Израэль, Богдевич И.М.: Москва–Минск: Фонд «Инфосфера»–НИА-Природа, 2009. – 140 с.

Таким образом, K_E для населения Брянской области на 2023 год составил 398,6 чел.-Зв ежегодно снижаясь в результате протекания почвенных процессов (с 501,0 чел.-Зв. в 2018 году), обуславливающих экранирующую способность почв.

Для того, чтобы показать роль почвы в снижении радиационного воздействия, продемонстрируем данные K_E для Брянской области без учета экранирующей способности почвенного покрова (таблица 3).

Таблица 3. Рассчитанная коллективная эффективная доза K_E (чел.-Зв) для разных групп населения Брянской области без учета экранирующей способности почв 2018-2023 гг.

Год	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Взрослые (село)	126 569	123 711	120 917	118 186	115 518	112 909
Взрослые (город)	154 499	151 010	147 600	144 267	141 009	137 825
Школьники (село)	19 676	19 231	18 797	18 373	17 957	17 552
Школьники (город)	30 779	30 084	29 405	28 741	28 092	27 458
Дошкольники (село)	14 638	14 307	13 984	13 668	13 359	13 058
Дошкольники (город)	21 400	20 917	20 444	19 983	19 531	19 090
Суммарная K_E	367 561	359 260	351 147	343 218	335 466	327 892

Исходя из расчетных данных, представленных в таблицах, следует, что экранирующая способность почв способствует снижению K_E на три порядка, что ещё раз подчеркивает уникальную защитную роль почвенного покрова.

3. Поглощение и закрепление почвами радиоактивных элементов в период с 1987 по 2022 год, исходя из расчетов с использованием метода упущенной выгоды, обуславливало ежегодное снижение ущерба на уровне сельскохозяйственных предприятий до 22,6 млн. рублей. На муниципальном уровне ежегодный размер сорбционной экосистемной услуги доходил до 111,2 млн рублей. На региональном уровне ежегодный размер сорбционной экосистемной услуги составлял до 444,1 млн рублей. Общая ценность сорбционной экосистемной услуги почв на территории Брянской области с 1987 по 2022 год составила 9,3 млрд рублей.

Для выполнения монетарной оценки сорбционной экосистемной услуги была применена методика расчета упущенной выгоды. Упущенная выгода была рассчитана как экономический ущерб, нанесенный сельскохозяйственным предприятиям в результате недополучения выгоды от реализации растениеводческой продукции, в связи с ее несоответствием санитарным и ветеринарным нормам.

В период с 1987 по 2022 год, был рассчитан ежегодный экономический ущерб от радиоактивного загрязнения для производства нескольких видов пищевых товаров: зерна

озимой и яровой пшеницы, зерна озимой ржи и картофеля; а также кормовой продукции: сена, силоса, сенажа, соломы, зеленой массы, и кормовой свеклы (формула 2).

$$L_i = S_{ts} * F_r * PR_{tp} * F_{tp} * P \quad (2)$$

L_i – размер ущерба при производстве сельскохозяйственной продукции за определенный год (тыс. руб.);

S_{ts} – площадь территории с дерново-подзолистым типом почв определенного гранулометрического состава (га);

F_r – доля площади территорий с определенным уровнем радиоактивного загрязнения;

PR_{tp} – урожайность конкретного вида растениеводческой продукции (т/га);

F_{tp} – доля площади, выделенная под определенный тип продукции;

P – цена определенного типа продукции (тыс. руб./т);

Параметры PR_{tp} , F_{tp} , P и R были взяты из доклада Министерства сельского хозяйства, с сайта aroser.ru, а также из Сводного паспорта безопасности проживания на радиоактивно загрязненных территориях Брянской области⁹. Для расчета в период с 1987 по 2022 год инфляция не учитывалась, цены для каждого типа продукции брались за 2022 год.

После чего ежегодная стоимость экосистемной услуги по снижению радиоактивного загрязнения растениеводческой продукции почвами рассчитывалась как разница величины ущерба между предыдущим и последующим периодом.

$$C_{es} = L_i - L_{(i-1)} \quad (3)$$

В ходе проведения расчетов было оценено снижение экономического ущерба для производства пищевой растениеводческой продукции, которому способствовали природные свойства дерново-подзолистых почв песчаного, супесчаного и суглинистого гранулометрического состава.

Оценка снижения ущерба при производстве пищевой и кормовой продукции позволила рассчитать общий размер экосистемной услуги по снижению радиоактивного воздействия для производства растениеводческой продукции, предоставленной дерново-

⁹ Ракинцев Д. С., Сеитов С. К. Экономическая оценка межсекторальных эффектов между атомно-промышленным комплексом и сельским хозяйством // АПК: экономика, управление. — 2023. — № 1. — С. 48–53.

подзолистыми почвами на сельскохозяйственных территориях Брянской области (таблица 4).

Таблица 4. Размер снижения ущерба для производства растениеводческой продукции за счет почвенных свойств в Брянской области с 1987 по 2022 год

Тип почв	Единица изм.	1987 год	1992 год	1997 год	2002 год	2007 год	2012 год	2017 год	2022 год
Дерново- подзолистая песчаная	%	0,0	0,0	37,5	37,5	42,8	42,8	42,8	42,8
	млн руб.	91,9	91,9	57,4	57,4	52,6	52,6	52,6	52,6
Дерново- подзолистая супесчаная	%	0,0	0,0	18,5	18,5	18,5	40,6	40,6	43,3
	млн руб.	430,7	430,7	350,9	350,9	350,9	255,7	255,7	244,1
Дерново- подзолистая суглинистая	%	0,0	0,0	28,6	44,4	49,4	49,4	49,7	51,7
	млн руб.	306,6	306,6	218,9	170,3	155,1	155,1	154,2	148,0
Дерново- подзолистая (общее)	%	0,0	0,0	24,4	30,2	32,6	44,1	44,2	46,4
	млн руб.	829,2	829,2	627,2	578,6	558,6	463,4	462,4	444,6

За рассмотренный период дерново-подзолистые почвы за счет своих природных свойств обеспечили снижение ущерба на 46,4%, снизив ежегодный ущерб с 829,2 млн руб. до 444,6 млн рублей. Общая стоимость экосистемной услуги по снижению радиоактивного воздействия для производства растениеводческой продукции на сельскохозяйственных территориях Брянской области с 1987 по 2022 год составила 9,3 млрд рублей.

Кроме того, необходимо отметить, что помимо уменьшения убытков при производстве сельскохозяйственной продукции почвы также снижают негативное воздействие радионуклидов на производство лесной продукции, уровень загрязнения вод, уровень загрязнения атмосферы и на здоровье населения, а также увеличивают доходы населения от осуществления трудовой деятельности. Данные факторы сложно учесть при оценке сорбционной функции в связи с недостатком статистических данных, однако, их можно учесть при составлении общей формулы оценки сорбционной экосистемной услуги:

$$C_{es} = L_i - L_{(i-1)} + F_i - F_{(i-1)} + W_i - W_{(i-1)} + P_i - P_{(i-1)} \quad (4)$$

где L_i – размер ущерба при производстве сельскохозяйственной продукции за определенный год (тыс. руб.);

$L_{(i-1)}$ – размер ущерба при производстве сельскохозяйственной продукции за предыдущий год (тыс. руб.);

F_i – размер ущерба при производстве лесной продукции за определенный год (тыс. руб.);

$F_{(i-1)}$ – размер ущерба при производстве лесной продукции за предыдущий год (тыс. руб.);

W_i – размер ущерба при использовании технической и питьевой воды за определенный год (тыс. руб.);

$W_{(i-1)}$ – размер ущерба при использовании технической и питьевой воды за предыдущий год (тыс. руб.);

P_i – размер ущерба от невозможности занятия трудовой деятельностью за определенный год (тыс. руб.);

$P_{(i-1)}$ – размер ущерба от невозможности занятия трудовой деятельностью за предыдущий год (тыс. руб.).

Таким образом, при полном учете всех факторов снижения почвами негативного воздействия полная стоимость сорбционной услуги почв была бы выше.

4. Экранирующая экосистемная услуга почв обеспечивает снижение негативного воздействия радиационного излучения на разные группы населения Брянской области. Таким образом, расчеты, проведенные с использованием показателя среднестатистической стоимости жизни (ССЖ), продемонстрировали, что природные свойства почв способствуют сокращению ущерба от уменьшения продолжительности жизни на 18,9 млрд рублей, исходя из расчетов на 2023 год. Общее снижение экономического ущерба, обусловленное природными свойствами почв по поглощению радиационного излучения в период с 2018 по 2023 год, составляет порядка 120,1 млрд рублей.

Для того, чтобы провести расчет выгоды от экранирующей способности почв использовался показатель стоимости человеческой жизни (стоимость среднестатистической жизни, ССЖ) — это условная расчётная экономическая величина, которая помогает определить размер компенсационных выплат при травмах и гибели людей на производстве, в авариях и катастрофах; планировании деятельности правоохранительной системы и системы здравоохранения; при определении сумм страхования, и ни в коем случае не оценивает человеческую жизнь как товар¹⁰.

Оценим ССЖ россиянина демографическим методом, исходя из уровня размера годового ВВП на душу населения. Для этого необходимо использовать размер ВВП на душу

¹⁰ Цветнов Е. В., Ракинцев Д. С., Цветнова О. Б. Эколого-экономическая оценка экранирующей способности почв как экосистемной услуги // Современные проблемы радиобиологии, радиэкологии и агроэкологии: сборник докладов IV международной молодежной конференции, Обнинск, 22–24 сентября 2021. Обнинск: ФГБНУ ВНИИРАЭ, 2021. — С. 158–162

населения, который в 2020 году составил порядка 644, 6 тыс. рублей¹¹, при этом средняя продолжительность жизни равнялась около 72,0 лет¹². Таким образом, размер ССЖ для россиянина в 2020 году составил порядка 46,4 млн. рублей.

Также, ССЖ может быть оценен размерами выплат, которые полагается родственникам погибшего человека в случае его смерти. Если человек погиб в результате теракта, то размер компенсации за его гибель составляет 1 млн. рублей.

Таким образом, по разным оценкам ССЖ в России оценивается от 1 млн. до 45 млн рублей. Для проведения расчетов было использовано среднее значение – 22,5 млн рублей.

Результаты расчета ущерба загрязнения территории Брянской области с учетом и без учета экранирующей способности почв представлены в таблице 5.

Таблица 5. Экосистемная услуга почв по экранированию радиационного излучения (с показателями характерными для Брянской области) млн руб. 2018-2023 гг.

Год	Ущерб с учетом почв	Ущерб без учета почв	Выгода от экранирующей способности почв
2018	26,511	21 214,983	21 188,472
2019	25,440	20 735,917	20 710,477
2020	24,339	20 267,669	20 243,330
2021	23,231	19 809,995	19 786,764
2022	22,132	19 362,656	19 340,524
2023	21,058	18 925,419	18 904,361

Экономический ущерб от загрязнения Брянской области ¹³⁷Cs без учета экранирующей способности почв превышает ущерб с учетом экранирующей функции почвенного покрова на три порядка, что обеспечивает выгоду от экранирующей способности почв на территории Брянской области от 21,2 млрд рублей в 2018 с последующим постепенным снижением до 18,9 млрд руб. в 2023 году. Общий объем экранирующей экосистемной услуги почв с 2018 по 2023 год составил приблизительно 120,1 млрд рублей.

5. Восстановление радиоактивно загрязненных территорий путем внесения калиево-фосфорных минеральных удобрений является экономически эффективным. Чистый дисконтированный доход в период с 2022 по 2037 год составит порядка 13,5 млрд рублей. Рекультивационные мероприятия могут быть осуществлены за счет

¹¹ ЕМИСС. Государственная статистика. [Электронный источник]: <https://fedstat.ru/indicator/61483> (дата обращения 09.01.2023)

¹² Ожидаемая продолжительность жизни при рождении. Федеральная служба государственной статистики (Росстат). [Электронный ресурс]: https://rosstat.gov.ru/free_doc/new_site/population/demo/progn7.htm (дата обращения: 09.01.2023)

регионального и федерального бюджета с использованием средств и технологий государственной корпорации «Росатом» по примеру федеральных проектов в рамках национального проекта «Экология».

Результаты расчетов, проведенных методом упущенной выгоды, продемонстрировали, что размер экономического ущерба из-за невозможности производить на территории сельскохозяйственных предприятий Брянской области кормовую продукцию составляет около 765,3 млн рублей (таблица 6).

Таблица 6. Экономический ущерб, нанесенный сельскохозяйственному комплексу Брянской области от радиоактивного загрязнения на 2022 год

Экономический ущерб сельскохозяйственного комплекса Брянской области от радиоактивного загрязнения		
Район	Вид продукции	Ущерб (тыс. руб.) от радиоактивного загрязнения
Красногорский район	Зеленая масса	-78 663,8
	Сенаж	-20 809,9
	Силос	-29 646,5
	Сено	-5 118,5
	Сумма	-133 939,6
Климовский район	Зеленая масса	-34 684,1
	Сенаж	-4 393,6
	Силос	-9 212,5
	Сено	-2 579,3
	Сумма	-50 869,5
Злынковский район	Зеленая масса	-29 716,0
	Сенаж	-6 175,0
	Силос	-11 095,4
	Сено	-2 467,8
	Сумма	-49 454,2
Гордеевский район	Зеленая масса	-143 977,7
	Сенаж	-38 261,3
	Силос	-58 877,7
	Сено	-17 077,7
	Сумма	-276 738,5
Новozyбковский район	Зеленая масса	-111 325,5
	Сенаж	-25 152,5
	Силос	-47 801,1
	Сено	-7 945,0
	Сумма	-192 224,1
Клинцовский район	Зеленая масса	-42 979,6

Экономический ущерб сельскохозяйственного комплекса Брянской области от радиоактивного загрязнения		
	Сенаж	-6 289,4
	Силос	-10 658,0
	Сено	-2 149,3
	Сумма	-62 076,3
Брянская область	Зеленая масса	-441 346,7
	Сенаж	-101 081,8
	Силос	-167 291,2
	Сено	-37 337,6
	Сумма	-765 302,2

После проведения расчета экономического ущерба от радиоактивного загрязнения выполнена оценка коммерческой эффективности проекта по рекультивации территорий путем применения одного из признанных методов снижения радиоактивного загрязнения территорий – применения фосфорно-калийных удобрений.

Для того, чтобы обосновать коммерческую эффективность проекта по рекультивации, был выполнен расчет чистого дисконтированного дохода (NPV) и внутренней нормы доходности (IRR) в период с 2022 по 2037 год. Результаты выполненных расчетов показаны в приложении 2.

Расчет NPV был выполнен по следующей формуле:

$$NPV = -IC + \sum \frac{Cft}{(1+r)^t} \quad (5)$$

где NPV — величина чистого дисконтированного дохода;

IC — первоначальные инвестиции;

Cft — потоки денежных средств в конкретный период срока окупаемости проекта, которые представляют собой суммы притоков и оттоков денежных средств в каждом конкретном периоде t ($t = 1...n$);

r — ставка дисконтирования (5%).

Размер ставки дисконтирования (5%) обусловлен ставкой инвестиционного кредита льготной кредитной программы для аграриев, запущенной Правительством РФ в 2017 году, в том числе, и для развития растениеводства

В качестве первоначальных инвестиций учитывалась стоимость удобрений, вносимых на определенную площадь сельскохозяйственных угодий (формула 6).

$$IC = П \times (Ц(K) \times M(K) + Ц(P) \times M(P)) \quad (6)$$

где $П$ – площадь сельскохозяйственных угодий (га);

$Ц(K)$ – цена калийных удобрений (тыс. руб./кг);

$M(K)$ – объем калийных удобрений (кг);

$C(P)$ – цена фосфорных удобрений (тыс. руб./кг);

$M(P)$ – объем фосфорных удобрений (кг).

Общий размер затрат на рекультивацию территорий составил приблизительно 314,7 млн рублей (приложение 2).

В ходе радиобиологических научных исследований, проведенных на территории Брянской области, установлено, что внесение 60 кг фосфорных и 90 кг калийных удобрений ($P_{60}K_{90}$) на 1 га снижает уровень радиоактивного загрязнения злаковых культур в среднем в 6,6 раза за один год, при этом повышая продуктивность зеленой массы в 2,16 раза ($K_{эф}$). Данные параметры применены и для расчета доходности от внесения удобрений для сенажа и силоса. В то же время коэффициент снижения радиационной активности от внесения $P_{60}K_{90}$ для сена составляет 5,9, а коэффициент увеличения урожайности ($K_{эф}$) – 2,07. Цена 1 кг калийных и фосфорных удобрений взята из уже упомянутого выше сборника Росстата за 2021 год. Цена фосфорных удобрений – 42,795 руб./кг, калийных – 49,465 руб./кг¹³.

Потоки денежных средств CF_t рассчитывались по следующей формуле:

$$CF_t = П \times Ур \times Ц \times K_{эф} \quad (7)$$

где $П$ – площадь сельскохозяйственных угодий (га);

$Ур$ – урожайность сельскохозяйственных культур (т/га);

$Ц$ – средние цены на растениеводческую продукцию (тыс. руб.);

$K_{эф}$ – коэффициент увеличения урожайности при внесении $P_{60}K_{90}$.

Также, стоит отметить, что коэффициент увеличения урожайности ($K_{эф}$) не учитывался на второй год реализации проекта. Цены на определенный вид сельскохозяйственной продукции в каждый последующий год были взяты с поправкой на среднюю инфляцию, рассчитанную, исходя из изменения средних цен на зерновую и зернобобовую продукцию в период с 2016 по 2020 год. Средняя инфляция составила приблизительно 8,5%.

Далее был выполнен расчет внутренней нормы доходности (IRR) по следующей формуле:

$$IRR = \sqrt[t]{\frac{CF}{IC}} - 1 \quad (8)$$

CF – суммарный чистый операционный доход (тыс. руб.)

IC – первоначальные инвестиции (тыс. руб.);

¹³ Ракинцев Д.С. Экономическая оценка экосистемных услуг почв сельскохозяйственного назначения в условиях долгосрочного радиоактивного загрязнения на региональном уровне // Экономика устойчивого развития. — 2023. — Т. 53, № 1 — С. 66–70.

t – период времени проекта (15 лет).

Таким образом, результаты расчета показывают, что проект по нейтрализации действия радиоактивного загрязнения путем внесения минеральных удобрений является коммерчески эффективным. Об этом свидетельствует показатель суммарного дисконтированного дохода (NPV), который составляет порядка 13,5 млрд рублей в период с 2022 по 2037 год. Кроме того, о коммерческой эффективности заявленного проекта рекультивации земель свидетельствует показатель IRR, который составляет 32,4%, что значительно превышает заявленную пятипроцентную ставку по льготному кредиту.

При разработке компенсаторного механизма экосистемной услуги экономической субъект, негативно повлиявший на сельскохозяйственные территории, можно выделить однозначно – это Чернобыльская АЭС. Однако тяжело затребовать средства с предприятия, которое не функционирует уже более 35 лет. Более того, в год аварии на ЧАЭС (1986) ещё не было принято современное законодательство, следовательно, виновной и пострадавшей сторонами одновременно выступало государство как собственник всех предприятий и земель на его территории. Однако радиоактивное загрязнение оказывает негативное воздействие на многие составляющие человеческой жизни и в настоящее время, в том числе, и на экономическую. Следовательно, необходимо искать другие источники финансирования для повышения уровня экономической эффективности использования радиоактивно загрязненных территорий. Сделать это можно путем поддержания сорбционной экосистемной услуги, восстановления и искусственного улучшения почвенного природного капитала.

В настоящее время, в России существуют различные примеры организационно-административных практик по ликвидации экологического вреда. Среди них можно выделить частные проекты по устойчивому развитию крупных компаний по восстановлению территорий. А также взаимодействие крупных корпораций с государством, например, в рамках национального проекта «Экология»¹⁴. Говоря о ликвидации последствий радиоактивного загрязнения, в России наибольшим опытом и наилучшими доступными технологиями обладает госкорпорация «Росатом». В рамках федеральных проектов «Инфраструктура для обращения с отходами I–II классов опасности»; «Чистая страна» и «Сохранение озера Байкал» совместная деятельность государства и «Росатома» уже продемонстрировала свою эффективность.

Таким образом, связка финансовых и административных возможностей государства, а также технологических возможностей «Росатома» позволила бы восстановить и улучшить

¹⁴ Паспорт национального проекта «Экология» [Электронный ресурс]. <http://static.government.ru/media/files/pgU5Ccz2iVew3Aoe15vDGSBjbDn4t7FI.pdf> (дата обращения: 15.03.2023)

почвенный природный капитал в условиях радиоактивного загрязнения четырех регионов Российской Федерации. Помимо положительного экологического эффекта, были бы достигнуты также побочные социально-экономические эффекты в виде повышения уровня здоровья людей, проживающих на данных территориях; повышения доходности сельскохозяйственных территорий, увеличения доходов населения.

III. СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

**Публикации в изданиях, индексируемых в базе данных RSCI, и
рекомендованных Ученым советом МГУ имени М.В. Ломоносова для защиты в
диссертационном совете МГУ**

1. Ракинцев Д.С. Коммодификация природных процессов, снижающих влияние радиоактивного загрязнения на растениеводческую продукцию // Экономика устойчивого развития. — 2021. — № 4. — С. 156–161. — 1,79 п.л. — Импакт-фактор РИНЦ: 0,344.
2. Ракинцев Д.С. Функционирование мировых углеродных рынков и формирование политики климатического регулирования в России // Проблемы современной экономики. — 2022. — Т. 83, № 4 — С. 183–185. — 1,04 п.л. — Импакт-фактор РИНЦ: 0,264.
3. Ракинцев Д.С. Экономическая оценка экосистемных услуг почв сельскохозяйственного назначения в условиях долгосрочного радиоактивного загрязнения на региональном уровне // Экономика устойчивого развития. — 2023. — Т. 53, № 1 — С. 66–70. — 1,62 п.л. — Импакт-фактор РИНЦ: 0,344.
4. Ракинцев Д. С., Сеитов С. К. Экономическая оценка межсекторальных эффектов между атомно-промышленным комплексом и сельским хозяйством // АПК: экономика, управление. — 2023. — № 1. — С. 48–53. — 1,38 п.л. (авт. 1,24 п.л.) — Импакт-фактор РИНЦ: 1,336.

Иные публикации

5. Ракинцев Д. С., Гончаров Н. В. Оценка экосистемной услуги снижения радиационного воздействия на растениеводческую продукцию// Материалы 16-й Международной научно-практической конференции Российского общества экологической экономики Ресурсная экономика, изменение климата и рациональное природопользование. — Красноярск: Красноярск, 2021. — С. 155–156. — 0,23 п.л. (авт. 0,18 п.л.).
6. Seitov S. K., Saitov S. R., Rakintsev D. S. Using the agricultural robot to control potato diseases // PROCEEDINGS - of the 31st International Scientific Conference Agrarian Perspectives XXXI. Green Deal – Future Perspectives, September 14 – 15, 2022. — Czech University of Life Sciences Czech Republic, Prague, 2022. — P. 267–275. URL: <https://ap.pef.czu.cz/en/r-12193-conference-proceedings>. — 1,73 п.л. (авт. 0,57 п.л.).
7. Monetary evaluation of an ecosystem service for reducing radiation impact on crop production at the local level / D. S. Rakintsev, O. I. Malikova, N. V. Goncharov et al. // Digital Technologies and Institutions for Sustainable Development. — Advances in Science, Technology & Innovation (ASTI). — Switzerland: Switzerland, 2022. — P. 137–142. https://doi.org/10.1007/978-3-031-04289-8_23 — 1,42 п.л. (авт. 0,57 п.л.).
8. Rakintsev D. S., Seitov S. K. Economic advantages of using agricultural robots in precision farming // PROCEEDINGS - of the 31st International Scientific Conference Agrarian Perspectives XXXI. Green Deal – Future Perspectives, September 14 – 15, 2022. — Czech University of Life Sciences Czech Republic, Prague, 2022. — P. 231–240. URL: <https://ap.pef.czu.cz/en/r-12193-conference-proceedings>. — 1,04 п.л. (авт. 0,52 п.л.).
9. Цветнов Е. В., Ракинцев Д. С., Цветнова О. Б. Эколого-экономическая оценка экранирующей способности почв как экосистемной услуги // Современные проблемы радиобиологии, радиоэкологии и агроэкологии: сборник докладов IV международной молодежной конференции, Обнинск, 22–24 сентября 2021. Обнинск: ФГБНУ ВНИИРАЭ, 2021. — С. 158–162 — 0,46 п.л. (авт. 0,15 п.л.).