

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

имени М.В. ЛОМОНОСОВА

ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

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)

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени

кандидата экономических наук

Научный руководитель:

Доктор экономических наук, профессор

Маликова Ольга Игоревна

Москва – 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
ГЛАВА 1. Теоретические основы концепции экосистемных услуг и их оценки	13
1.1. Становление концепции устойчивого развития и ее место в современной России и мире	13
1.2. Понятия природный капитал и экосистемные услуги в концепции устойчивого развития.....	30
1.3. Природный капитал почв.....	36
1.4. Механизм и методы оценки экосистемных услуг	44
ГЛАВА 2. Современный опыт оценки экосистемных услуг	56
2.1. Оценка экосистемных услуг России	56
2.2. Оценка экосистемных услуг на глобальном уровне.....	69
2.3. Опыт оценки экосистемных услуг почв.....	78
ГЛАВА 3. Оценка экосистемных услуг почв в условиях радиоактивного загрязнения	84
3.1. Идентификация экосистемных услуг почв и формирование компенсаторного механизма в условиях радиоактивного загрязнения территорий.....	84
3.2. Квантификация экосистемных услуг почв по снижению радиационного воздействия.....	86
3.3. Экономическая оценка сорбционной услуги почв в условиях радиоактивного загрязнения.....	100
3.4. Экономическая оценка экранирующей услуги почв в условиях радиоактивного загрязнения.....	111
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	114
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	116
Приложение 1.....	133
Приложение 2.....	134

ВВЕДЕНИЕ

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. Три 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 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

¹ Сайт Департамента по экономическим и социальным вопросам ООН [Электронный ресурс]. URL: <https://sdgs.un.org/goals/> (дата обращения: 09.01.2023)

² Сайт Литейного округа МО. Аварии на АЭС [Электронный ресурс]. URL: <https://www.liteiny79.spb.ru/go-ichs/zashita-ot-chs/923-avariy-na-aes> (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.

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 точек 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, 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 рисков⁵. 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 России⁶. Несмотря на все предпринимаемые превентивные меры безопасности, риск аварий на АЭС существует и может привести к радиационному загрязнению

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.

⁵ The Global Risks Report 2022, 17th Edition, is published by the World Economic Forum.

⁶ 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)

межнационального 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. Крутилли (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. 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 сопутствуют 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 гг.), Пятая и Шестая ежегодная научная конференция консорциума журналов экономического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова (г. Москва, 25–26 октября 2021, 2022 гг.); 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.

ГЛАВА 1. Теоретические основы концепции экосистемных услуг и их оценки

1.1. Становление концепции устойчивого развития и ее место в современной России и мире

Ряд ярких научных работ на стыке экономики и экологии в 1960-1970-е годы^{7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18}, а также массовость движения за права природы^{19,20,21}, не могли не вызвать политический ответ на экономические проблемы, связанные с экологическими ограничениями. Первым политическим событием глобального масштаба, определившим дальнейший ход развития концепции устойчивого развития, принято считать Стокгольмскую Декларацию ООН по окружающей среде (1972), в которой говорилось о том, что обществу в будущем придется руководствоваться не только экономическими, но и социальными и экологическими критериями, такими как ограниченность природных ресурсов, пределы окружающей среды по нейтрализации загрязнения, проблемы неравенства, перенаселения²².

⁷ Ayres, R.U., Kneese, A.V. Production, consumption, and externalities. *The American Economic Review* 59, 282–297, 1969.

⁸ Barnett, H., Morse, C. Scarcity and Growth: The Economics of Natural Resource Availability. John Hopkins University Press, Baltimore, MD, 1963.

⁹ Boulding, K.E. The economics of the coming spaceship earth. In: Jarrett, H. (Ed.), *Environmental quality in a growing economy*. John Hopkins University Press, Baltimore, USA, 1966.

¹⁰ Clark, C.W. *Mathematical bioeconomics: the optimal management of renewable resources*. John Wiley and Sons, New York., 1976

¹¹ Daly, H.E. On Economics as a Life Science. *Journal of Political Economy* 76, 392–406, 1968.

¹² Daly, H.E. *Steady-State Economics*. W.H. Freeman and Co., San Francisco, 1977.

¹³ Ehrlich, P. *The Population Bomb*. Sierra Club-Ballantine, New York, 1968

¹⁴ Georgescu-Roegen, N. Inequality, limits and growth from a bioeconomic perspective. *Review of Social Economy* XXXV, 361–375, 1977.

¹⁵ Holling, C.S. Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecological Systems* 4, 1 – 24, 1973.

¹⁶ Krutilla, J.V. Conservation Reconsidered. *American Economic Review* 57, 777–786, 1967.

¹⁷ Odum, H.T. *Environment, power, and society*. Wiley-Interscience, New York., 1971.

¹⁸ Martinez-Alier, J. *Haciendas, plantations, and collective farms: agrarian class societies, Cuba and Peru*. F. Cass, London. 1977.

¹⁹ Carson, R., 1962. *Silent Spring*. Houghton Mifflin, Boston.

²⁰ Pearce, D. An intellectual history of environmental economics. *Annual Review of Energy and the Environment* 27, 57–81., 2002.

²¹ Røpke, The early history of modern ecological economics, *Ecological Economics*, Volume 50, Issues 3–4, 2004, Pages 293-314, ISSN 0921-8009, <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2004.02.012>.

²² Экономика устойчивого развития: учебник / С.Н. Бобылев. — Москва: КНОРУС, 2021. — 672 с. — (Бакалавриат и магистратура)

Однако до 1970-х годов, вне зависимости от типа политического устройства, неоспоримой концепцией развития цивилизации была модель **фронтальной экономики**, предполагающая **техногенный тип развития**. Согласно данной концепции, проблему обеспечения продовольственными ресурсами и энергией растущего населения планеты и экстенсивного расходования ресурсов решат новые технологии. С точки зрения данной концепции, экономическому росту сопутствуют только два основных фактора: труд и капитал, а природные ресурсы принимаются как неисчерпаемые ^{21,22}.

Отметим, что внутри концепции фронтальной экономики во второй половине XX века были две доминирующие противоборствующие теории развития. Их существование было обусловлено результатами Второй мировой войны, по итогам которой, мир был поделен на два больших идеологических и военно-политических блока с разными экономическими моделями: капиталистический блок стран НАТО, возглавляемых США, и социалистический блок стран Варшавского договора, с политическим центром принятия решений в СССР. Таким образом, в двух политических лагерях развивались противоположные идеи относительно развития человеческой цивилизации. Сценарием мирового развития, свойственного социалистическому блоку, была **теория зависимости**, основанная на трудах Карла Маркса и В.И. Ленина. Сторонники теории зависимости утверждали, что уровень жизни западных стран основан на эксплуататорском характере взаимоотношений с постколониальными развивающимися странами. Капиталистический путь развития, предлагаемый «экономическим ядром», способствует дальнейшему разрыву между богатыми и бедными странами, а также сохранением контроля над бывшими колониями пусть не силовыми, но экономическими методами. Сторонники теории зависимости и её ответвлений утверждали, что для развивающихся стран необходимо следовать

автономному пути развития, основанном на социализме. Однако, данная концепция утратила свою силу после распада СССР в 1991 году²³.

В западно-либеральном сообществе развивалась **теория модернизации**, предполагающая **неограниченный экономический рост**. Уверенность в неограниченности экономического роста, в первую очередь, была основана на небывалых темпах роста мировой экономики в период между 1800 и 1970 годами и особенно между 1950 и 1970 годом. Международные среднегодовые темпы экономического роста варьировались между 3 – 3,7% с 1780-х по 1900 год, в начале 20-го века поднялись выше 4%, но упали до менее 3% в период двух мировых войн. Однако в 1940-х годах они выросли до более 4%, а затем до 5,6% с 1948 по 1971 год^{24,25,26}. В то же время, в промежутке между 1800 и 1970 годом объем промышленного производства вырос приблизительно в 1730 раз, а численность мирового населения возросла с приблизительно 1 млрд. человек до 3,68 млрд²⁴, что не могло не сопутствовать истощению природных ресурсов и загрязнению биосферы. Рост численности населения был наибольшим в странах, образовавшихся в результате деколонизации (в промежуток с 1950 по 1970 год численность мирового населения возросла с 2,6 млрд. до 3,68 млрд), и сопутствовал стремительному разрыву в уровне жизни. В результате, выделился, так называемый, «первый» и «третий» мир.

Согласно теории модернизации решением проблемы низкого уровня жизни в развивающихся странах должно было стать принятие основных четырех принципов развитых стран. Во-первых, принятие ментальных моделей запада с преобладанием рациональных, а не религиозно-традиционных отношений. Во-вторых, институтов запада, в первую очередь,

²³ So AY. Social change and development. Modernization, dependency, and world-system theories. London: Sage, 1990.

²⁴ Rostow WW. The world economy. History and prospect. London: Macmillan, 1978.

²⁵ Tylecote A. The long wave in the world economy: the present crisis in historical perspective. London: Routledge, 1992.

²⁶ Maddison A. The world economy: a millennial perspective. Paris: Development Centre of the Organisation for Economic Co-operation and Development, 2001.

рынка. В-третьих, главной цели запада – высокого массового потребления. В-четвертых, следование культуре запада – поклонению товару. На практике, развивающимся странам предлагалось развивать экспортно-ориентированную экономику с открытыми рынками и приватизированными ресурсами. По мнению сторонников теории модернизации предоставление широкого доступа природных ресурсов «мировому центру», в совокупности с притоком товаров и технологий от мировых корпораций позволило бы «периферийным государствам» достичь экономического уровня стран «первого мира»²⁷. По факту, странам «периферии» предлагались блага западной цивилизации в обмен на постепенную передачу ценных национальных ресурсов глобальным корпорациям.

Однако, серьезным ударом для концепции неограниченного экономического роста и для теории модернизации стала **всемирная экономическая рецессия**, случившаяся в **1974-1976 гг.**, которая последовала за **нефтяным кризисом 1973 года**. Только в промежуток с 1973 по 1974 год рыночная цена на нефть выросла с 3 до 12 долларов за баррель²⁸. В США темп роста цен составил более 10%, а безработица достигла 7,6%²⁹. В странах Западной Европы и Японии складывалась схожая тенденция. До середины 1960-х годов инфляция не превышала 1-1,5%, а безработица 2-2,5%. Сочетание стагнации и инфляции получило название «**стагфляция**». Причиной кризиса стало полугодовое нефтяное эмбарго стран ОАПЕК, а также Сирии и Египта, против США и их союзников (Великобритания, Канада, Нидерланды, Япония), которое стало ответом на поддержку американцев Израиля в арабско-израильском военном конфликте (октябрь 1973). Таким образом, всемирная экономическая рецессия 1974-1976 года обнажила зависимость развитых стран от природных ресурсов и подтвердила

²⁷ Peet R. Theories of development. New York: Guilford Press, 1999.

²⁸ Сайт Банки.ру [Электронный ресурс]. URL: https://www.banki.ru/wikibank/neftyanoy_krizis_1973_goda/ (дата обращения: 10.01.2023)

²⁹ Сайт Информационный портал NoNews [Электронный ресурс]. URL: <https://nonews.co/directory/wordbook/stagflation> (дата обращения: 10.01.2023)

опасения их потенциальной нехватки, обозначенной в декларации ООН (1972)³⁰.

Одновременно с важными политическими событиями и следующими за ними экономическими последствиями в области экономики природопользования и экологической экономики начинает развиваться **концепция устойчивого развития**. Автором данного термина, вероятнее всего, является Барбара Уорд - основательница Международного института окружающей среды и развития³¹. В 1973 Ф. Шумахером вводится понятие «**природный капитал**»³², ставшее ключевым для устойчивого развития. Относительно сохранения природного капитала и устойчивого развития общества, основанного на его поддержании, начинается дискуссия, появляются понятия «**слабой**» и «**сильной**» устойчивости» (см. раздел 1.4.).

После нефтяного кризиса 1973 года следующий **энергетический кризис** случился уже через 6 лет в **1979 году**, когда **Иранская революция** вызвала новые перебои поставок нефти в развитые страны. Цены на нефть в 1981 году достигли своего максимума в 35 долларов за баррель³³. Энергетический кризис привел к очередной стагфляции в странах атлантического блока в **1981-1982** годах.

Таким образом, с 1973 по 1981 год цены на нефть выросли приблизительно в 12 раз без учета инфляции. Два энергетических кризиса 1973 и 1979 года обусловили инфляцию около 100% с 1965 по 1982 год в США, что было примерно в 3,5 раза выше, чем в аналогичный период с 1949 по 1965 год. Также, уровень безработицы в названных временных промежутках сравнения вырос примерно в 2,5 раза. Аналогичные тренды можно было наблюдать в развитых странах Западной Европы (Великобритании, Франции, ФРГ, Италии,

³⁰ Jacobus A. Du Pisani. Sustainable development – historical roots of the concept, Environmental Sciences, 3:2, 83-96, 2006. DOI: 10.1080/15693430600688831

³¹ Ward B, Dubos R. Only one earth – the care and maintenance of a small planet. London: Deutsch, 1972.

³² Erik Gómez-Baggethun, Rudolf de Groot et. al. The history of ecosystem services in economic theory and practice: From early notions to markets and payment schemes, 2009

³³ Robert D., Hershey Jr. Worrying Anew Over Oil Imports, The New York Times, 1989.

Нидерландах и т.д.). Энергетические кризисы 1970-х годов не могли не повлиять на энергетическую политику развитых стран. Позитивным результатом кризисов стало развитие политики энергосбережения и использования альтернативных источников энергии (газа, атомных электростанций, ветровой энергии и т.д.). Также, описанные выше экономические события привели к снижению потребления нефти с 1979 по 1981 год на 13%, а в период с 1973 по 1981 год приблизительно на 10%^{29,33}.

Помимо того, последствия энергетического коллапса дали внушительный стимул для развития проблемы оптимального использования ресурсов в экономической науке в 1980-х годах, были широко изучены проблемы производительности труда, энергоемкости производства, качества энергии. Среди важных политических событий в области охраны труда стоит отметить опубликованную в 1980 году Всемирную стратегию природы (The World Conservation Strategy)³⁴, так как данная стратегия стала первым официальным документом, где было упомянуто словосочетание «устойчивое развитие». Однако, самым значимым документом 1980-х годов стал доклад комиссии Г.Х. Брундтланд «Наше общее будущее» в ООН (WCED 1987)³⁵, где было впервые дано наиболее общепринятое определение устойчивого развития. «Устойчивое развитие — это такое развитие, которое удовлетворяет потребности настоящего времени, но не ставит под угрозу способность будущих поколений удовлетворять свои собственные потребности». Исходя из данного определения можно выделить первый ключевой аспект устойчивого развития - **темпоральный (временной) компромисс поколений**²². Также, стоит отметить, что отчет, в первую очередь, был сосредоточен на защите населения наиболее бедных стран и необходимости их экономического развития, но уже с учетом более широкого круга факторов, таких как народонаселение, продовольственная безопасность,

³⁴ The World Conservation Strategy. Prepared by the International Union for Conservation of Nature and Natural Resources (IUCN), 1980.

³⁵ Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future, 1987.

биоразнообразии, выбором источников энергии и т.д. Отмечалось, что существующая модель фронтальной экономики противоречит экологической безопасности, и что для повышения уровня жизни в развивающихся странах экономический рост необходим, но с соблюдением экологического критерия. Таким образом, в докладе было выделено **три фундаментальных компонента устойчивого развития: социальный, экологический и экономический**²².



Рисунок 1. Триединая концепция устойчивого развития

Необходимо подчеркнуть, что влияние данного доклада было значительно увеличено из-за серии экологических катастроф в 1980-е годы, в первую очередь, аварией на Чернобыльской АЭС (1986). На национальном уровне в 1970-1980-е годы в большинстве стран были созданы министерства по охране окружающей среды. В США в 1970 году было создано Агентство по охране окружающей среды (EPA), в СССР в 1988 году был создан Комитет по охране окружающей среды²².

Таким образом, политические события 1970-х годов, ставшие причиной двух энергетических кризисов, наглядно продемонстрировали последствия потенциальной нехватки природных ресурсов. В результате перебоев поставки нефти из стран Ближнего Востока, развитые страны охватил мощный экономический кризис, сопровождавшийся сильнейшей стагнацией в середине 1970-х и начале 1980-х годов. Экономический кризис подтолкнул правительства стран к развитию энергосберегающих программ и развития альтернативных источников энергии, а также финансированию научных исследований в области оптимального использования ресурсов. Осознание зависимости экономики от природных ресурсов, а также ряд глобальных экологических катастроф, продемонстрировавших ущерб от загрязнения окружающей среды, привел к созданию министерств по охране окружающей среды в большинстве стран. Многие социальные и экологические проблемы, такие как потенциальная нехватка природных ресурсов, загрязнение окружающей среды, перенаселение, социальное неравенство и др., были отражены в ключевых международных документах по проблемам окружающей среды 1970-1980-х годов. Основным постулатом данных документов стал переход от фронтальной экономики к устойчивому типу развития, который предполагает учет социальных проблем и экологической безопасности при достижении экономического роста.

После формирования концепции устойчивого развития происходил процесс углубления и расширения концепции в глобальном масштабе. Следующим ключевым политическим событием после доклада комиссии Г.Х. Брундтланд (1987) стала Конференция ООН по окружающей среде и развитию в Рио-де-Жанейро (1992), где была утверждена концепция устойчивого развития в глобальном масштабе. В ходе конференции была принята программа «Повестка дня на XXI век»³⁶, которая отражала социо-эколого-экономические ориентиры развития человечества. Данная программа была

³⁶ AGENDA 21. United Nations Conference on Environment & Development Rio de Janeiro, Brazil, 3 to 14 June 1992.

принята 179 государствами мира. Одними из первых стран, которые разработали национальные программы развития согласно концепции устойчивого развития стали Великобритания (1994) и США (1996). Однако даже на примере программ в двух странах, являющихся стратегическими союзниками, заметны различия в понимании устойчивого развития и ключевых ориентирах. Если в «Стратегии устойчивого развития для Великобритании» (1994) говорится в первую очередь о равенстве между настоящим и будущими поколениями, то ключевым приоритетом в «Концепции устойчивого развития США» (1996) остается экономический рост. В России в 1996 году был подписан Указ Президента Российской Федерации «О Концепции перехода Российской Федерации к устойчивому развитию», однако разработанная Стратегия перехода к устойчивому развитию для России (1998) не была принята²².

Также в рамках Конференции Рио (1992) были подписаны три тесно связанные конвенции: Конвенция о биологическом разнообразии³⁷, Конвенцией по борьбе с опустыниванием³⁸, а также Рамочная конвенция ООН об изменении климата (РККИ ООН)³⁹. Необходимо отметить, что несмотря на принятие трёх разных природоохранных концепций, все они неразрывно связаны между собой и связаны одной общей целью — недопущение изменения биосферы, которые приведут к угрозе снижения благополучия и даже существования человечества. Таким образом, подписанием данных конвенций мировым сообществом было впервые продемонстрировано осознание причин нового кризиса, с которым не сталкивалось человечество — **кризиса функционирования экосистем**. Изменение структуры и процессов биосферы из-за антропогенного влияния уже стало причиной множества негативных социально-экономических последствий: нашествие саранчи в Китае в 1960 году из-за уничтожения воробьев — прямого регулятора

³⁷ Convention on Biological Diversity. United Nations, 1992.

³⁸ United Nations Convention to Combat Desertification. United Nations, 1994.

³⁹ United Nations Framework Convention on Climate Change. United Nations, 1992.

численности насекомых; наводнения в Германии и Чехии в 2001-2002 гг. по причине вырубки лесов в руслах рек; смог в Москве в 2010 году из-за осушения водно-болотных угодий. Необходимо осознавать серьёзность потенциального коллапса биосферы для человеческой цивилизации, так как человек как биологический вид, который сформировался в существующих условиях окружающей среды, не сможет выжить при её существенных изменениях.

Конечной целью РКИК ООН является «стабилизация концентрации парниковых газов в атмосфере на таком уровне, который не допускал бы опасного антропогенного воздействия на климатическую систему». Причем, «... в сроки, достаточные для естественной адаптации экосистем к изменению климата, позволяющее не ставить под угрозу производство продовольствия и обеспечивающие дальнейшее экономическое развитие на устойчивой основе»³⁷. В 1997 году РККИ ООН была дополнена Киотский протоколом. В рамках Киотского протокола⁴⁰ предполагается наложение на страны обязательств по сокращению или стабилизации выбросов парниковых газов. Для реализации данной цели был разработан экономический механизм **торговли квотами**, с помощью которой государства и иные экономические субъекты могли бы продавать и покупать право на выбросы парниковых газов. Таким образом, торговля квотами на выбросы парниковых газов стала первым прецедентом включения фактора загрязнения окружающей среды в экономический процесс.

В настоящее время концепция устойчивого развития стремительно развивается в разных направлениях: политическом управлении, бизнесе и науке, при этом интеграция между данными сферами стремительно увеличивается. Главной целью данного раздела является выделение

⁴⁰ Киотский Протокол к Рамочной Конвенции Организации Объединенных Наций об Изменении Климата. Организация Объединенных Наций, 1998.

сложившихся практик устойчивого развития в описанных выше направлениях и перспективы устойчивого развития в России.

На **межгосударственном (политическом) уровне** мировым сообществом реализуется проект по достижению 17 целей в области устойчивого развития (ЦУР), которые были приняты Генеральной Ассамблеей ООН в 2015 году в рамках Парижского соглашения⁴¹ и сформулированы в «Повестке дня на период до 2030 года»⁴². На данный момент, к Парижскому соглашению присоединились 194 страны⁴³. В России Парижское соглашение было одобрено Распоряжением Правительства РФ в 2016 году⁴⁴, а после было принято Постановлением Правительства №1228⁴⁵ в 2019 году, но не ратифицировано на уровне Государственной Думы, что свидетельствует о разном мнении касательно данного соглашения в правящей элите нашей страны. Несмотря на разногласия, с 2016 года активно разрабатываются и применяются государственные меры в рамках перехода к концепции устойчивого развития. В 2016 году на Заседании Государственного совета по вопросу об экологическом развитии Российской Федерации в интересах будущих поколений Президент России В.В. Путин заявил, что Россия выступает в качестве экологического донора мира,⁴⁶ тем самым продемонстрировав, что власть осознает перспективы России в рамках одного из основных регуляторов функционирования экосистем. Следующий 2017 год был объявлен годом экологии. В 2020 году был издан Указ Президента РФ №

⁴¹ United Nations. Department of Economic and Social Affairs. Sustainable Development. <https://sdgs.un.org/goals/> (дата обращения: 25.12.2022)

⁴² Парижское соглашение. URL:

https://unfccc.int/files/meetings/paris_nov_2015/application/pdf/paris_agreement_russian_.pdf (дата обращения: 25.12.2022)

⁴³ Меры по борьбе с изменением климата. Сайт ООН. [Электронный ресурс]. Режим доступа:

<https://www.un.org/ru/climatechange/paris-agreement> (Дата обращения: 22.07.2022)

⁴⁴ Правительство Российской Федерации. Распоряжение от 14 апреля 2016 г. N 670-р.

⁴⁵ Об принятии Парижского соглашения. Правительство Российской Федерации. Постановление от 21 сентября 2019 г. №1228. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://government.ru/docs/37917/> (Дата обращения: 22.07.2022)

⁴⁶ Заседание Государственного совета по вопросу об экологическом развитии Российской Федерации в интересах будущих поколений. Сайт Кремля. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://kremlin.ru/events/president/news/53602> (Дата обращения: 23.01.2023)

666 «О сокращении выбросов парниковых газов»,⁴⁷ в исполнении которого в 2021 году была принята Стратегия социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года⁴⁸. Также, в 2021 году создаются специальные группы Минэкономразвития, Администрации Президента, Банка России и МИД, которые активизировали усилия по созданию юридических актов в сфере углеродного регулирования⁴⁹.

Для реализации стратегии устойчивого развития бизнесом, ЮНКТАД (UNCTAD) разработал 169 задач⁵⁰ в рамках исполнения 17 целей устойчивого развития. Передовым центром в достижении устойчивого развития в сфере бизнеса, как и в политической сфере, был и остается Европейский Союз. В 2013 году Европейский парламент выпустил директиву 2013/34/EU в отношении раскрытия нефинансовой информации и информации о разнообразии некоторыми крупными предприятиями и группами, которую дополнил директивой 2014/95/EU (NFRG) в 2014 году⁵¹. Согласно данным директивам, около 11,7 тыс. крупных европейских компаний (численностью более 500 сотрудников) обязаны предоставлять нефинансовую отчетность по следующим пунктам:

- Вопросы окружающей среды;
- Социальные вопросы и обращение с сотрудниками;
- Уважение прав человека;
- Антикоррупционная деятельность;

⁴⁷ Указ Президента Российской Федерации от 4 ноября 2020 г. № 666 "О сокращении выбросов парниковых газов"

⁴⁸ Правительство Российской Федерации. Распоряжение от 29 октября 2021 г. № 3052-р. Москва

⁴⁹ Рынок торговли квотами на выбросы: какие у бизнеса перспективы? |Интервью Михаила Казанцева для газеты «Коммерсант». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://epam.ru/ru/media/view/rynok-torgovli-kvotami-na-vybrosy:-kakie-u-biznesa-perspektivy> (Дата обращения: 22.07.2022)

⁵⁰ Сайт ЮНКТАД. 169 задач к ЦУР. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://unctad.org/webflyer/achieving-sustainable-development-goals-least-developed-countries> (Дата обращения: 23.01.2023)

⁵¹ Официальный сайт Евросоюза. Directive 2014/95/EU of the European Parliament and of the Council of 22 October 2014 amending Directive 2013/34/EU as regards disclosure of non-financial and diversity information by certain large undertakings and groups [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:32014L0095> (Дата обращения: 23.01.2023)

- Разнообразие (по критерию возраста, гендера, образование и профессионального опыта).

Таким образом, нефинансовая отчетность в формате ESG (environmental, social, governance) стала обязательной для крупного европейского бизнеса.

С 5 января 2023 года вступила в силу Директива по корпоративной отчетности в области устойчивого развития (CSRD). Теперь отчеты об устойчивом развитии должны будут представлять более широкий круг крупных компаний, а также зарегистрированные на бирже малые и средние предприятия. Помимо того, аудит нефинансовой отчетности становится обязательным⁵². Таким образом, количество компаний, которым будет необходимо предоставить отчетность в области УР в Евросоюзе увеличится с 11,7 тысяч до 50 тысяч.

Помимо жестких внутренних мер, Евросоюз внедрением проекта по трансграничному углеродному регулированию (ТУР)⁵³, в рамках Зелёной сделки для Европы (EU Green Deal), вносит серьезные изменения в политику компаний из стран-импортеров, в первую очередь, России и Китая. В ходе первого переходного этапа ТУР, импортёры стали, железа, алюминия, цемента, удобрений и электроэнергии в страны ЕС с 1 января 2023 года по 31 декабря 2025 года будут должны предоставлять ежеквартальную отчетность по выбросам парниковых газов. Помимо того, рассматривается расширение перечисленного выше списка товаров с включением органических химических веществ, водорода и полимеров, а также сокращение переходного этапа до

⁵² European commission. Corporate sustainability reporting. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://finance.ec.europa.eu/capital-markets-union-and-financial-markets/company-reporting-and-auditing/company-reporting/corporate-sustainability-reporting_en (Дата обращения: 27.01.2023)

⁵³ Commission proposes new Carbon Border Adjustment Mechanism and revision of the Energy Taxation Directive, as part of the EU Green Deal. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://taxation-customs.ec.europa.eu/news/commission-proposes-new-carbon-border-adjustment-mechanism-and-revision-energy-taxation-directive-2021-07-14_en (Дата обращения: 15.07.2022)

2024 года⁵⁴⁵⁵. С 2026 года планируется второй этап ТУР, где предусматриваются приобретение сертификатов на ввозимые категории продукции в зависимости от углеродоёмкости производства.

Российские компании-представители различных секторов из списка ТУР, тесно связанных через торговлю с ЕС, осознавая экономический риски заблаговременно начали предпринимать различные меры в области устойчивого развития. Многие крупные компании активно развивали область нефинансовой отчетности. Для данной цели начали применять международные стандарты в сфере ESG-отчетности, такие как GRI⁵⁶, TCFD⁵⁷, ISSB⁵⁸, IR⁵⁹ а также климатические руководства: SASB⁶⁰ и CDP⁶¹. Многие крупные российские компании, такие как РУСАЛ, Роснефть, РЖД и другие являются участниками Глобального договора ООН по исполнению ЦУР⁶², другие (Газпром, Росатом и т.д.) ежегодно публикуют отчетность в области устойчивого развития^{63,64}.

Для отечественных компаний стало важным получение международных рейтингов, среди которых можно выделить S&P⁶⁵, MSCI⁶⁶,

⁵⁴ Ракинцев Д.С. Функционирование мировых углеродных рынков и формирование политики климатического регулирования в России // Проблемы современной экономики. — 2022. — Т. 83, № 4 — С. 183–185.

⁵⁵ Трансграничное углеродное регулирование: часто задаваемые вопросы. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.sgs.ru/ru-ru/news/2022/03/transgranichnoe-uglerodnoe-regulirovanie-co2-chasto-zadavaemoe-voprosy> (Дата обращения: 22.07.2022)

⁵⁶ Сайт GRI. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.globalreporting.org/> (Дата обращения: 27.01.2023)

⁵⁷ Сайт TCFD. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.fsb-tcfd.org/> (Дата обращения: 27.01.2023)

⁵⁸ Сайт IFRS. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.ifrs.org/groups/international-sustainability-standards-board/> (Дата обращения: 27.01.2023)

⁵⁹ Integrated Reporting Framework. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.integratedreporting.org/resource/international-ir-framework/> (Дата обращения: 27.01.2023)

⁶⁰ Сайт SASB. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.sasb.org/> (Дата обращения: 27.01.2023)

⁶¹ Сайт CDP. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.cdp.net/en> (Дата обращения: 27.01.2023)

⁶² Никоноров С. М., Папенов К. В., Талавринов В. А. Инновационные подходы перехода бизнеса к ESG-стратегиям (российский и зарубежный опыт) // Стратегирование: теория и практика. 2022. Т. 2. № 1. С. 49–56. <https://doi.org/10.21603/2782-2435-2022-2-1-49-56>

⁶³ Росатом. Устойчивое развитие. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://rosatom.ru/sustainability/> (дата обращения: 26.12.2022)

⁶⁴ Газпром. Отчет Группы Газпром о деятельности в области устойчивого развития за 2021 год. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://sustainability.gazpromreport.ru/2021/> (дата обращения: 26.12.2022)

⁶⁵ S&P Global ESG Scores. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.spglobal.com/esg/solutions/data-intelligence-esg-scores> (Дата обращения: 27.01.2023)

⁶⁶ ESG Ratings & Climate Search Tool. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.msci.com/our-solutions/esg-investing/esg-ratings-climate-search-tool> (Дата обращения: 27.01.2023)

Sustainanalytics⁶⁷ и др. Помимо того, в России началось создание своих ESG-рейтингов, например, от РСПП⁶⁸, RAEX⁶⁹, ДаСтратегии⁷⁰. Также, в России появились процедуры независимого аудита нефинансовой отчетности. На данный момент, российским компаниям можно заверить отчетность в РСПП, а также в Общественной палате РФ. Также, указанные выше группы по углеродному регулированию в различных государственных органах начали активно работать над административными мерами против двойного углеродного налогообложения. Таким образом, устойчивое развитие в области устойчивого развития и ESG, в период с 2016 по 2021 год, получило существенное прикладное развитие.

Однако, политический кризис февраля 2022 года скорректировал развитие концепции устойчивого развития на государственном уровне и на уровне бизнеса. Например, начали звучать даже такие кардинальные меры, как предложение комитета Государственной Думы по экологии о выходе из Парижского соглашения, аргументированного тем, что отказ от обязательств будет приносить прибыль порядка 3 млрд. долл. в год⁷¹. Однако, глава Минприроды А. Козлов, раскритиковал данную идею, и отметил, что Россия заинтересована в выполнении своих обязательств в регулировании климата в качестве главного экологического донора⁷². Также, существенным фактором изменение вектора российского устойчивого развития стало то, что торговый оборот компаний, производящих товары из списка ТУР, такие как удобрения, сталелитейная продукция и цемент из России уменьшают товарооборот с ЕС

⁶⁷ Morningstar| Sustainanalytics. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.sustainalytics.com/esg-ratings> (Дата обращения: 27.01.2023)

⁶⁸ ESG индексы и рейтинги РСПП в области устойчивого развития. Сайт РСПП. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://rspp.ru/activity/social/indexes/> (Дата обращения: 27.01.2023)

⁶⁹ Новый ESG-рэнкинг. Сайт RAEX. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://raex-rr.com/esg/ESG_rating (Дата обращения: 27.01.2023)

⁷⁰ Сайт ДаСтратегия. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://da-strateg.ru/> (Дата обращения: 27.01.2023)

⁷¹ Эко-дело: в ГД предложили отказаться от Парижского соглашения. Сайт Известия. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://iz.ru/1335953/valerii-voronov/eko-delo-v-gd-predlozhili-otkazatsia-ot-parizhskogo-soglasheniia> (Дата обращения: 23.01.2023)

⁷² Глава Минприроды назвал пиаром идею выхода России из Парижского соглашения по климату. Сайт Форбс. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.forbes.ru/biznes/467101-glava-minprirody-nazval-piarom-ideu-vyhoda-rossii-iz-parizskogo-soglasenia-po-klimatu> (Дата общения 23.01.2023)

примерно в 3 раза⁴⁹. Также, отечественные компании были исключены из международных рейтингов устойчивого развития. Громче начали звучать голоса тех людей, кто оценивал Зеленую сделку как лоббистский проект, представляющий интересы производителей, стали и удобрений в Европе, а не заботу об экологическом состоянии мира.

Говоря об описанных препятствиях торговли со стороны ЕС, стоит отметить, что любые санкции носят временный характер, и отказ от политики устойчивого развития грозит потерей европейского рынка в будущем, уже без отсутствия политических ограничений.

Также, 2022 год ознаменовал собой изменение политико-экономического курса с западного на южный и восточный. Приоритетными стали отношения со странами БРИКС, в первую очередь, с Китаем, Индией и Ираном. Несмотря на то, что на данный момент безусловным лидером в устойчивом развитии является ЕС, изменение политико-экономического курса не только не уменьшает целесообразность приверженности курса УР, но и открывает для России новые перспективы.

Во-первых, Китай – главный стратегический партнер России, в настоящее время, реализует взаимосвязанные проекты «экологической цивилизации» и «нового шелкового пути»⁷³. Протокол о взаимной интеграции был подписан Россией в ещё в 2015 году⁷⁴. Также, Китай, согласно прогнозу Международного Энергетического Агентства (IEA), станет лидером в области использования возобновляемых источников энергии⁷⁵. Следовательно, России для занятия лидирующего положения во взаимной интеграции ЕАЭС и КНР в рамках «нового шелкового пути» необходимо ускорять темпы устойчивого развития в сферах государственного управления, бизнеса и науки, чтобы стать

⁷³ Вороновский И.Б., Ашмарина Т.И., Цзян Ч., Сяо Я. Вектор развития экологической цивилизации в КНР // Право и управление. №10, 2022

⁷⁴ Simonov, Eugene & Glazyrina, Irina. Ecological Civilization of China: new challenges or new opportunities for Russia? (In Russian: «Экологическая цивилизация» Китая: новые вызовы или новые перспективы для России?). ЕКО (Journal of Russian Academy of Science on Sustainable Development). P. 53-72, 2015

⁷⁵ International Energy Agency (IEA). Renewables 2022. Analysis and forecast to 2027. 159 p., 2022

для всех стран-участниц проекта новой Европой, т.е. поставщиком идей, управленческих проектов и технологий в области УР, а не занять незавидное место «сырьевого придатка» и «свалки для отходов».

Во-вторых, согласно Парижскому соглашению, возможно осуществление борьбы с выбросом парниковых газов с помощью, так называемых, **нетто-нулевых технологий**. Нетто-нулевые технологии предусматривают косвенные инструменты уменьшения загрязнения, например, инвестиции в технологии захвата углекислого газа из атмосферы или создание углеродных офсетов, например, лесных насаждений, территорий, восстановленных от эрозии, карбоновых полигонов. Потенциал развития данных технологий в России огромен, по данным экономической оценки Росстата стоимость природных ресурсов в составе национального богатства страны составляет около 19%⁷⁶. Система торговли квотами ЕС предусматривает только прямые инструменты борьбы с эмиссией углекислого газа, так как на общеевропейской бирже торгуются квоты только на прямые выбросы CO₂. Следовательно, для того, чтобы избежать дополнительного налогообложения в рамках ТУР была бы необходима тесная интеграция будущего рынка торговли углеродными квотами в РФ, что могло бы существенно снизить потенциал природных пространств России по поглощению парниковых газов. При снижении товарооборота продукции с ЕС из списка ТУР, существуют наибольшие перспективы включения нетто-нулевых технологий в формирующийся российский углеродный рынок, а также для интеграции будущего углеродного рынка РФ с углеродным рынком КНР (ETS China), созданным в 2021 году.

Судя по заявлениям наших властей о приверженности выполнения Парижских соглашений и развитию различных областей УР на федеральном и региональном уровнях, а также продолжению ESG-деятельности крупных

⁷⁶ Россия в цифрах. 2020: Краткий статистический сборник / Росстат. М.: 2020, стр. 233

российских компаний, можно сделать вывод, что правительство и бизнес понимает риски от отказа политики устойчивого развития.

В следующих разделах первой главы рассмотрим ключевые идеи и понятия, которые сложились в науках на стыке экономики и экологии, а также их фактический и потенциальный вклад в реализацию концепции устойчивого развития на различных пространственных уровнях (глобальном, федеральном, региональном и локальном) для государства и бизнеса в России. Согласно заявленной теме кандидатской диссертации, дополнительный акцент будет сделан на вкладе почвенных ресурсов. Несмотря на то, что традиционно почвы связывают, в основном, с сельскохозяйственным бизнесом, взгляд через призму устойчивого развития позволяет увидеть, что почвы могут представлять большой политико-экономический интерес для государства. Для многих компаний, например, работающих в области атомной энергетики или нефтяной отрасли могут послужить объектом для развития новых ESG-проектов.

В настоящее время, основными фундаментальными понятиями в области устойчивого развития на стыке экономики и экологии являются: природный капитал, биоразнообразие и экосистемные услуги, а также экстерналии. В следующих разделах подробно рассмотрим современную терминологию, кратко коснемся истории развития данных понятий и прикладную составляющую в сфере политического управления и бизнеса. В первую очередь, рассмотрим понятие природного капитала.

1.2. Понятия природный капитал и экосистемные услуги в концепции устойчивого развития

На данный момент, природный капитал проблематично рассматривать в рамках политэкономии и современной экономической теории в качестве части экономического капитала (совокупности производственной, денежной и товарной формы). Зачастую природный капитал не оценивается или оценивается очень узко в качестве предмета труда – части производственной

формы экономического капитала. Однако, за последние три десятилетия произошло значительное расширение понятия природного капитала.

Несмотря на отсутствие устоявшегося термина, **природному капиталу** можно дать следующее определение: *это совокупная стоимость следующих компонентов: возобновляемых и невозобновляемых исчерпаемых природных ресурсов, а также экосистем, которые предоставляют поток ценных для человека экосистемных услуг*^{22,77,78}. Важно отметить, что понятие природного капитала подразумевает ценность ресурсов для человека, т.е. при его рассмотрении используется антропоцентрический подход.



Рисунок 2. Структура природного капитала

⁷⁷ Экосистемные услуги России: Прототип национального доклада. Т. 1. Услуги наземных экосистем / Ред.-сост. Е.Н. Букварева, Д.Г. Замолодчиков. – М.: Изд-во Центра охраны дикой природы, 2016. – 148 с. ISBN: 978-5-93699-080-9.

⁷⁸ Costanza, R., Daly, H.E., 1992. Natural capital and sustainable development. Conservation Biology 6, 37–46.

Также, природный капитал можно **классифицировать по критерию собственности** природных ресурсов и экосистемных услуг. Они могут быть частными (арендуемыми), государственными (арендуемыми), общественными²².

Относительно сохранения природного капитала и устойчивого развития общества, основанного на его поддержании, в 1970-1980-х годах возникло две точки зрения, о которых и в настоящее время ведется дискуссия⁷⁹. Д.М. Хартвик (1977)⁸⁰ и Р. Солоу (1986)⁸¹ стали прародителями концепции **«слабой» устойчивости**. Ученые, работавшие в области экологической экономики, такие как уже упоминавшиеся Н. Джорджеску-Реген (1979)⁸², Х. Дэйли (1992)⁸³, Г. Дэйли (1997)⁸⁴, а также Р. Костанза (1992)⁸⁵ сформировали подход **«сильной» устойчивости**, который подразумевает, что природный и технологический капитал взаимодополняемы, но не взаимозаменяемы.

Таким образом, идеи «слабой» и «сильной» устойчивости получили своё развитие в качестве двух альтернатив техногенному типу развития. Обе концепции подразумевают регуляцию рынка, однако концепция «слабой» устойчивости подразумевает «мягкую» регуляцию с помощью создания «зелёных рынков», на которые необходимо влиять с помощью инструментов экономического регулирования, например, платы за загрязнение (существующие рынки ETS EU, ETS China и т.д.). Концепция сильной устойчивости подразумевает создание с жесткой регуляцией изъятия

⁷⁹ Jacobus A. Du Pisani. Sustainable development – historical roots of the concept, *Environmental Sciences*, 3:2, 83-96, 2006. DOI: 10.1080/15693430600688831

⁸⁰ Hartwick, J.M. Intergenerational equity and the investing of rents from exhaustible resources. *American Economic Review* 67, 972–974, 1977.

⁸¹ Solow, R.M. On the intergenerational allocation of natural resources. *Scandinavian Journal of Economics* 88, 141–149, 1986.

⁸² Georgescu-Roegen, N. Comments on the papers by Daly and Stiglitz. In: Smith, V.K. (Ed.), *Scarcity and growth reconsidered*. John Hopkins University Press, Baltimore, pp. 95–105, 1979.

⁸³ Daly, H.E., 1992. Allocation, distribution, and scale: towards an economics that is efficient, just, and sustainable. *Ecological Economics* 6, 185–193.

⁸⁴ Daily, G.C. *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Island Press, Washington, DC., 1997.

⁸⁵ Costanza, R., Daly, H. Natural capital and sustainable development. *Conservation Biology* 6, 37–46, 1992.

ресурсов. Помимо того, «слабая» устойчивость подразумевает изменение потребительского поведения, исходя из минимизации рисков для потребления будущих поколений, в то время как концепция «сильной» устойчивости подразумевает необходимость нормативного ограничения потребления.

Также, необходимо отметить, что роль исчерпаемых и неисчерпаемых ресурсов в производстве в качестве источников сырья и энергии хорошо изучена и достаточно очевидна, однако роль экосистем в природном капитале ещё не установлена окончательно. Для **решения проблемы экономической оценки природного капитала есть несколько препятствий:**

- Во-первых, *совмещение терминологии из разных областей знаний*, таких как экономика и ряда естественных наук: экологии, биологии, почвоведения и т.д.
- Во-вторых, *отсутствие единого понимания природного капитала как запаса*, который может формироваться и поддерживаться, увеличиваться и деградировать. Частое смешивание с биотическими, абиотическими потоками и экосистемными услугами.
- В-третьих, *сложность применения единой концептуальной рамки природного капитала для разных типов экосистем*: морских и наземных; искусственных и естественных.
- В-четвертых, *сложность применения единой концептуальной рамки природного капитала для земель с разным типом хозяйственной деятельности*: сельскохозяйственных, ООПТ, лесных и т.д.

Далее рассмотрим терминологию и классификацию экосистемных услуг.

Как было сказано выше, природный капитал и экосистемные услуги являются неразделимыми понятиями. **Экосистемные услуги (ЭС)** – это выгоды, которые человек получает от использования природного капитала.

Одна из первых классификаций экосистемных услуг была представлена в классическом исследовании Р. Констанзы «Стоимость мировых экосистемных услуг и природного капитала» (1997)⁴⁹. Констанза и соавторы сформировали экосистемный подход к классификации экосистемных услуг. Экосистемные услуги, согласно этому подходу, являются производными совокупности природного капитала, инфраструктуры и человеческого капитала. Так, Констанзой было выделено 16 экосистем и 17 экосистемных услуг, таких как регулирование климата, формирование почвы, переработка отходов и т.д.

В 2000-х годах сформировались три наиболее общепринятые классификации экосистемных услуг.

1. Классификация, приведенная в докладе **МА – Millennium Assessment (2005)**⁸⁶. Так как в данном исследовании для оценки экосистемных услуг почв используется именно эта классификация, опишем её более подробно. В неё входит четыре вида экосистемных услуг:

- Обеспечивающие услуги (provisioning services) – прямое обеспечение людей материальными ресурсами (продуктами питания и чистой водой, сырьем, медицинскими ресурсами).
- Регулирующие услуги (regulating services) – различные механизмы регулирования экосистемами показателей окружающей среды (чистоты воздуха, концентрации углекислого газа, природных катастроф и т.д.)

⁸⁶ Millennium Ecosystem Assessment. 2005. Ecosystems and Human Well-being. UNEP, Island Press, Washington DC, 2005.

- Поддерживающие услуги (habitat or supporting services) – обеспечение природой мест обитания для животных и генетического разнообразия.
- Культурные услуги (cultural services) – полезные для человека нематериальные блага (эстетическое наслаждение природой, объект научного исследования, объекты важные для религий и культов).

2. Классификация **ТЕЕВ** – The Economics of Ecosystems and Biodiversity (2010)⁸⁷. Отличие классификации ТЕЕВ от МА заключается в том, что поддерживающие услуги не выделяются, а относятся к экологическим процессам. Стоит отметить, что в рамках проекта ТЕЕВ, было проведено два этапа оценки экосистемных услуг России, методология и результаты которых будут более подробно описаны во второй главе^{77,88}.

3. Классификация Европейского агентства по охране окружающей среды – **CICES**⁸⁹, первая версия которой датируется 2012 годом основывается на двух предыдущих классификациях.

В целом, можно сказать, что на выделении четырех экосистемных услуг, с незначительными оговорками, достигнут консенсус.

Разобрав основные теоретические аспекты природного капитала и экосистемных услуг, в дальнейших разделах данной главы сконцентрируемся на рассмотрении природного капитала почв и экосистемных услуг, которые человек получает от его использования.

⁸⁷ ТЕЕВ Foundations. ‘The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundations’. Kumar P (ed), Earthscan, London – 2010 – 410p.

⁸⁸ Экосистемные услуги России: Прототип национального доклада. Т. 2. Биоразнообразие и экосистемные услуги: принципы учета в России / Сост. Е.Н. Букварева, Т.В. Свиридова. – М.: Изд-во Центра охраны дикой природы, 2020. – 252 с. ISBN: 978-5-93699-105-9.

⁸⁹ Haines-Young R., Potschin M. Common international classification of ecosystem services (CICES) V. 5.1. Guidance on the Application of the Revised Structure / Fabis Consulting Ltd. – 2018. – p. 53.

1.3. Природный капитал почв

Говоря о природном капитале почв, необходимо отметить, что почва является важнейшей переходной биокосной оболочкой, которая является важнейшим компонентом наземных экосистем. Также, почва через различные виды потоков (физические, химические, биологические) напрямую контактирует с водными экосистемами суши и морскими экосистемами. В целом, выступает звеном взаимодействия между геологическими породами, живым веществом, атмосферой и гидросферой. Важность почв и необходимость устойчивого управления почвенными ресурсами была отмечена ни раз, как в нашей стране, так и зарубежом^{90,91}.

В данном исследовании **природный капитал почв** понимается как совокупность почвенных свойств, которые обеспечивают человека экосистемными услугами⁹². Почвенные свойства являются основным предметом рассмотрения такой науки как почвоведение, в рамках которой они изучены достаточно глубоко.

Почва – это сложная система, состоящая из четырех фаз: твердого вещества, воды, газов и живых организмов и характеризуется тремя видами свойств:

- Физические: плотность, влажность, пористость;
- Химические: рН, емкость катионного обмена (ЕКО), засоление;
- Биологические: количество органического вещества (гумуса), обильность корневой массы (ризосферы), наличие определенных микро и макроорганизмов.

Все почвенные свойства связаны между собой, а также связаны с почвенными компонентами, такими как глина, песок и ил, через почвенные

⁹⁰ Устойчивое управление почвенными ресурсами в Евразийском регионе / под ред. С. А. Балюка, Г. М. Хасанхановой, П. В. Красилюникова. — Рим: ФАО, 2021. — XII; 123, [1] с.: ил. DOI <https://doi.org/10.4060/cb5827ru>

⁹¹ Jón Órvar G. Jónsson, Brynhildur Davíðsdóttir, Classification and valuation of soil ecosystem services, *Agricultural Systems*, Volume 145, 2016, P. 24-38, ISSN 0308-521X, <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.02.010>.

⁹² Estelle Dominati, Murray Patterson, Alec Mackay, A framework for classifying and quantifying the natural capital and ecosystem services of soils, *Ecological Economics*, Volume 69, Issue 9, 2010, Pages 1858-1868, ISSN 0921-8009, <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2010.05.002>.

процессы. Почвенные свойства влияют на почвенные процессы, одновременно являясь результатом их деятельности. Именно совокупность почвенных свойств, компонентов и процессов в разных горизонтах (поверхностных, средних и глубоких) помогает классифицировать почвы. На данный момент, в России широко применяются три классификации:

- WRB (World Reference Base for Soil Resources)⁹³;
- Классификация почв России 2004 года⁹⁴;
- Классификация почв СССР 1977 года⁹⁵.

Наиболее применимой в мире, в настоящее время, является классификация WRB – это международная стандартная таксономическая система классификации почв, одобренная Международным союзом почвоведов (IUSS), заменившая предыдущую классификацию почв Продовольственной и сельскохозяйственной организации (ФАО). Согласно данной классификации, выделяется 32 реферативных почвенных группы, которые делятся на ещё меньшие классификационные единицы, что демонстрирует широкое почвенное биоразнообразие.

В настоящее время, осуществляется большое количество исследований, посвященных эколого-экономической оценке почв. Данные исследования посвящены не только вопросам почвенного плодородия, но и влиянию почв на регуляцию климата,⁹⁶ а также оценке экономических выгод от снижения почвами антропогенного загрязнения.⁹⁷

⁹³ IUSS Working Group WRB. 2022. World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th edition. International Union of Soil Sciences (IUSS), Vienna, Austria.

⁹⁴ Классификация и диагностика почв России / Л. Л. Шишов, В. Д. Тонконогов, И. И. Лебедева, М. И. Герасимова. — Ойкумена Смоленск, 2004. — 341 с.

⁹⁵ Егоров В.В., Иванова Е.Н., Фридланд В.М. Издание: Колос, 1977 г., 225 стр., УДК: 631.44(47+57) (031)

⁹⁶ Строков А.С., Макаров О.А., Куделин В.Н. и др. Модели взаимосвязи между экономическими, почвенными и климатическими показателями в сельском хозяйстве Липецкой области// Проблемы агрохимии и экологии, № 2, с. 23-30, 2020

⁹⁷ Kamanina Inna Z., Badawy Wael M., Kaplina Svetlana P. et. al. Assessment of Soil Potentially Toxic Metal Pollution in Kolchugino Town, Russia: Characteristics and Pollution// LAND, v. 12, № 2, p. 1-16, 2023

Отдельно почвенные классификации, а также почвенные свойства и процессы не могут быть применены для экономической оценки почвенного природного капитала. Для данной цели необходимо рассматривать характер землепользования территорий. То есть, применить антропогенный подход, определяя какие почвенные свойства и процессы формируют полезные для человека экосистемные услуги.

Процесс формирования классификации экосистемных услуг почв начался одновременно с началом составления общих классификаций, описанных выше, однако не завершен и сейчас. Основываясь на гипотезе о том, что экосистемные услуги почв неотделимы от почвенного природного капитала вернемся к тому, что он, как и любой другой капитал, может формироваться, поддерживаться, а также деградировать.

В первую очередь опишем **процессы, которые формируют и поддерживают почвенный капитал**. Пользуясь классификацией МА, их можно отнести к **поддерживающим услугам**, а с точки зрения ТЕЕВ, они будут относиться к **средообразующим (habitat) экологическим процессам**. Таким образом, выделим **четыре поддерживающие почвенные услуги**:

1. **Круговорот питательных веществ.** Цикл прохождения и трансформации химических веществ между биотическими и абиотическими компонентами почв, которые формируют почвенные процессы.
2. **Круговорот воды.** Физический процесс, который является движущей силой формирования и развитие почвы. Благодаря движению почвенной влаги происходит разрушение структур, перенос питательных веществ, ускоряются и замедляются биологические процессы. Следовательно, движение водной фазы почв вызывает многие преобразования.
3. **Биологическая активность почв.** Почва является наиболее заселенной средой обитания по количеству организмов на

площадь вещества и обеспечивает средой обитания более миллиона видов микро, мезо и макроорганизмов и местом протекания жизненных циклов. Биологическая активность имеет огромное значения для формирования структуры почвы и обогащения её органическими веществами.

4. **Почвообразование.** Совокупное влияние физических, химических, биологических и антропогенных процессов на почвообразующий материал (геологическую породу). Помимо выделенных групп процессов на почвообразование влияют пять внешних факторов, которые были выделены великим русским почвоведом В.В. Докучаевым: исходный материал, климат, рельеф, растительность и время.

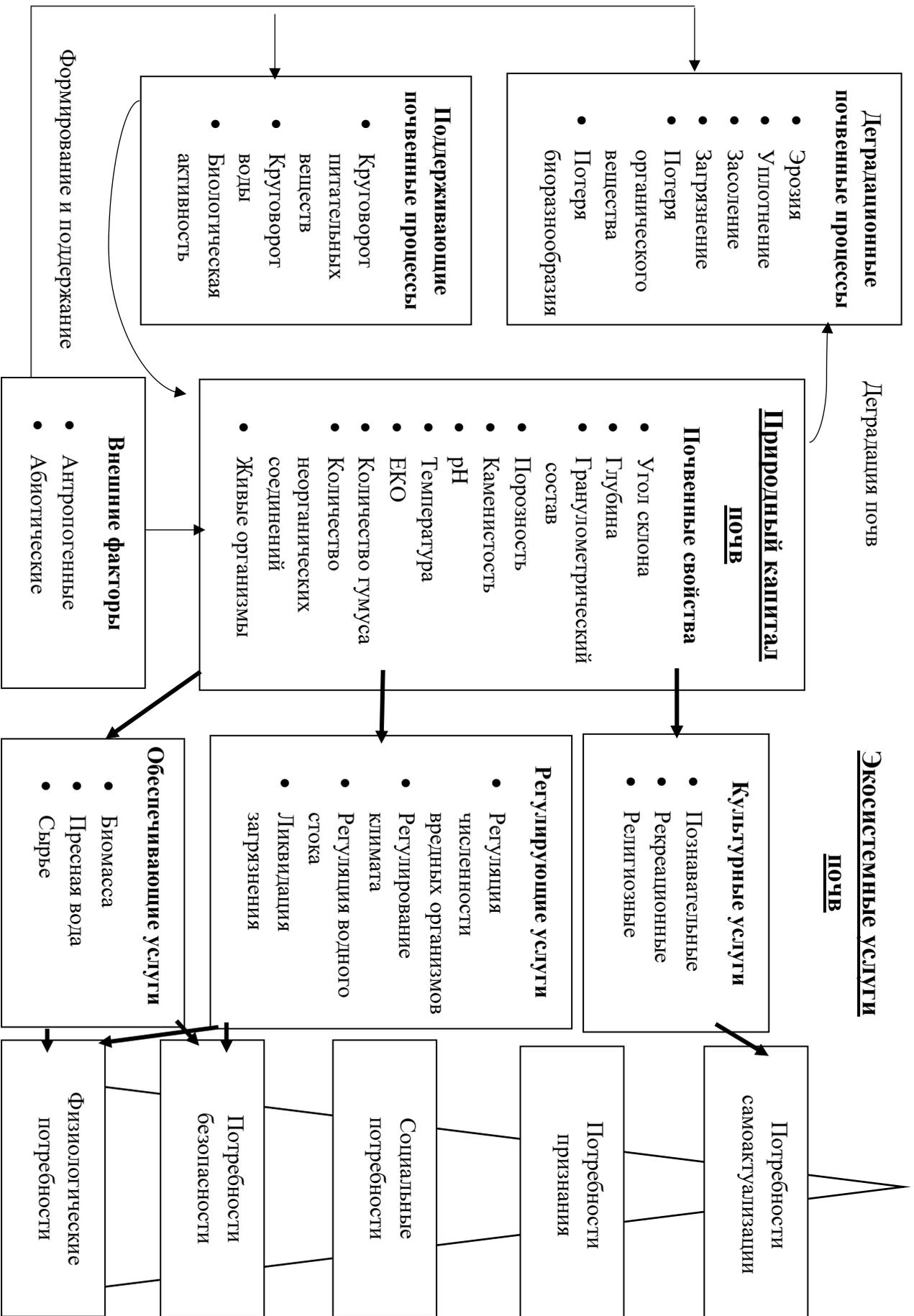
Именно выделенные выше вспомогательные группы процессов (поддерживающие экосистемные услуги) могут быть полезны для человека, т.е. формировать почвенные регулирующие, обеспечивающие и культурные экосистемные услуги. Иногда между экосистемными процессами и экосистемными услугами выделяют промежуточный этап – **экосистемные функции** – функции, которые могут быть полезны человеку. Тонкая грань между экосистемной функцией и услугой может проследиваться в использовании или неиспользовании человеком этих функций и получения от них выгод. Например, чернозем может обладать высокой функцией плодородия, однако человек может её не использовать и не получить экосистемную услугу.

Помимо процессов поддерживающих и формирующих природный капитал почв (поддерживающих экосистемных услуг, МА), существуют и почвенные процессы, которые приводят к деградации почвенного природного капитала, так называемые **экосистемные антиуслуги**. Можно выделить три группы деградационных процессов:

- *Физические*: эрозия (потеря почвенного материала); уплотнение; образование поверхностной корки
- *Химические*: засоление, выщелачивание, окисление, загрязнение
- *Биологические и антропогенные*: выпас скота, чрезмерное земледелие

Все представленные выше процессы снижают круговорот питательных веществ и биологическую активность почв, ухудшают круговорот воды, следовательно, приводят к снижению потоков экосистемных услуг.

Рисунок 3. Природный капитал и экосистемные услуги почв



Перейдем к описанию экосистемных услуг почв, которые напрямую приносят для человека экономические выгоды. К **регулирующим экосистемным услугам почв** относятся:

1. **Регуляция численности паразитических и болезнетворных организмов.** В любой нормально функционирующей экосистеме, в том числе и в почвенной, живыми организмами поддерживается взаиморегуляция численности. Примером получения человеком выгоды от данной услуги может служить выращивание урожая или снижение распространения эпидемий.
2. **Регулирование климата.** Почвы значительно влияют на климат путем секвестрации углекислого газа и регулирования выбросов других парниковых газов, стабилизируя химический состав атмосферы.
3. **Регуляция водного стока.** Почвы служат естественным водным буфером, снижая частоту засух и наводнений.
4. **Снижение последствий антропогенного загрязнения.** Почвы зачастую подвергаются антропогенному загрязнению разной природы: физическому (тепловому), химическому (тяжелыми металлами) и физико-химическому (радиоактивному). Таким образом, почвы снижают негативное воздействие на человеческое здоровье, сельскохозяйственных растений и животных, а также на качество грунтовых вод.

К **обеспечивающим услугам почв** относят:

1. **Обеспечение биомассой.** Благодаря почвам люди получают важнейшие продукты, без которых существование человечества невозможно: пищу, древесину, другие виды биологического сырья, источники энергии.

- 2. Обеспечение пресной водой.** Почвы являются резервуаром пресных вод, которые человек использует в различных хозяйственных целях.
- 3. Обеспечение абиотическим сырьем.** С древних времен люди используют глину и песок в качестве строительного материала. Также, из почв получают минералы, которые используют в качестве сырья для изготовления лекарственных средств.
- 4. Физическая среда.** Почвы обеспечивают физическое поддержание человеческой инфраструктуры, а также поддержание в вертикальном состоянии растений и жилищ животных.

Сделаем важное замечание, что регулирующие и обеспечивающие услуги сложены отдельными видами поддерживающих услуг (почвенными процессами), т.е. отдельные почвенные процессы и определяют количественные потоки регулирующих и обеспечивающих услуг (рисунок 3).

Также, выделим **культурные почвенные услуги**:

- 1. Познавательные услуги.** Почва является естественным биологическим, геологическим, а также археологическим архивом, чем обеспечивает людям получение полезных знаний.
- 2. Религиозные услуги.** Во многих древних культурах и мировых религиях, включая христианство, с почвой связано множество верований и проведение обрядов, таких как захоронение, которые обеспечивают людям духовную связь со своими предками.
- 3. Рекреационные услуги.** Почвы обеспечивают среду для некоторых видов отдыха, например, экотуризма. Многие люди посещают заповедники и другие ООПТ для знакомства с первозданной природой, а также могут наблюдать рукотворные памятники, связанные с почвой.

Таким образом, основываясь на литературных источниках и собственных исследованиях удалось выделить 15 групп экосистемных услуг почв. В последнем разделе данной главы разберем особенности методологии оценки общих и почвенных экосистемных услуг.

1.4. Механизм и методы оценки экосистемных услуг

Оценка экосистемных услуг может проводиться двумя путями: естественно-научным, основываясь на принципах термодинамики, и экономическим путем, концентрируясь на итоговой монетарной оценке⁹⁸. В данной работе будут рассмотрены все имеющиеся методы оценки, однако экосистемные услуги почв в условиях радиоактивного загрязнения будут оцениваться в экономической концептуальной рамке.

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. Формирования 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,

⁹⁸ Latawiec, Agnieszka & Rodrigues, Aline & Korys, Katarzyna & Medeiros, Bruna. (2022). Methodical Aspects of Soil Ecosystem Services Valuation. *Agricultural Engineering*. 26. 39-49. 10.2478/agriceng-2022-0004

например, по причине несовпадения границ политических субъектов и географических объектов. Не зря создаются такие организации как Каспийская шестерка – платформа сотрудничества между Россией, Азербайджаном, Турцией, Ираном, Грузией и Арменией⁹⁹ или организуется федеральный проект «Оздоровление Волги»¹⁰⁰.

Существует множество схожих схем оценки экосистемных услуг^{87, 89, 101}, где **этапы оценки экосистемных услуг представлены в виде взаимосвязанных блоков:**

- *Природный капитал и его потоки.* Первый блок схемы составляют экологические процессы в компонентах экосистем, которые создают экосистемные функции и экоуслуги.
- *Социально-экономический вклад.* Во втором блоке описываются экономические блага и их оценка количественном и монетарном эквиваленте.
- *Механизм компенсации.* В третьем блоке выделяется поставщик и получатель экосистемной услуги, описывается компенсаторный механизм выплат.

Стоит сказать, что последние шесть этапов оценки экосистемных услуг являются классическими²², однако первый этап выделяется впервые в связи со спецификой работы – радиоактивным загрязнением территорий.

Данный этап был выделен в связи с тем, что в следствие любого 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

⁹⁹ Каспийская Шестерка: Новая Платформа В Регионе. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://caspien.news/2021/09/30/каспийская-шестерка-новая-платформа/> (Дата обращения: 12.03.23)

¹⁰⁰ Федеральный проект «Оздоровление Волги». [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://projects/ekologiya/ozdorovlenie_volgi (Дата обращения: 12.03.23)

¹⁰¹ Jón Órvar G. Jónsson, Brynhildur Davíðsdóttir, Nikolaos P. Nikolaidis, Georgios V. Giannakis, Tools for Sustainable Soil Management: Soil Ecosystem Services, EROI and Economic Analysis, Ecological Economics, Volume 157, 2019, Pages 109-119, ISSN 0921-8009, <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.11.010>.

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, обеспечивающих 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, как было сказано выше, 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. Данное 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. Почвы также 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 составим схему оценки экоуслуг в условиях радиоактивного загрязнения территорий.

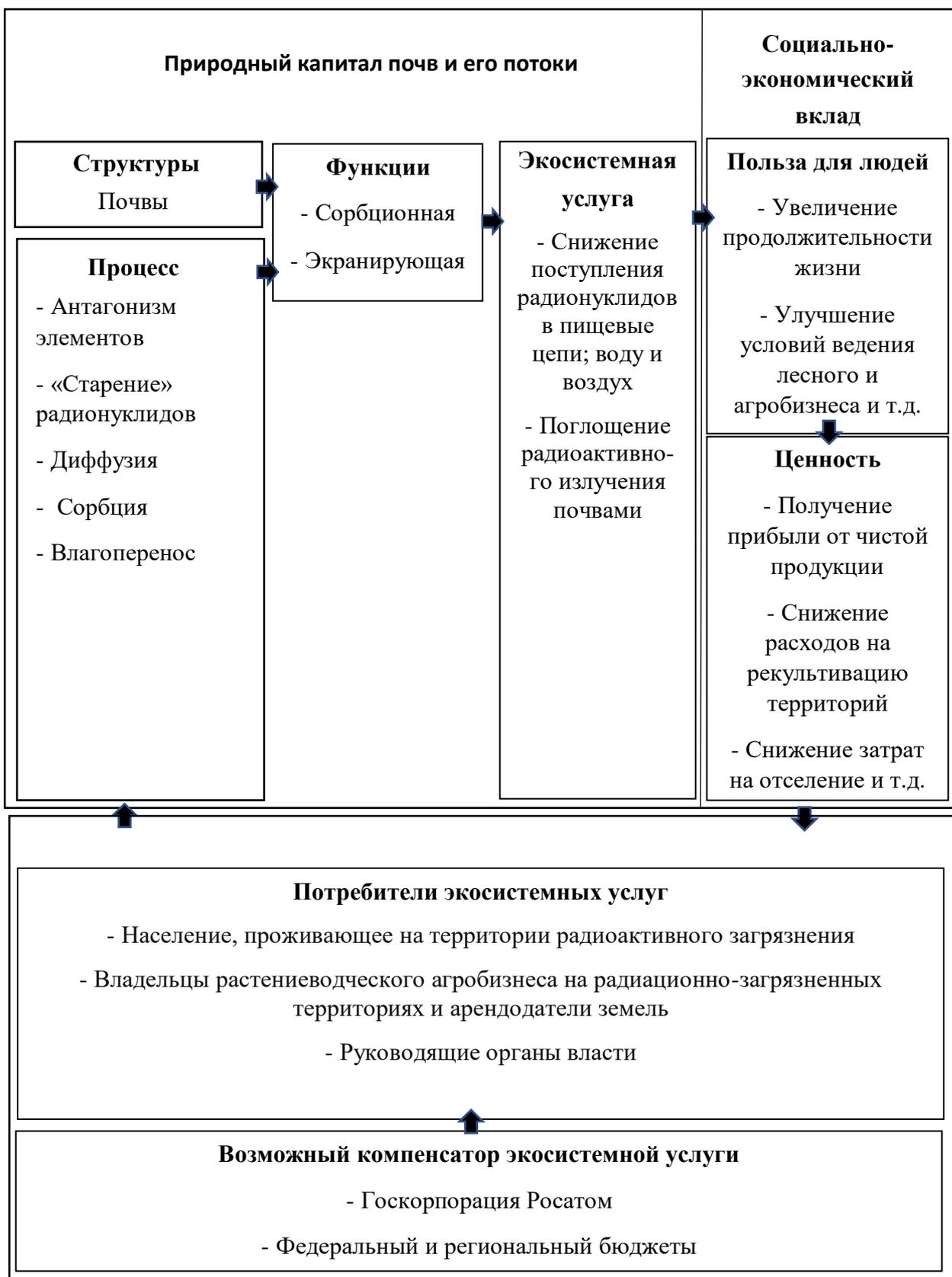


Рисунок 4. Этапы оценки природного капитала и экосистемных услуг в условиях радиоактивного загрязнения территорий

Если экосистемные функции обладают ценностью для людей, то они становятся экосистемными услугами, которую 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.

В последних разделах данной главы рассмотрим основные методы, которые применяются на разных этапах оценки экосистемных услуг.

После рассмотрения механизма экосистемной функции, можно переходить к определению ценности услуги, которая проводится следующими группами методов: экономическими, социокультурными, биофизическими и интеграционными^{102,103,104,105,106}. Приведем таблицы 1 и 2 для описания биофизических и социокультурных методов и более подробно разберем монетарные (экономические) методы оценки.

Таблица 1. Биофизические методы оценки экосистемных услуг

Название биофизических методов	Описание биофизических методов
Биофизическое моделирование	Составление моделей с учетом экосистемных факторов и процессов
Моделирование экосистемных услуг	Составление моделей экосистемных услуг совокупности экосистем с использованием ГИС-технологий

¹⁰² Конюшков, Д.Е. Формирование и развитие концепции экосистемных услуг: обзор зарубежных публикаций / Д.Е. Конюшков // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. – 2015. – Т.80. – С.26–49.

¹⁰³ Эколого-экономическая оценка радиоактивно загрязненных естественных и сельскохозяйственных земель Тульской области / Е.В. Цветнов, О.Б. Цветнова, Щеглов А.И., А.С. Рябчук // Вестник Моск. ун-та, почвоведение. – 2012. – Т.17, №3. – С.41–46.

¹⁰⁴ Soil function assessment: review of methods for quantifying the contributions of soils to ecosystem services / L. Greiner, A. Keller, A. Grêt-Regamey, A. Papritz // Land Use Policy. – 2017. – V.69. – p.224–237.

¹⁰⁵ 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. – 225 с.: ил. — ФГБНУ ВНИИРАЭ 249032, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км, 2021. — С. 158–162.

¹⁰⁶ Paula A. Harrison, Rob Dunford, David N. Barton et. al. Selecting methods for ecosystem service assessment: A decision tree approach, Ecosystem Services, Volume 29, Part C, 2018, Pages 481-498, ISSN 2212-0416, <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.09.016>.

Агентное моделирование	Симуляция процесса принятия решений, который является частью управления экосистемными услугами
Разработка моделей комплексной оценки	Совокупность двух методов, которые оценивают различные составляющие экосистемных услуг с целью стимуляции рационального природопользования и/или демонстрации объема экосистемных услуг
Составление цифровых карт	Использование ГИС-методов для пространственного отображения экосистемных услуг (объема аграрной продукции и т.д.)
Метод картирования простых матриц	Составление карты индикаторов экосистемных услуг для оценивания предложения экосистемных услуг, спроса на экосистемные услуги и баланса (разница между предложением и спросом). Индикаторы могут быть оценены, исходя из научных баз данных или знаний местных экспертов
Метод картирования сложных матриц	Соединение нескольких простых матриц с включением различных данных рассматриваемой территории из нескольких источников. Данный метод основывается на научных базах данных, экспертной оценке, а также информации от заинтересованных лиц

В ходе данного исследования применялись методы математического моделирования экосистемных услуг и метод составления цифровых карт. Более подробно их применение описано в главах 2 и 3.

Таблица 2. Социокультурные методы оценки экосистемных услуг

Название социокультурных методов	Описание социокультурных методов
Картирование предпочтений заинтересованных лиц	Совокупность широкой группы методов, направленная на составление карты, совмещающей локальные знания, оценки и предпочтения в области экосистемных услуг
Дискуссионное обсуждение сценария развития	Составление сценария использования экосистемных услуг и развития рассматриваемой территории, основанное на совместном обсуждении заинтересованных сторон
Нарративный анализ	Определение важности для людей экосистемных услуг, основанный на их историях и действиях
Дискуссионная оценка	Парадигма, предоставляющая алгоритм действий для комбинирования различных методов и техник, с помощью которых осуществляется взаимодействие ученых и других заинтересованных лиц, а также используется междисциплинарный научный подход
Оценка предпочтений	Анализ спроса на различные экосистемные услуги, предпочтений в использовании и поддержании экосистемных услуг без применения экономических оценок
Анализ публикаций в социальных сетях	Анализ фотографий пользователей социальных сетей для оценки культурных экосистемных услуг, основанный на предположении, что

Название социокультурных методов	Описание социокультурных методов
	пользователи снимают самые впечатляющие места.
Анализ фотографий	Метод анализа визуальных предпочтений людей, путем опроса. С помощью опроса определяется список экосистемных услуг наиболее ценных для человека на данной территории.
Исследование использования времени	Метод основан на опросе сколько времени люди готовы посвятить для улучшения качества или увеличения количества какой-либо экосистемной услуги

При оценке экосистемных услуг в условиях радиоактивного загрязнения социокультурные методы могут быть полезны в стадии дискуссии между заинтересованными сторонами по поводу важности данных экоуслуг, а также методов их компенсации. Далее рассмотрим экономические и интеграционные методы.

Перед тем как описать отдельные экономические методы оценки разберем как оценивается ценность экосистемных услуг с помощью экономического подхода (рис. 5).

Стоимость экосистемных услуг разделяется на используемую и неиспользуемую⁹¹. Используемая стоимость, в свою очередь, разделяется на три категории: стоимость прямого использования, стоимость непрямого использования, опциональная стоимость и определяются методом выявленных предпочтений (таблица 3).

Стоимость прямого использования может быть потребительской. Стоимость прямого использования имеют, в первую очередь, обеспечивающие услуги. Т.е., обеспечение почвами биомассой, пресной водой и абиотическими ресурсами могут быть оценены методами анализа рынков,

так как продовольственные товары, пресная вода и медицинские препараты, произведенные из глинистых минералов, имеют свою цену.

Непотребительскую стоимость, в первую очередь имеют культурные услуги. Например, религиозные и информационные услуги почв ценны для людей, но определить их экономическую стоимость вряд ли представляется возможным. Понятие стоимости непрямого (косвенного) условия, в первую очередь, относится к регулирующим услугам, которые предотвращают ущерб от засух или наводнений или от загрязнения сельскохозяйственной продукции тяжелыми металлами или радиоактивными элементами. Опциональная стоимость относится ко всем экосистемным услугам и означает саму возможность их применения.

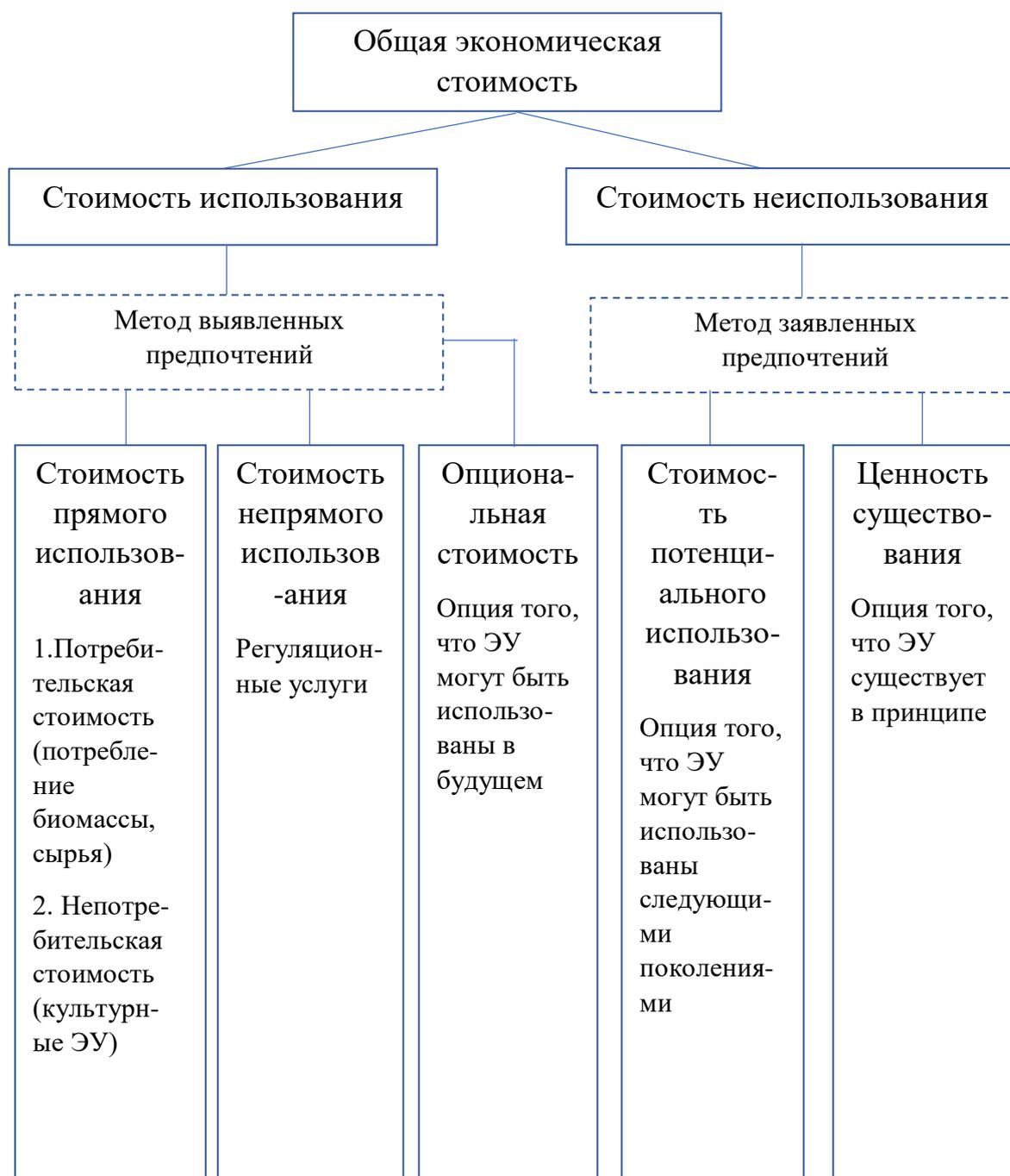


Рисунок 5. Виды экономической стоимости экосистемных услуг

Стоимость неиспользования разделяется на стоимость потенциального использования и ценность существования. Стоимость неиспользования также имеют все экосистемные услуги, ее можно оценить методом заявленных предпочтений (таблица 3). Стоимость потенциального использования экосистемных услуг схожа с опциональной, лишь с оговоркой, что экосистемные услуги могут быть использованы следующими поколениями.

Под ценностью существования понимается, что экосистемные услуги существуют в принципе.

Также, очень важным моментом является **проблема двойной оценки** экосистемных услуг. Как было описано выше, поддерживающие услуги – это средообразующие процессы, которые в разной комбинации составляют регулирующие и обеспечивающие услуги. Поэтому, суммировать стоимость регулирующих, либо обеспечивающих услуг с поддерживающими нельзя. Культурные услуги стоят особняком, потому что их стоимость в большей степени зависит не от природных процессов, а от личного и массового человеческого восприятия. Это все равно, что оценивать «Мона Лизу» по совокупной стоимости холста, красок и кистей, которыми она была написана.

Таблица 3. Экономические методы оценки экосистемных услуг

Название экономических методов	Описание экономических методов
Анализ эффективности затрат	Ранжирование различных стратегий достижения политической цели по эффективности необходимых затрат
Анализ «затраты-выгоды»	Ранжирование альтернативных стратегий на основе соотношения дисконтированных доходов и расходов или чистой стоимости
Методы анализа рынков (анализа разницы цен на аналогичные товары)	Обзор фактических цен на экосистемные услуги, установленные на рынках. Либо анализ, основанный на существующих рыночных ценах
Методы выявленных предпочтений	Цены на экосистемные услуги рассчитываются косвенно, исходя из покупок людей (покупок домов, путешествий)
Методы заявленных предпочтений	Семейство методов, основанных на опросе респондента. Респондент выбирает наиболее

	полезную экосистемную услугу или набор экосистемных услуг
Метод ресурсной ренты	Определение стоимости экосистемных услуг как остаточной после вычета других форм капитала из операционного профицита
Метод симулированной разницы	Оценка стоимости экосистемных услуг на основе определения предельной обменной стоимости
Метод определения функции затрат на производство товаров	Оценка стоимости использованных экосистемных услуг для производства товаров с использованием эконометрических методов
Метод переноса стоимости	Оценка стоимости экосистемных услуг путем рассмотрения изменения данной стоимости в разных условиях
Метод замещения затрат	Предполагает получение стоимости актива на основе текущей стоимости в сделке между независимыми сторонами, замены этого актива аналогичным активом в аналогичном состоянии

В данном исследовании применяется метод «затраты-выгоды». В первую очередь оценивается количество затрат, которые снижаются благодаря сорбционному и экранирующему действию почв. Также оцениваются затраты на восстановление и улучшения почвенного природного капитала и экосистемных услуг почв и сопутствующие выгоды, которые принесет рекультивация радиоактивно загрязненных территорий.

Таким образом, в первых параграфах данной главы была рассмотрена история развития концепции устойчивого развития и исследованы области её современного применения (1.1.). В следующих разделах было рассмотрено место природного капитала и экосистемных услуг в концепции устойчивого развития, а также структура и метода их оценки (1.2. – 1.4.). Отдельный акцент был сделан на почвенном природном капитале и экосистемных услугах почв.

ГЛАВА 2. Современный опыт оценки экосистемных услуг

В данной главе рассмотрим отечественный опыт оценки экосистемных услуг в масштабе страны, глобальную оценку экосистемных услуг, а также результаты оценки экосистемных услуг почв.

2.1. Оценка экосистемных услуг России

В настоящее время было выполнено два этапа оценки экосистемных услуг России в рамках аналитического проекта «ТЕЕВ-Russia» в 2013-2015 годах и в 2018-2019 годах^{87,88}. Была предпринята попытка оценки всех экосистемных услуг на территории Российской Федерации в балльных, естественно-научных и монетарных единицах. В разделе 2.1. опишем подходы, методы и результаты данной оценки.

В ходе реализации данного проекта, на основе трёх наиболее признанных классификаций (МА, ТЕЕВ и CICES v 4.3) было выделено три категории и более 20 отдельных экосистемных услуг:

1. **Продукционные:** заготовка древесины; недревесная продукция леса и других природных экосистем; охотничья продукция и т.д.
2. **Средообразующие:** услуги по регулированию климата и атмосферы; услуги по регулированию гидросферы; услуги по формированию и защите почв; услуги по регулированию биологических процессов.
3. **Информационные и духовно-эстетические:** генетические и биохимические ресурсы; эстетическое и познавательное значение природных систем; формирование природных условий для различных видов отдыха и т.д.

Приведённая классификация базировалась на синтезе двух основных подходов: получение человеком благ от функционирования экосистем и учет последствий для экосистем от антропогенного воздействия.

Исходя из информационных и методологических ограничений, оценка экосистемных услуг была выполнена только в естественно-научных единицах измерения 3 методами:

1. **Прямая количественная оценка.** Выполнялась по имеющимся открытым данным, например, по плотности фитомассы ($\text{кг}/\text{м}^2$) или по числу видов растений или птиц на единицу площади ($\text{ед.}/\text{км}^2$).
2. **Косвенная количественная оценка.** Была выполнена на основе различных комбинаций прямых количественных данных.
3. **Балльная оценка.** Использовалась при недостаточном объеме количественных данных

В ходе оценки было выделено три **индикатора** экосистемных услуг:

1. **Предоставленный объём** услуг, под которым понималась потенциальная возможность экосистем предоставлять полезные экосистемные функции. Данный показатель основывался на состоянии экосистем: степени нарушенности и интенсивности экологических потоков.
2. **Необходимый объём** экосистемной услуги был определен как количество, которое требуется для удовлетворения социально-экономических потребностей нынешнего и будущих поколений, проживающих на определенной территории.
3. **Используемый объём** определялся эквивалентно той пользе, которую люди получают от использования экоуслуг в настоящее время.

Для интеграции экосистемных услуг в экономику необходимо сопоставить экологические параметры (предоставленный объём) с социально-экономическими показателями. Это является достаточно сложной и объемной задачей, так как территория России очень разнообразна с точки зрения двух данных факторов.

На основе имеющихся открытых статистических данных был проведен анализ и была выявлена обратная взаимосвязь между распределением экосистемных услуг и показателями социально-экономического развития: плотности населения, объёма и структуры регионального ВВП, степени урбанизации, уровня жизни населения и т.д. Действительно, в северных регионах России все перечисленные выше социально-экономические показатели в основном ниже, чем в центральных и южных регионах, а площадь нетронутых экосистем напротив заметно выше.

Был сделан вывод, что соотношение предоставленного и необходимого объёмов экосистемных услуг не зависит от их категорий. В регионах, характеризующихся высокими социально-экономическими параметрами необходимый объем может превышать предоставленный, а в слабоосвоенных регионах будет наблюдаться обратная тенденция.

Помимо того, был сделан вывод, что соотношение предоставленного и используемого объёмов напротив будет зависеть от категории экосистемных услуг. Отмечается, что сверхэксплуатация возможна лишь для производственных услуг и рекреационных услуг. Возможно изъять чрезмерное количество рыбы или вырубить чрезмерный объём леса, что приведёт к нарушению восстановления популяции, но объём используемых средообразующих, культурных и информационных услуг не может быть выше предоставленного. Действительно, невозможно получить больше генетической информации из вида, чем в нем есть и заставить растения поглотить большее количество углекислого газа, чем предполагает их строение.

Также, различное объяснение может иметь недостаток и избыток экосистемных услуг. Как избыток, так и недостаток может быть обусловлен имеющимися технологическими ограничениями. Недостаток в услуге может наблюдаться из-за сверхэксплуатации (превышение используемого объёма над предоставленным), при этом используемый объём может быть меньше или

равен необходимому. Избыток в экосистемной услуге, в свою очередь, может наблюдаться из-за низкой потребности.

Кроме индикаторов экосистемных услуг, в ходе второй части проекта ТЕЕВ-Russia 2, были выделены и другие индикаторы:

1. **Индикатор количества экосистемных активов:** *площадь природных экосистем*

2. **Индикаторы качества экосистемных активов. Показатели функционирования экосистем**

2.1. *Степень трансформированности территорий:* доля площади территорий, трансформированных человеком (пашня и урбанизированные зоны)

2.2. *Фрагментированность природных экосистем:* отношение периметра к площади участков природных экосистем; среднее расстояние между участками экосистем

2.3. *Фитомасса и продуктивность:* суммарная плотность фитомассы (кг/м²); сухой вес и чистая продукция (кг С/м²/год)

Показатели биоразнообразия:

2.4. *Показатели видового богатства птиц:* число видов птиц в квадрате; доля числа отмеченных видов птиц в квадрате от общего числа видов в экорегионе (%)

2.5. *Индексы «краснокнижных» видов птиц:* число видов птиц в квадрате; доля числа отмеченных видов птиц в квадрате от общего числа видов в экорегионе (%); категория редкости птиц

2.6. *Суммарный индекс разнообразия птиц:* интеграция индексов 2.4 и 2.5

2.7. *Индикаторы степени синантропизации населения птиц* (приспособленность жизни рядом с человеком): локация в гнездовой сезон; кормовая база; места устройства гнезд; оседлость

2.8. *Число видов сосудистых растений на 100 тыс. км²*

2.9. *Число видов сосудистых растений в локальных флорах* (для территории субъектов РФ)

После уточнения оценки экосистемных услуг в естественно-научных единицах, выполненной в первой части доклада, с помощью методов математической статистики, был проведён анализ взаимосвязи между приведёнными выше индикаторами экосистемных активов и климатических условий: *среднегодовой температуры и количества осадков* (таблица 1). Анализ взаимосвязи производился на основе ГИС-данных и фактических данных биологических экспедиций с помощью статистических методов в трёх пространственных масштабах:

1. Квадраты 50 x 50 км в пределах европейской территории России (ЕТР).
2. Средние значения для экологических регионов, рассчитанные по квадратам 50 x 50 км.
3. Средние значения для субъектов ЕТР по квадратам 50 x 50 км.

Также, зависимости были выявлены для групп природных зон, объединённых по критерию близости географического положения (южные и северные), а также по критерию трансформированности (слаботрансформированные и сильнотрансформированные).

Таблица 4. Корреляционные значения между индикаторами экосистемных активов и климатических условий

Название индикатора №1	Название индикатора №2	Характер корреляции
Биоразнообразие	Фитомасса	Положительная
Биоразнообразие	Продуктивность	Положительная или унимодальная
Продуктивность экосистем	Фитомасса	Отрицательная (для ЕТР и для лесостепей)
		Положительная (северные, лесные, степь и полупустыня)
Биоразнообразие	Степень трансформированности	Положительная или унимодальная
Фитомасса	Степень трансформированности	Отрицательная или унимодальная
Продуктивность	Степень трансформированности	Положительная или унимодальная
Биоразнообразие и фитомасса	Среднегодовая температура	Положительная (северные, лесные и горные экорегионы)
		Отрицательная (южные экорегионы)
Биоразнообразие и фитомасса	Среднегодовое количество осадков	Положительная

Помимо того, была исследована взаимосвязь между индикаторами экосистемных активов и предоставленным объёмом экосистемных услуг с использованием тех же методов анализа (таблица 5).

Таблица 5. Корреляционные значения между индикаторами экосистемных активов и экосистемных услуг

Название индикатора №1	Название индикатора №2	Характер корреляции
Предоставленный объем экосистемных услуг, связанных с лесом и водой	Фитомасса	Положительная
Предоставленный объем экосистемных услуг, связанных с лесом и водой	Продуктивность	Отрицательная
Предоставленный объем экосистемных услуг, связанных с нелесными экосистемами и с/х полями	Фитомасса	Отрицательная, либо отсутствует
Предоставленный объем экосистемных услуг, связанных с нелесными экосистемами и с/х полями	Продуктивность	Положительная
Предоставленный объем экосистемных услуг, связанных с водой	Биоразнообразие	Отрицательная

Название индикатора №1	Название индикатора №2	Характер корреляции
Предоставленный объем экосистемных услуг, связанных с с/х полями и городами	Биоразнообразие	Положительная
Предоставленный объем экосистемных услуг, связанных с водой	Степень трансформированности	Отрицательные
Предоставленный объем экосистемных услуг, связанных с хранением углерода	Степень трансформированности	Положительная

Авторы проекта отмечают, что выполненный корреляционный анализ не может быть основанием для принятия решения по управлению экосистемами. Исходя из результатов анализа, можно увидеть многие противоречия. Например, положительная взаимосвязь между степенью трансформированности экосистем, индикаторами биоразнообразия и объемом фитомассы. Можно сделать вывод, что при статистическом анализе взаимосвязи между некоторыми индикаторами стоит учитывать и другие факторы.

После проведения анализа взаимосвязи между индикаторами климатических условий, экосистемных активов, а также предоставленными объёмом экосистемных услуг была выполнена «пилотная» версия экономической оценки экосистемных услуг. Однако, если оценке в естественно-научных единицах измерения подвергался предоставленный объём, то экономическая оценка в денежных единицах измерения проводилась

для используемого объема. Последовательно разберем методы экономической оценки, использовавшиеся в проекте TEEB-Russia и полученные результаты.

В ходе экономической оценки были оценены четыре вида производственных услуг: продукция древесины; недревесная продукция наземных экосистем; производство корма для скота на природных пастбищах; охотничья продукция (таблица 6)

Таблица 6. Методы и результаты экономической оценки производственных услуг

Вид экосистемной услуги	Методы оценки	Доля стоимости экосистемной услуги от их суммарной стоимости, %	Доля стоимости категории экосистемной услуги от их суммарной стоимости, %	Стоимость экосистемных услуг по отношению к ВВП, %
Продукция древесины	Рыночных цен; Рентный подход	2,83	5,7	0,2 – 0,23
Недревесная продукция наземных экосистем	Рыночных цен	2,43		
Производство корма для скота на природных пастбищах	Рыночных цен	0,44		

Охотничья продукция (только для копытных)	Рыночных цен			
---	--------------	--	--	--

Все производственные услуги были оценены рыночным методом, т.е., исходя из цен на товары, которые производятся на основе данных экосистемных услуг. Например, оценка экосистемных функций, обеспечивающих получение недревесной продукции и сельскохозяйственных культур, используемых в качестве корма для животных, базировалась на рыночной стоимости грибов и ягод, а также стоимости животных кормов соответственно. Стоимость экосистемных услуг, необходимых для получения охотничьей продукции была рассчитана на основе цен на мясо диких копытных животных.

В случае оценки экосистемной услуги получения древесины использовались цены на топливную древесину и круглый лес с выделением трудовых, технологических и логистических затрат. Помимо того, рыночный метод был дополнен рентным подходом. Экономическая рента возникает в случае использования исчерпаемых природных ресурсов при условии неэластичности предложения ресурса и монополии на него. Размер ренты зависит только от качества оцениваемого ресурса и его расположения.

По результатам оценки суммарная стоимость производственных услуг составила 5,7% от доли всех оцененных экосистемных услуг и 0,2-0,23% ВВП, согласно данным Росстата за 2018 год.

Чтобы оценить регулирующие услуги использовались две основные группы методов, основанные на рыночном, а также затратном подходе, включающем в себя методы превентивных, перемещающих и замещающих затрат (таблица 7).

Для оценки водных регулирующих услуг в финансовом эквиваленте, в основном, использовался метод компенсирующих затрат, который предполагает оценку экосистемных услуг, исходя из стоимости мероприятий по их восстановлению или искусственному замещению (метод замещающих затрат).

Например, для оценки экосистемных услуг по обеспечению объема водного стока использовались затраты на водопользование в разных отраслях промышленности, а для оценки экоуслуги качества питьевой воды использовались затраты на очистку воды. Услуга регулирования variability стока была оценена по стоимости мероприятий, необходимых для устранения последствий наводнений.

Услуги по предотвращению водной эрозии были оценены методом предотвращенного ущерба для сельскохозяйственной отрасли, исходя из средних потерь урожая. Для оценки услуги по очистке воздуха пригородными лесами был применен тот же метод с использованием данных по затратам на лечение населения от заболеваний, обусловленных низким качеством воздуха.

Рыночный метод был использован для выявления стоимости услуг по регулированию цикла углерода, исходя из цены за тонну углекислого газа равную 10 долл. США.

Таблица 7. Методы и результаты экономической оценки продукционных услуг

Вид экосистемной услуги	Методы оценки	Доля стоимости экосистемной услуги от их суммарной стоимости, %	Доля стоимости категории экосистемной услуги от их суммарной	Стоимость экосистемных услуг по отношению к ВВП, %

			СТОИМОСТИ, %	
Регулирование цикла углерода; очистка воздуха пригородными лесами	Рыночных цен; Предотвращенный ущерб здоровью населения	43,6	94	1,2 – 3,2
Обеспечение объема стока воды наземными экосистемами	Метод компенсирующих затрат	4,1		
Обеспечение качества воды наземными и водными экосистемами	Метод замещающих затрат	3,6		
Регулирование variability стока	Метод компенсирующих затрат	33,4		
Предотвращение водной эрозии	Метод предотвращенного ущерба	9		
Другие услуги	-	0,3		

По результатам оценки, регулирующие услуги являются наиболее высокостоящими из всех экосистемных услуг России. Их стоимость составила

94% от стоимости всех экоуслуг, а их доля по отношению ВВП составила приблизительно 1,2 – 3,2%.

Для экономической оценки рассматриваемых экоуслуг применяется широкий спектр подходов. Например, оцениваются затраты на содержание ООПТ (затратный подход), транспортно-путевые затраты туристов для отдыха в определенных местах, используются рыночные цены на отдых в санаториях и домах отдыха. В настоящее время, применяются и такие необычные подходы, как анализ публикаций в социальных сетях, где люди публикуют фотографии с самыми впечатляющими местами.

Категория информационных и духовно-эстетических услуг является наиболее сложной для экономической оценки, исходя из методологических ограничений. В ходе выполнения проекта, из данной категории были оценены только экосистемные услуги, обеспечивающие условия для рекреации выходного дня. Их доля в объеме всех экосистемных услуг составила приблизительно 0,3%, а в объеме ВВП 0,01%.

Таким образом, в ходе проекта ТЕЕВ-Russia была проведена оценка экосистемных услуг Российской Федерацией, в результате которой были получены следующие результаты:

1. На основе признанных международных классификаций были выделены три типа экосистемных услуг России: производственные; средообразующие; информационные и духовно-эстетические.

2. Для количественной оценки экосистемных услуг были применены естественно-научные методы: анализ биологической литературы (атласов, сборников, справочников); фактическая оценка биоразнообразия полевыми методами; ГИС-метод.

3. Были выделены группы индикаторов экосистемных услуг, экосистемных активов и климатических условий, а также проведен анализ взаимосвязи между ними с использованием методов математической

статистики. Среди индикаторов экосистемных услуг были классифицированы и оценены в естественно-научных единицах: предоставленный, необходимый и используемый объем. Помимо того, были выделены климатические индикаторы: среднегодовая температура и количество осадков, и индикаторы экосистемных активов: количественные и качественные (показатели функционирования и биоразнообразия).

4. Была проведена экономическая оценка экосистемных услуг России с использованием четырех основных подходов: рыночного, затратного, подхода альтернативной стоимости, субъективной оценки. В результате денежной оценки стоимость всех экосистемных услуг России составила от 1,4 до 3,5% ВВП, а для некоторых регионов данный показатель превысил 10%.

5. Был сделан вывод о необходимости более точного учета многих экосистемных услуг и о повышении и доступности данных, необходимых для оценки.

2.2. Оценка экосистемных услуг на глобальном уровне

В 2021 году Всемирным банком был подготовлен доклад «The Economic Case for Nature. A new global Earth-economy model». В рамках данного доклада была рассчитана стоимость глобальных экосистемных услуг в долл. США, было оценено влияние экосистемных услуг на некоторые экономические секторы и их доля в экономическом благополучии разных стран. Также, были представлены варианты развития глобальной экономики при политических сценариях с разной степенью учета экосистемных услуг.

Основной **целью** доклада было обозначено обоснование ценности природы и разработка политических моделей, предусматривающих экологические и экономические преимущества от её сохранения. Под понятием «природа» в докладе Всемирного банка понималась совокупность биоразнообразия и экосистемных услуг.

По мнению аналитиков Всемирного банка позитивные изменения в социально-экономической сфере, например, такие как снижение уровня бедности с 1970 по 2022 год с 60 до 10%, несли за собой *значительные потери для состояния биосферы*. В подтверждение этого в докладе приводятся следующие факты:

1. Сокращение 14 из 18 категорий экосистемных услуг с 1970 по 2020 год¹⁰⁷;
2. Изменение 75% поверхности ледников и 66% ледниковых морских экосистем (1970-2020);
3. Утеря 85% растениеводческих земель с 1700-х годов;
4. Сокращение тропических лесов на 100 млн. га с 1980 по 2000 год;
5. Глобальная потеря лесных угодий на 178 млн. га с 1990 по 2020 год;
6. Сокращение количества видов позвоночных животных на 70% с 1970 по 2020 год.

Выделяются *группы рисков*, в результате которых снижение уровня биоразнообразия и уменьшение площади экосистем имеет текущий негативный тренд:

1. *Физические риски*: возникают от экономического воздействия на экосистемные услуги и их неустойчивости к воздействию;
2. *Транзитивные риски*: связаны с переходом к природно-сберегающей экономике, включая потенциальные эффекты от новой регуляции и общественные ожидания;
3. *Системные риски*: связаны с экстремальным или усугубленными физическими и транзитивными рисками, которые воздействуют на ценность целых экономических цепочек;

¹⁰⁷ Summary for policymakers of the IPBES global assessment report on biodiversity and Ecosystem services
Copyright © 2019, Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES)
ISBN No: 978-3-947851-13-3

4. *Катастрофические риски:* потенциально-экстремальные негативные события, которые могут стать причиной следующего системного финансового кризиса (пандемии, войны).

Выделенные категории рисков вызывают рыночные, политические и национальные провалы и содействуют прямым факторам природных потерь¹⁰⁵: изменению использования морских и наземных ресурсов; прямой эксплуатации; изменению климата; повышению уровня загрязнения, а также увеличению численности инвазивных видов. Данные явления вызывают экстерналии в виде искажения частных и общественных затрат, а также выгод, полученных от природы. В результате, происходит смещение баланса за уровень социального оптимума, следовательно, и избыточные потери природных ресурсов.

Для изучения воздействия экосистемных услуг на экономические характеристики был применен метод математического моделирования. Было проанализировано два вопроса:

1. Каким образом потери экосистемных услуг воздействуют на экономические индикаторы?
2. Какой политический вариант может быть полезным в экологических и экономических целях?

Чтобы ответить на данные вопросы применялась комплексная математическая модель, с помощью которой были изучены взаимосвязи между четырьмя экосистемными услугами:

1. Дикое опыление сельскохозяйственных культур;
2. Регуляция климата посредством накопления и секвестрации углерода;
3. Производство пищевой продукции морскими экосистемами;
4. Производство древесины.

И экономическими переменными:

1. ВВП;
2. Уровень экономического благополучия;
3. Отдача от факторов производства;
4. Эффективность функционирования экономических секторов.

Также, был оценен эффект деградации экосистемных услуг на смежные отрасли и влияние на глобальную экономику посредством торговли и изменение спроса на факторы производства.

Комплексная математическая модель базировалась на трех основных блоках:

1. **Ядро модели – модель рассчитанного общего равновесия CGE (Computable General Equilibrium).** CGE модели являются классом моделей, которые оценивают каким образом экономика реагирует на изменения в политике, технологии, а также изменение других внешних факторов. Данные модели воссоздают экономику через серию уравнений, имитирующих существование множества сторон, принимающих решения, таких как, фирмы, домохозяйства и правительства.
2. **В качестве базы данных использовались результаты проекта для природных и антропогенных экологических зон GTAP и Agro-Ecological Zone (GTAP-AEZ).** База данных GTAP (Global Trade Analysis Project) используется правительствами для проведения общего анализа равновесия и для принятия решений в областях торговых реформ, климатической политики, энергетической и сельскохозяйственной политики. Модель GTAP-AEZ добавляет дополнительные элементы в оригинальную модель GTAP, которые полезны для анализа сравнения земель и связанных проблем, таких как: гетерогенность земельных фондов, расположенных в разных агроэкологических зонах; предложение земель, обусловленное их продуктивностью; изменение в

урожайности сельскохозяйственных культур. Версия GTAP-AEZ создана для 37 агрегированных регионов, которые подразделены на 18 агроэкологических зон.

3. Для отображения высокой встроенности экономики в биосферу, модель CGE связана с набором моделей экосистемных услуг (InVEST), которые влияют на экономические параметры в GTAP-AEZ модели. InVEST используется для картирования и оценки экосистемных услуг и основаны на функциях продуктивности, которые определяют каким образом изменения в структуре и процессах экосистем влияют на потоки и ценность экосистемных услуг на территориях наземных и морских ландшафтов. Модели InVEST интерпретируют результаты как в экологических показателях (тонны секвестрированного углерода) и в экономических показателях (чистая приведенная стоимость экосистемных услуг, отвечающих за секвестрацию углерода).

Таким образом, основными методами анализа являются: метод математического моделирования; метод статистического анализа баз данных и ГИС-метод.

Составленная интегрированная математическая модель продемонстрировала, что объем вклада экосистемных услуг в мировую экономику оценивается в 44 трлн. долл. США, что составляет порядка 33% мирового ВВП. Сильно-зависимыми секторами от экосистемных услуг являются строительный и сельскохозяйственный (13 триллионов дол. США), а умеренно-зависимыми секторами являются туризм, недвижимость и розничная торговля (31 трлн. дол. США).

Особенную ценность экосистемные услуги имеют для развивающихся стран. Доля возобновляемых ресурсов (сельскохозяйственные земли, леса, рыбные ресурсы) для стран с низким доходом (low income) составляет 23%, а для государств с доходом ниже среднего уровня (low middle income) порядка

10%. Также, отмечается, что 80% людей, проживающих за чертой бедности – это сельское население, следовательно, экосистемные услуги исключительно важны для уровня их благополучия. Имеется прямая связь между биоразнообразием и сохранением рабочих мест, особенно, в странах, расположенных в лесных и прибрежных экосистемах.

Была произведена оценка экономических последствий **при потенциальном коллапсе экосистем** (исчезновение опыления, морского рыболовства, естественных лесов и т.д.) в период с 2021 по 2030 год. Был сделан вывод, что это повлечет за собой снижение реального мирового ВВП на 2,3% (-2,7 трлн. долл. США) ежегодно до 2030 г. Ежегодное снижение реального ВВП на душу населения возрастает при относительном снижении дохода стран (рисунок 6).

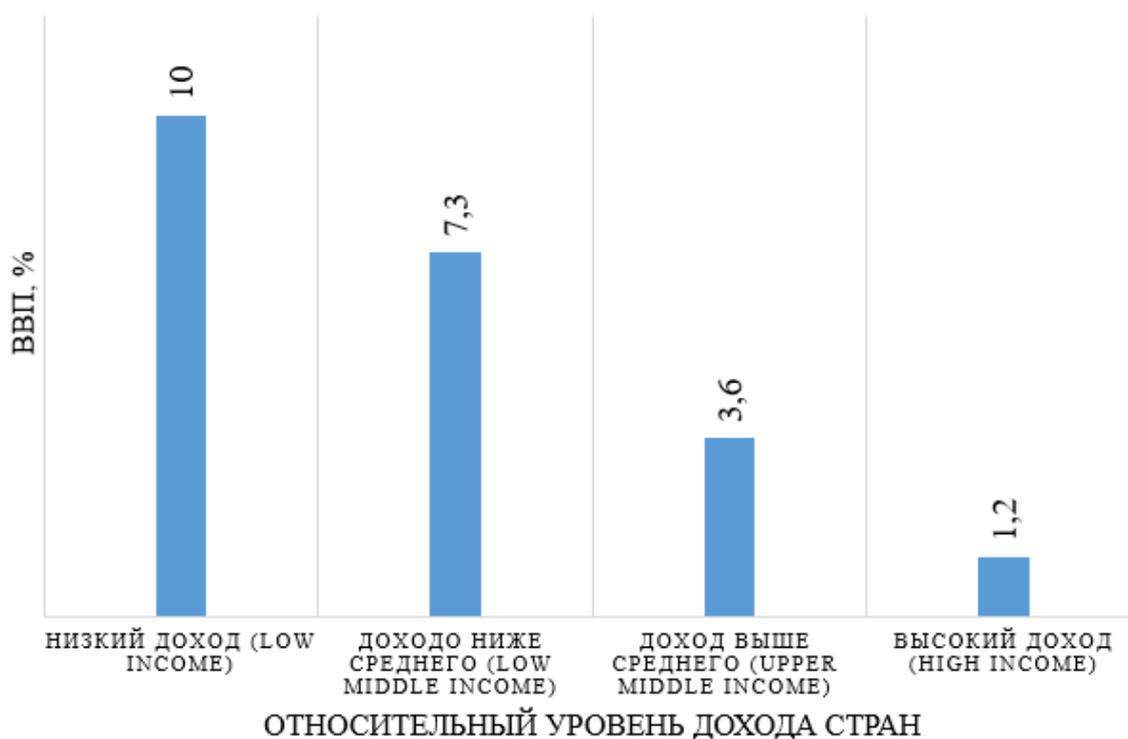


Рисунок 6. Ежегодное снижение уровня ВВП по относительному уровню доходов в результате коллапса экосистемных услуг

В ходе анализа было выяснено, что наибольший ущерб от потери экосистемных услуг понесут страны с низким доходом и доходом ниже относительного среднего уровня.

Также, было изучено ежегодное изменение реального ВВП на душу населения в зависимости от регионального положения. В результате анализа выяснилось, что снижение ВВП происходит во всех регионах, но с разными темпами (рисунок 7). Наиболее высокие темпы снижения ВВП от потери экосистемных услуг характерны для стран Центральной и Южной Африки, а также Южной Азии. Наименее зависимыми экономиками от природного капитала обладают страны Европы, Центральной Азии и Северной Америки.

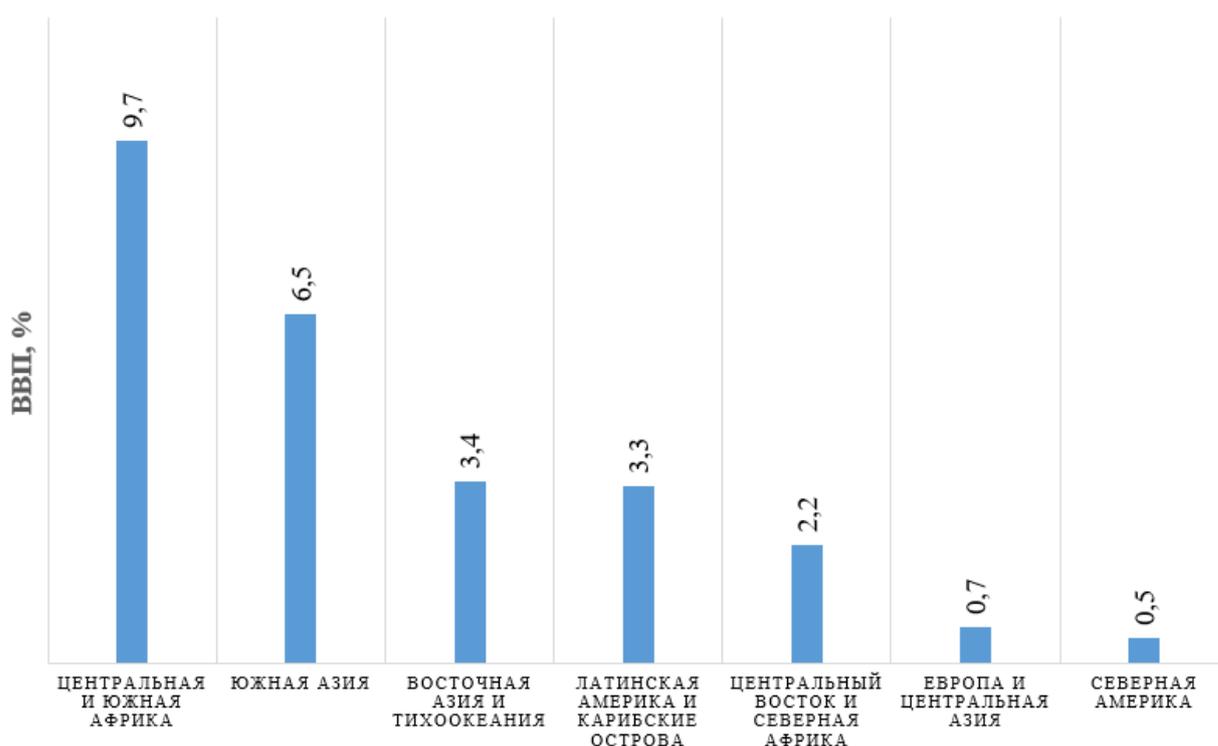


Рисунок 7. Ежегодное снижение уровня ВВП по мировым регионам в результате коллапса экосистемных услуг

Помимо сценария коллапса экосистемных услуг, был смоделирован вариант **инерционного развития экономики (business as usual или «BAU»-сценарий)**, т.е. сценарий сохранения имеющейся экономической модели.

В случае сохранения текущей экономической модели, в период с 2021 по 2030 год будут иметь место следующие негативные экологические последствия:

1. Введение в хозяйственный оборот 46 млн. га природных экосистем, из которых:
 - 17 млн. га для нужд лесной промышленности
 - 15 млн. га под пастбища
 - 13 млн. га для сельскохозяйственных нужд
2. Уменьшение продуктивности лесных экосистем на 0,3%
3. Уменьшение рыбных ресурсов в морских экосистемах на 2,8%
4. Дополнительные 791 млн. тонн выбросов углекислого газа.

Несмотря на то, что использование дополнительных природных ресурсов увеличат на 2,8% продуктивность сельскохозяйственных территорий, напрямую зависящих от жизнедеятельности насекомых-опылителей, Всемирный банк прогнозирует снижение глобального ВВП в 2030 году на 90 млрд долл. США, а при включении услуг по связыванию углерода на 225 млрд долл. США.

Отмечается, что имеющиеся варианты проведения фискальной, экономической и торговой политики медленно включают стоимость биоразнообразия, а некоторые варианты негативно влияют на цены природных товаров и услуг. Помимо того, рынки экосистемных услуг до сих пор локальны и малы, а также существует нехватка адекватных государственных и институциональных инструментов, таких как учет прав природы и соблюдение природоохранного законодательства.

В качестве альтернативы инерционному сценарию развития были разработаны **семь вариантов** проведения реформ для инициирования более **устойчивых практик** (рисунок 8).

В качестве трех базовых вариантов предлагаются фискальные реформы в форме развития налогов на выброс углекислого газа на национальном и глобальном уровне, а также секторальные инвестиции для повышения продуктивности в сельском хозяйстве. Варианты с отдельной помощью

фермерам (№1), локальными (№2) и глобальными платами (№3) за декарбонизацию обеспечивают увеличение ВВП в районе 50 млрд. долларов и снижают риск коллапса на 8, 26 и 35% соответственно по сравнению с ВАУ-сценарием.

В результате комбинирования введения локальных выплат, а также секторальных инвестиций в сельское хозяйство (№1 + №2 - №4) снижение вовлечения в оборот природных территорий составит 28% и обеспечит увеличение ВВП 53,1 млрд долл. США. В случае сочетания инвестиций в сельское хозяйство с введение глобального рынка углеродного регулирования (№1 + №3 - №5) данные показатели составят 38% и 57,8 млрд долл. США соответственно.

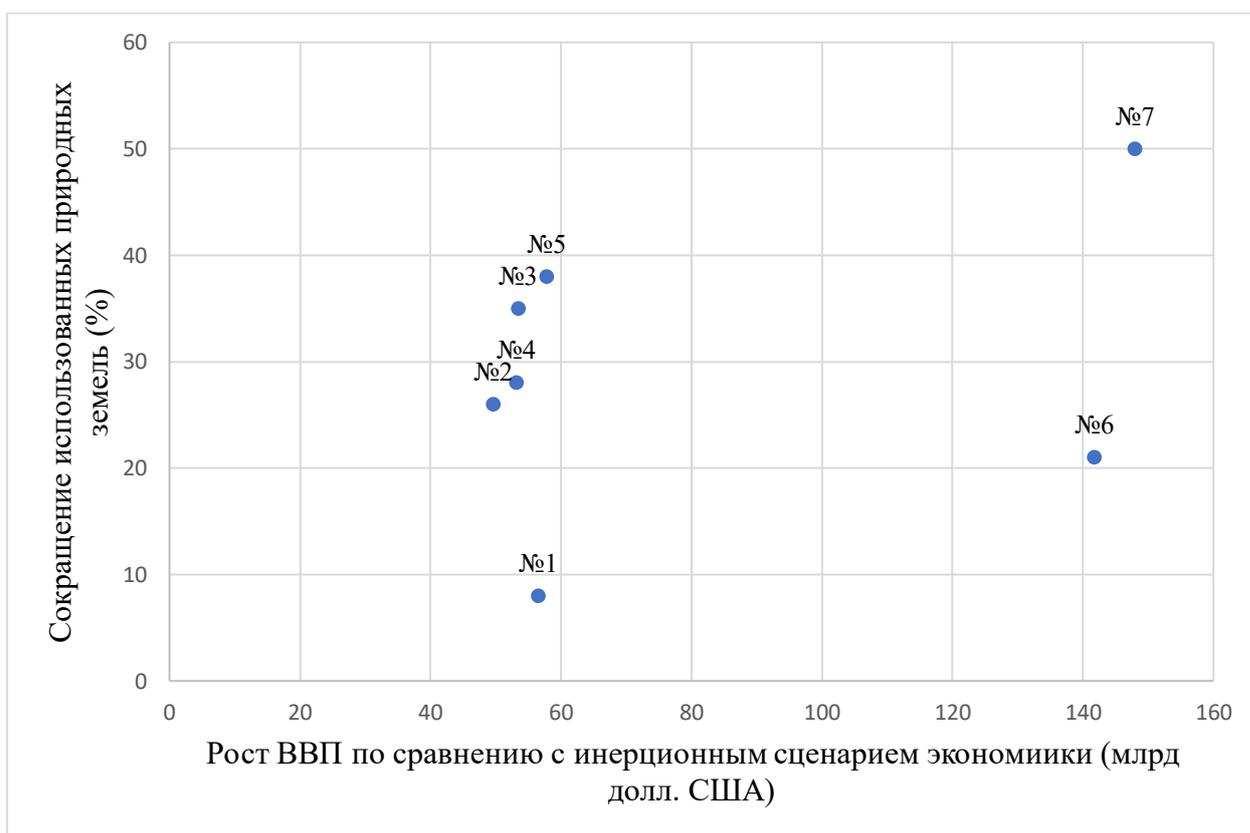


Рисунок 8. Рост уровня ВВП и сокращения использованных природных территорий при использовании устойчивых практик природопользования в сравнении с инерционным сценарием развития экономики

При сочетании инвестиций в научные исследования (НИ) и вложений в сельское хозяйство (№1 + НИ - №6) будет обеспечено сокращение деградации природных экосистем на 21%, а также рост ВВП на 141,7 млрд. долл. США. Одновременные инвестиции фермерам, глобальные выплаты за декарбонизацию, а также инвестиции в научные исследования (№1 + №2 + НИ - 7) обеспечивают рост ВВП на 150 млрд. долларов и снижают риск коллапса экосистемных услуг на 50%. В следующем разделе перейдем к описанию опыта оценки экосистемных услуг почв.

2.3. Опыт оценки экосистемных услуг почв

В первой главе данной работы, исходя из литературных данных и собственных исследований, было выделено 15 групп экосистемных услуг почв. В последнее время отечественными и иностранными учеными были предприняты попытки их количественной и экономической оценки.

Общими характерными особенностями всех данных исследований является описание общих климатических особенностей исследуемых территорий (температура, количество осадков, количество солнечных дней и т.д.), а также тип хозяйствования территорий. Почти все экосистемные услуги были оценены для сельскохозяйственных территорий с тем или иным типом земледелия. Кроме того, выделяется пространственный уровень оценки: локальный, региональный, федеральный. Большинство исследований проводилось на локальном и региональном уровне.

Отдельно стоит отметить сложность сравнения исследований в разных странах и в разные годы, так как рассматривались исследования в диапазоне с 1997 по 2022 год в таких государствах, как Россия, США, Мьянма, Великобритания и т.д. Для решения данной проблемы было принято воспользоваться переводом местных валют в международные доллары (international dollar – id\$)¹⁰⁸. Международные доллары – единицы, которые

¹⁰⁸ Всемирный Банк: определение международного доллара [Электронный ресурс]: <https://datahelpdesk.worldbank.org/knowledgebase/articles/114944-what-is-an-international-dollar> (дата обращения 15.03.2023)

вычисляются путем перевода соответствующей национальной валюты на паритет покупательной способности (ППС). Для учета инфляции за временной период, прошедший с начала исследования на 1 января 2023 года, использовался индекс US CPI 31011913 (Бюро Статистики и Труда США).

Начнем с оценок **поддерживающих экосистемных услуг**.

1. **Круговорот питательных веществ.** При оценке данной группы поддерживающих экосистемных услуг чаще всего использовался метод замещения затрат. Авторы стараются учесть рыночную стоимость восстановления наиболее важных для почв питательных веществ: азота, калия и фосфора. По результатам исследования в Шри-Ланке¹⁰⁹ и Мьянме¹¹⁰ стоимость круговорота питательных веществ оценивается от 31,7 id\$ до 184,8 id\$/кг/га/год.
2. **Круговорот воды.** Водная циркуляция почв также оценивалась методом замещения стоимости естественного круговорота ирригацией¹¹¹. По данным австралийских ученых стоимость услуги составляет от 81,8 id\$ до 166,3 id\$ га/год.
3. **Биологическая активность почв.** Оценка биологической активности почв показала, что цена данной услуги в глобальном¹¹² масштабе составляет около 2,8 трлн. id\$.
4. **Почвообразование (педогенез).** Цена почвообразования оценивалась методом рыночных цен и основывалась на стоимости почвы на рынке¹⁰⁹. Стоимость услуги почвообразования варьируется в диапазоне от 23760 id\$ до 36960 id\$ кг/га/год.

¹⁰⁹ Drechsel, P., Giordano, M., Gyiele, L. Valuing Nutrients in Soil and Water: Concepts and Techniques with Examples from IWMI Studies in the Developing World. International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka, 2004.

¹¹⁰ San, C.C., Rapera, C.L. The on-site cost of soil erosion by the replacement cost methods in Inle Lake Watershed, Nyaung Shwe Township, Myanmar. J. Environ. Sci. Manag. 13, 67–81, 2010.

¹¹¹ Sandhu, H.S., et.al. The future of farming: The value of ecosystem services in conventional and organic arable land. An experimental approach. Ecol. Econ. 64, 835–848, 2008.

¹¹² Van der Putten, et. al., The sustainable delivery of goods and services provided by soil biota. In: Wall, D.H., Wall, D.H. (Eds.), Sustaining Biodiversity and Ecosystem Services in Soils and Sediments. Island Press, San Francisco, Ca, 2004.

Отметим, что в основном для оценки поддерживающих услуг применяются затратные методы, в частности метод замещения затрат и метод рыночных цен. Далее перейдем к рассмотрению методов и результатов оценки регулирующих почвенных услуг.

- 1. Регуляция численности паразитических и болезнетворных организмов.** Данная экосистемная услуга также основывается на методе замещения. Рассчитывается размер предотвращенных затрат на применение искусственных средств борьбы с отрицательным воздействием биоты¹⁰⁹. Стоимость данной услуги составила от 77,9 до 353,8 id\$/га/год.
- 2. Регулирование климата.** Методы оценки ЭС почв по регулированию климата могут быть разными. Они могут быть основаны на рыночной стоимости тонны углекислого газа, затратах на искусственную секвестрацию углерода или на опросе людей о готовности платить за данную услугу. По имеющимся оценкам⁹¹ стоимость данной услуги колеблется в диапазоне от 26,4 id\$ до 353,8 id\$/га/год.
- 3. Регуляция водного стока.** Расчет стоимости вклада почв в контроль за гидрологическими условиями включает в себя широкий ряд методов: стоимости восстановления верхнего слоя почвы; расходы на реабилитационные мероприятия, основанные на стоимости смягчения последствий, связанных с деградацией почвы, предотвращением наводнений или стоимостью дноуглубительных работ на водных путях и т.д. Стоимость данной услуги^{113,114} колеблется от 39,6 id\$ до 1551 id\$/га/год.

¹¹³ San, C.C., Rapera, C.L. The on-site cost of soil erosion by the replacement cost methods in Inle Lake Watershed, Nyaung Shwe Township, Myanmar. *J. Environ. Sci. Manag.* 13, 2010, p. 67–81.

¹¹⁴ Dominati, E., Mackay, A., Green, S., Patterson, M. A soil change-based methodology for the quantification and valuation of ecosystem services from agro-ecosystems: a case study of pastoral agriculture in New Zealand. *Ecol. Econ.* 100, 2014, p. 119–129.

4. **Снижение последствий антропогенного загрязнения.** Данную экосистемную услугу можно оценить, используя метод предотвращенных затрат, а также, рассчитывая стоимость рекультивационных мероприятий по устранению последствий загрязнения. Значения стоимости данной услуги^{112,115} составляют от 718 id\$ до 8451 id\$/га/год.

Рассмотрев методы и результаты оценок экономической стоимости, можно заметить, что для оценки данной группы ЭС применяется гораздо большее количество методов, чем для оценки поддерживающих услуг. Помимо затратных методов применяются методы готовности платить и гедонистического ценообразования.

Рассмотрим оценки **обеспечивающих услуг почв.**

1. **Производство биомассы.** Оценка ЭС почв по производству биомассы может быть оценена методом рыночной стоимости, так как рынки на различные виды почвенной биомассы сформированы. Стоимость данной экоуслуги варьируется в очень широком диапазоне в зависимости от места производства и вида биомассы, от 2,1 id\$ за кг почвенных животных до 29329 id\$/га/год за пищевую биомассу¹⁰⁹.
2. **Обеспечение пресной водой.** Ценность обеспечения пресной водой оценивается методом замещающих затрат на очистку воды, а также методом рыночных затрат на покупку воды. По результатам оценок в США¹¹⁶ стоимость данной почвенной экоуслуги варьирует от 44,9 id\$ до 133 id\$ за млн. литров.
3. **Обеспечение абиотическим сырьем.** Значение стоимости услуги по обеспечению почвенного абиотического сырья (глинистыми

¹¹⁵ Dominati, E.J., Mackay, A., Lynch, B., Heath, N., Millner, I. An ecosystem services approach to the quantification of shallow mass movement erosion and the value of soil conservation practices. *Ecosys. Serv.* 9, 2014, p. 204–215.

¹¹⁶ Tegtmeier, E.M., Duffy, M.D. External costs of agricultural production in the United States. *Int. J. Agric. Sustain.* 2, 2005, p. 1–20.

минералами, глиной и т.д.) также, как и в случае с биомассой, может быть определено, основываясь на рыночных ценах. Стоимость данной ЭС значительно колеблется в зависимости от стоимости сырья в границах от 11,9 id\$ до 194 id\$ за тонну^{117,118}.

4. **Физическая среда.** Стоимость услуги обеспечения места обитания флоры и фауны, а также поддержания человеческой инфраструктуры, растений и животных в пространстве оценивается^{112,113} в диапазоне от 42,2 id\$ до 145 id\$/га/год.

Подводя общий итог результатам экономической оценки обеспечивающих экоусуг почв, можно отметить, что чаще всего их можно оценить методом рыночной стоимости, так как для большинства из них сформированы рынки. Стоимость обеспечивающих экосистемных услуг значительна варьирует в зависимости от типа услуги и места её оценки.

Говоря об **культурных экосистемных услугах почв**, как говорилось в первой главе, их экономическую стоимость определить крайне сложно, так как она зависит в первую очередь от субъективных оценок людей, проживающих на определенных территориях.

Таким образом, проанализировав существующие экономические оценки экосистемных услуг почв можно прийти к следующим выводам.

1. Использование методов монетарной оценки зависит от сформированности на неё экономических рынков. Так как для большинства услуг рынки не сформированы, для оценки применяется следующий ряд методов: метод гедонистического ценообразования, метод заявленной стоимости (готовности платить), метод замещения, метод рыночной стоимости.
2. Результаты оценки почвенных экоусуг зависят от её типа и места проведения оценки, их стоимость находится в широком

¹¹⁷ Jasinski, S.M. Peat, US Geological Survey Minerals Yearbook. US Geological Survey, 2000.

¹¹⁸ Virta, R.L. Clay and Shale, US Geological Survey Minerals Yearbook. US Geological Survey, 2004.

диапазоне от нескольких id\$ до нескольких тысяч международных долларов.

В следующей главе перейдем к оценке экосистемных услуг почв в условиях радиоактивного загрязнения.

ГЛАВА 3. Оценка экосистемных услуг почв в условиях радиоактивного загрязнения

В 2023 году наиболее радиоактивно-загрязненными территориями России являются части Брянской, Калужской, Тульской и Орловской областей³. Радиоактивное загрязнение оказало и продолжает оказывать негативное влияние на здоровье населения, а также на возможность использования сельскохозяйственных, лесных и водных ресурсов.

Существенное снижение негативных последствий радиоактивного загрязнения происходит за счет почвенных природных свойств двумя путями: экранированием радиационного излучения и сорбцией радиоактивных элементов. В первом случае, почва выступает в качестве экрана и снижает уровень воздействия радиационного излучения на человека и биоту (экранирующая экосистемная услуга). Во втором случае, почва выступает в качестве биогеохимического барьера, который не допускает попадания радиоактивных элементов в биомассу, а также в грунтовые воды и атмосферу (сорбционная экосистемная услуга).

Перейдем к рассмотрению оценки экранирующей и сорбционной экосистемных услуг почв.

3.1. Идентификация экосистемных услуг почв и формирование компенсаторного механизма в условиях радиоактивного загрязнения территорий

В ходе данного исследования были оценены экосистемные услуги разных типов радиоактивно загрязненных почв на разных пространственных уровнях: локальном, муниципальном, региональном, а также на межрегиональном уровне, т.е. для всех радиоактивно загрязненных регионов Российской Федерации, пострадавших от аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 году.

На этапе идентификации были выделены почвенные процессы, снижающие уровень радиоактивного загрязнения территорий: антагонизм элементов, «старение» радионуклидов, диффузия, сорбция, влагоперенос. И была составлена общая схема оценки (рисунок 4).

При составлении компенсаторного механизма экосистемной услуги экономический 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 был принят закон «О кооперации в СССР» (1988), 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 данной экосистемной услуги, восстановления и 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^{119,120,121}. А также взаимодействие крупных корпораций с государством, например, в рамках национального проекта «Экология»¹²². Говоря о ликвидации последствий

¹¹⁹ «Зеленые» инвестиции «Роснефти» в 2021 г. составили 55 млрд. руб. [Электронный ресурс]. <https://www.rosneft.ru/press/news/item/211311/> (дата обращения: 15.03.2023)

¹²⁰ «РН-Юганскнефтегаз» отмечает 45-летие производственной деятельности [Электронный ресурс]. <https://www.rosneft.ru/press/news/item/212589/> (дата обращения: 15.03.2023)

¹²¹ Отчет Группы Газпром о деятельности в области устойчивого развития за 2021 год [Электронный ресурс]. <https://www.gazprom.ru/f/posts/57/982072/sustainability-report-ru-2021.pdf> (дата обращения: 15.03.2023)

¹²² Паспорт национального проекта «Экология» [Электронный ресурс]. <https://static.government.ru/media/files/pgU5Ccz2iVew3Aoe15vDGSBjbDn4t7FI.pdf> (дата обращения: 15.03.2023)

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 эффективность¹²³.

Таким образом, связка финансовых и административных возможностей государства, а также технологических возможностей «Росатома» позволила бы восстановить и улучшить почвенный природный капитал в условиях радиоактивного загрязнения четырех регионов Российской Федерации. Помимо положительного экологического эффекта, могут быть достигнуты социально-экономические эффекты в виде повышения уровня здоровья населения, проживающих на данных территориях; повышения доходности сельскохозяйственных территорий; увеличения доходов населения.

В следующих разделах рассмотрим методы и результаты квантификации и экономической оценки экосистемных услуг почв в условиях радиоактивного загрязнения на разных пространственных уровнях.

3.2. Квантификация экосистемных услуг почв по снижению радиационного воздействия

После идентификации основных почвенных процессов, снижающих уровень радиационного воздействия и формирования организационно-административного компенсаторного механизма, была проведена количественная оценка (квантификация) экосистемных услуг почв.

В результате аварии на Чернобыльской АЭС было загрязнено около 3,2% (71,7 млн га) территорий бывшего СССР. На территории России радиоактивному загрязнению подверглись более 2,3 млн га территорий Брянской, Калужской, Тульской и Орловской областей. На 2023 год,

¹²³ Росатом. Отчет о прогрессе в области устойчивого развития. 2021. [Электронный ресурс]. https://report.rosatom.ru/go/rosatom/go_rosatom_2021/rosatom_esg_2021.pdf (дата обращения: 15.03.2023)

примерное значение радиоактивно-загрязненных территорий России составляет приблизительно 1,4 млн га^{3,124}.

В ходе проведения этапа квантификации был проведен анализ 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 (см²/год)

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:

¹²⁴ Нестеренко М.А. Динамика радиационного загрязнения почв сельскохозяйственных угодий Брянской области/ Ученые записки Брянского государственного университета. – 2022. – №2, с. 83-88.

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

где А - начальная удельная активность ^{137}Cs (кБк/м²).

Благодаря составленной математической модели вертикальной миграции удалось оценить площадь радиоактивно загрязненных почв на территориях сельскохозяйственных предприятий вышеназванных регионов и уровень их загрязнения (таблица 8).

Таблица 8. 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

Стоит отметить, что по состоянию на 2022 год уровень загрязнения приблизительно 170 тыс. га разных типов почв на территории сельскохозяйственных предприятий Орловской, Тульской и Калужской области позволяет производить продукцию, соответствующую санитарным и ветеринарным нормам. Однако около 60 тыс. га из 207,3 тыс. га загрязненных дерново-подзолистых почв на территории сельскохозяйственных предприятий Брянской области нуждаются в рекультивационных мероприятиях, чтобы их использование в качестве пашен, сенокосов и пастбищ стало возможным.

Также, благодаря использованию коэффициентов перехода радиоактивных элементов в растения³ удалось установить уровень

радиоактивного загрязнения продукции сельскохозяйственных предприятий. Всего от радиоактивного загрязнения пострадало 154 сельскохозяйственных предприятия, из них более половины – 83 в Брянской области¹²⁵. Приведем пример расчетов уровня загрязнения почв и растений для предприятия СПК «Шлома» (таблица 9).

Таблица 9. Уровень радиоактивного загрязнения почв и содержания радионуклидов в растениеводческой продукции СПК «Шлома» в 2022 году

№	Почвы	Культура (товар)	Уровень радиоактивного загрязнения почв (кБк/м ²)	Содержание 137Cs Бк/м2 (К2О<80 мг/кг)	Содержание 137Cs Бк/м2 (К2О 81-140 мг/кг)	Содержание 137Cs Бк/м2 (К2О 140-200 мг/кг)
1	Дер.-подз., супесчаные	Овес (зерно)	524,3	131	42	31
2	Дер.гл. (глеватые), супесч.	Овес (зерно)	524,3	131	42	31
10	Дер.-подз., супесчаные	Многолетние травы (сено)	346,8	704	551	232
13	Дер.-подз., супесчаные	Многолетние травы (сено)	341,3	693	543	229
14	Дер.-подз., супесчаные	Многолетние травы (сено)	267,6	543	425	179
30	Дер.-подз., супесчаные	Многолетние травы (сено)	213,0	432	339	143

¹²⁵ Сводный паспорт безопасности проживания на радиоактивно загрязненных территориях Брянской области – 2015.

Таблица 9. Уровень радиоактивного загрязнения почв и содержания радионуклидов в растениеводческой продукции СПК «Шлома» в 2022 году

31	Дер.- подз., супесч аные	Многолетние травы (сено)	215,7	438	343	145
32	Дер.- подз., супесч аные	Многолетние травы (сено)	226,6	460	360	152
33	Дер.- подз., супесч аные	Многолетние травы (сено)	229,4	466	365	154
58	Дер.- подз., супесч аные	Многолетние травы (сено)	204,8	416	326	137
60	Дер.- подз., супесч аные	Многолетние травы (сено)	253,9	516	404	170
61	Дер.- подз., супесч аные	Многолетние травы (сено)	243,0	493	386	163
63	Дер.- подз., супесч аные	Многолетние травы (сено)	267,6	543	425	179
69	Дер.- подз., супесч аные	Многолетние травы (сено)	415,0	843	660	278
70	Дер.- подз., супесч аные	Многолетние травы (сено)	368,6	748	586	247
71	Дер.- подз., супесч аные	Многолетние травы (сено)	461,5	937	734	309

Таблица 9. Уровень радиоактивного загрязнения почв и содержания радионуклидов в растениеводческой продукции СПК «Шлома» в 2022 году

72	Дер.-подз., супесчаные	Многолетние травы (сено)	453,3	920	721	304
74	Дер.-подз., супесчаные	Многолетние травы (сено)	327,7	665	521	220
133	Дер.-подз., супесчаные	Многолетние травы (сено)	442,4	907	703	296

Исходя из полученных результатов расчетов, проводился анализ уровня загрязнения сельскохозяйственной продукции для каждого предприятия. Так, территория СПК «Шлома» разбита на 134 участка, 31 из которых используется для производства растениеводческой продукции: многолетних трав для изготовления сена; овса; озимой ржи; кукурузы под силос; свеклы кормовой. Как было сказано выше, на снижение радиоактивного загрязнения продукции влияет совокупность морфогенетических свойств почв и почвенных процессов. Почвенным процессом, который оказывает наибольшее влияние на снижение радиоактивного загрязнения растениеводческой продукции ^{137}Cs является химический антагонизм радиоцезия с калием, обусловленный схожестью химических свойств данных элементов. А важнейшим морфогенетическим свойством, влияющим на уровень загрязнения продукции, является гранулометрический состав почв¹²⁶. Таким образом, расчет концентрации радионуклидов в различных типах растениеводческой продукции производился на основе данных о гранулометрическом составе почв и содержания в них обменного калия по данным паспортизации СПК «Шлома».

¹²⁶ Дробышевская Т.В. Подходы к определению экономической эффективности реабилитационных мероприятий радиоактивно загрязненных сенокосов и пастбищ // МНИЖ. 2017. №5-1 (59).

Предприятие расположено на дерново-подзолистых супесчаных почвах и характеризуются содержанием обменного калия 81 мг/кг. Так как данное значение является граничным между низкой и очень низкой концентрацией калия для дерново-подзолистых супесчаных почв, а также измерение данного параметра датировано 2013 годом, был произведен расчет содержания радиоцезия в растениеводческой продукции, исходя из содержания обменного калия в почвах в размере менее 80 мг/кг и от 81 до 140 мг/кг. В результате расчетов, было обнаружено, что при уровне обменного калия (K_2O) в почве менее 80 мг/кг продукция, не соответствующая нормам СанПиН 2.3.2.2650-10¹²⁷ и ветеринарным правилам ВП 13.5.13/06-01¹²⁸, будет получена на 19 участках. Два из которых предусмотрены для выращивания овса для получения зерна (норма по СанПин менее 60 Бк/кг), а 17 для выращивания многолетних трав для производства сена (норма по ВП менее 400 Бк/кг). При концентрации обменного калия от 81 до 140 мг/кг, продукция, не соответствующая ветеринарным нормам, будет получена на 13 участках. Также, стоит отметить, что при содержании калия на уровне 140-200 мг/кг содержание ¹³⁷Cs будет соответствовать установленным нормам¹²⁹.

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 сведений о загрязнении почвенного покрова и сельскохозяйственных культур на отдельных предприятиях, данные

¹²⁷ СанПиН 2.3.2.2650-10 "Дополнения и изменения N 18 к санитарно-эпидемиологическим правилам и нормативам СанПиН 2.3.2.1078-01 "Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов": М., 2010. – 105 с.

¹²⁸ "ВП 13.5.13/06-01. Государственная система ветеринарного нормирования Российской Федерации. Радиационная безопасность. Ветеринарные правила обеспечения радиационной безопасности животных и продукции животного происхождения. Ветеринарно-санитарные требования к радиационной безопасности кормов, кормовых добавок, сырья кормового. Допустимые уровни содержания ⁹⁰SR и ¹³⁷CS. Ветеринарные правила и нормы" (утв. Минсельхозом России 19.12.2000).

¹²⁹ Ракинцев Д.С. Коммодификация природных процессов, снижающих влияние радиоактивного загрязнения на растениеводческую продукцию // Экономика устойчивого развития. — 2021. — № 4. — С. 156–161.

объединялись для получения информации на муниципальном и региональном уровне.

Также, была проведена квантификация экранирующей экосистемной услуги на территории Брянской области. Перед тем как описать методы и результаты квантификации экранирующей экосистемной услуги почв опишем полную методику ее оценки. Она выглядит следующим образом¹³⁰:

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

¹³⁰ 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

потенциальному ущербу, равному потере примерно 1 чел.-года жизни населения».

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

Перейдем к рассмотрению этапов, позволивших рассчитать коллективную эффективную дозу.

Главными факторами, которые обуславливают экранирующую способность почв являются её плотность, химико-минералогический состав, а также влажность. Помимо того, определение дозовой активности невозможно без определения глубины источника излучения^{131,132}. Рассмотрим формулы, которые используются для расчета ослабления гамма-излучения.

$$E_{(x)}^* = E_0^* * e^{-\mu x} \quad (2)$$

где $E_{(x)}^*$ – мощность эффективной дозы при прохождении слоя толщиной x (см);

E_0^* – мощность эффективной дозы без слоя поглотителя;

μ - линейный коэффициент ослабления.

Первая формула характеризует ослабление гамма-излучения источником, который располагается в почве на глубине x при регистрации детектором только нерассеянного излучения. Если детектор регистрирует только нерассеянное излучение, пучок гамма-лучей называют узким, либо используют термин «хорошая» геометрия пучка.

В действительности детектором регистрируется рассеянное и нерассеянное гамма-излучение («плохая» геометрия)¹³³. Уравнение ослабления дозы излучения при «плохой» геометрии имеет следующий вид:

¹³¹ Badawy, W.M. Radioactivity measurements and dose rate calculation due to g-ray of soil from Chashnikovo / W.M. Badawy, S.V. Mamikhin // Arab Journal of Nuclear Sciences and Applications. – 2012. – V.45, №2. – p.270–282.

¹³² Badawy, W.M. Theoretical Approach to Calculate the Exposure Dose Rate Due to Gamma Rays from a Contaminated Pipe with Radioactive Material / W.M. Badawy, S.V. Mamikhin // Arab Journal of Nuclear Sciences and Applications. – 2017. – V.50, №3. – p.197–204.

¹³³ Гольдштейн, Г. Основы защиты реакторов: Пер. с англ. / под ред. Н.И. Лалетина / Г. Гольдштейн: М.: Госатомиздат, 1961.

$$E_{(x)}^* = E_0^* * e^{-\mu x} * \delta * B_i \quad (3)$$

где B_i - фактор накопления дозиметрической величины материала защиты для бесконечной среды¹³⁴;

δ - поправочный коэффициент, представляющий отношение дозового фактора накопления в барьерной геометрии к дозовому фактору накопления в бесконечной среде для точечного изотопного источника.

В данной работе пришлось прибегнуть к применению формулы (2), так как модельные данные для параметров B_i и δ отсутствовали. В качестве параметра линейного коэффициента ослабления (μ) были взяты данные эксперимента, который был проведен в 2018 году на кафедре радиоэкологии и экотоксикологии аспиранткой Щербиной Е.А. Так, данные эксперимента для песка ($\mu = 0,0302$ г/см²) были применены, чтобы посчитать ослабление дозы в дерново-подзолистых, серых и пойменных дерновых почвах, а данные для торфа ($\mu = 0,0364$ г/см²) были применены для учета экранирующей способности в болотных торфяных почвах.

Таким образом, доза поглощенного гамма-излучения зависит от факторов среды, толщины экрана (почвенного слоя), а также взаимного расположения источника, экрана и детектора. Исходя из экспериментальных данных, было учтено ослабление активности гамма-излучения в результате 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 активности.
2. Получить данные о возрастной структуре населения Брянской области.

¹³⁴ Машкович, В.П. Защита от ионизирующих излучений: Справочник / В.П. Машкович, А.В. Кудрявцева – 4-е изд., перераб. и доп. / В.П. Машкович, А.В. Кудрявцева: М.: Энергоатомиздат, 1995. – 496 с.

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 Беларуси¹³⁵. 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 (таблица 10).

Таблица 10. Количество населения, проживающее на территориях с определенным типом почв и разным уровнем загрязнения.

Тип (отдел) почв/Уровень загрязнения (кБк/м ²)	Дерново-подзолистые	Серые лесные	Болотные	Пойменные дерновые
1480	0	0	0	2510
565	60619	0	0	3035
185	62513	19454	0	6788
37	76321	29094	160	38278
20	22337	10524	8	12340
10	548	6869	0	6082
3,7	504759	17485	9548	51048

Но данная карта отражает поверхностную активность загрязнения Брянской области (δ_k [кБк/м²]), следовательно, исходя из цели данной работы необходим перевод из δ_k [кБк/м²] 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 получения значения внешней эффективной дозы,

¹³⁵ 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.

полученной населением Брянской области за 2018-2023 год необходимо воспользоваться формулой 7.3. из пункта 7.2.4. данных методических рекомендаций:

$$E_{i,g}^{ext} = K_i^E * \sum_k \left\{ \frac{1}{\lambda_k} (1 - \exp(-\lambda_k * T)) \right\} * e_g^k * \delta_k, \text{мЗв} \quad (4)$$

где K_i^E – коэффициент перехода от дозы в воздухе на высоте 1 м над подстилающей поверхностью к эффективной дозе для представителей i -й группы населения, мЗв/мГр (принимается равным: 0,75 мЗв/мГр - для взрослого населения, 0,80 - для детей школьного возраста и 0,90 - для дошкольников);

λ_k – постоянная радиоактивного распада k -го радионуклида (ч^{-1});

e_g^k – дозовый коэффициент, определяемый как мощность поглощенной дозы гамма-излучения k -го радионуклида на высоте 1 м от плоского изотропного источника, расположенного на границе, воздух-земля, (мГр/ч)/(кБк/м²);

δ_k – поверхностная активность k -го радионуклида на почве на момент измерений, кБк/м².

Но при внешнем облучении человека радиационное воздействие зависит от местности и от факторов поведения. Для учета этих факторов воспользуемся пунктом 7.2.5. данной методики. Общий фактор уменьшения дозы внешнего облучения у представителей i -й группы населения в антропогенной среде (R_i) рассчитывается следующим образом:

$$R_i = \sum_j (L_j * F_{ij}) \quad (5)$$

где L_j – факторы места, определяемые как отношение мощности дозы в воздухе в точке j внутри населенного пункта или в его ареале обусловленной техногенным гамма-излучением, к аналогичной величине над открытым целинным участком почвы;

F_{ij} – факторы поведения (зависят от времени года), представляющие собой долю времени, в течение которого представители i -й группы населения находятся в j -й точке населенного пункта.

Расчет эффективной дозы внешнего облучения для представителей i -й группы населения в антропогенной среде от загрязненной подстилающей поверхности ($E_{i,g,a}^{ext}$), согласно МР 2.6.1.0063-12 производится по формуле:

$$E_{i,g,a}^{ext} = E_{i,g}^{ext} * R_i \quad (6)$$

Таким образом, МР 2.6.1.0063-12 включают в себя методику расчета эффективной дозы, полученной населением (E), исходя из показателя поверхностной активности радиационной загрязненной территории (δ_k). В расчетах учитываются факторы места (L_j) и факторы поведения (F_{ij}), которые в совокупности определяют антропогенный фактор уменьшения полученной эффективной дозы (R_i).

Для расчета коллективной эффективной дозы по методике с официального сайта Федеральной службы государственной статистики¹³⁶ были взяты данные по возрастной структуре городского и сельского населения Брянской области за 2018 год (таблица 11).

Таблица 11. Население Брянской области по возрастным группам (человек).

Городское население			Сельское население		
Дошкольного возраста (1-6 лет)	Школьного возраста (7-17 лет)	Взрослое население (≥ 18 лет)	Дошкольного возраста (1-6 лет)	Школьного возраста (7-17 лет)	Взрослое население (≥ 18 лет)
65529 (чел)	96549 (чел)	688859 (чел)	27466 (чел)	38664 (чел)	293915 (чел)
7,7 (%)	11,3 (%)	81,3 (%)	7,6 (%)	10,7 (%)	81,6 (%)

Далее, используя статистические данные и формулу 4, была рассчитана внешняя коллективная эффективная доза для населения Брянской области (таблица 12).

Таблица 12. 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

¹³⁶ Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики: <http://www.gks.ru>.

Год	2018	2019	2020	2021	2022	2023
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 КЕ	501,0	479,7	459,5	438,5	417,8	398,6

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 и процесса радиоактивного распада.

Для того, чтобы показать роль почвы в снижении радиационного воздействия продемонстрируем данные K_E для Брянской области без учета экранирующей способности почвенного покрова (таблица 13).

Таблица 13. 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)	126569	123711	120917	118186	115518	112909
Взрослые (город)	154499	151010	147600	144267	141009	137825
Школьники (село)	19676	19231	18797	18373	17957	17552
Школьники (город)	30779	30084	29405	28741	28092	27458
Дошкольники (село)	14638	14307	13984	13668	13359	13058
Дошкольники (город)	21400	20917	20444	19983	19531	19090
Суммарная КЕ	367561	359260	351147	343218	335466	327892

Исходя из расчетных данных, представленных в таблицах 12 и 13 следует, что экранирующая способность почв способствует снижению K_E на три порядка, что ещё раз подчеркивает уникальную защитную роль почвенного покрова.

3.3. Экономическая оценка сорбционной экосистемной услуги почв в условиях радиоактивного загрязнения

Для выполнения четвертого этапа – экономической оценки 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 7)¹³⁷.

$$L_i = S_{ts} * F_r * PR_{tp} * F_{tp} * P \quad (7)$$

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);

¹³⁷ 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.

Параметр PR_{tp} для зерна озимой пшеницы, яровой пшеницы, озимой ржи, картофеля, а также кормовой свеклы был взят из доклада Министерства сельского хозяйства¹³⁸. По данным Минсельхоза за 2020 год средняя урожайность для вышеназванных культур составляет 3,77 т/га; 1,88 т/га; 2,44 т/га; 16,6 т/га и 27,7 т/га соответственно. Средняя урожайность зеленой массы на территории Брянской области, согласно сельскохозяйственным исследованиям, составляет 7,6 т/га, в то время как урожайность сена составляет 2,2 т/га¹³⁹. Значения урожайности силоса и сенажа вычислены, исходя из соотношения средней влажности данных типов продукции и влажности зеленой массы, и оказались равны 5,5 т/га и 3,04 т/га соответственно¹⁴⁰.

Доля площади, выделенная под определенный вид продукции на пашнях (F_{tp}) для пищевых товаров также была взята, исходя из таблицы, представленной на странице 46 доклада Минсельхоза РФ¹³⁸. Процент посевной площади для озимой и яровой пшеницы составил 21,2% и 15,7% соответственно. Процент посевной площади для ржи составляет 1,2%, для картофеля 1,5%, а для кормовой свеклы 1,2%. Доля посевной площади для кормовой продукции на сенокосах была рассчитана, исходя из данных, представленных в Сводном паспорте безопасности проживания на радиоактивно загрязненных территориях Брянской области¹²⁵. По данным расчетам процент площади для заготовки силоса равнялся 45,2%, а для заготовки сенажа и сена 39,1% и 15,6% соответственно.

Средняя цена (P) от производителей продукции для зеленой массы, силоса и сенажа принята на уровне 2,5 тыс. руб./т, в то время как цена на сено

¹³⁸ Сельское хозяйство в России. 2021: Стат. сб. / Росстат. – М., 2021. – 100 с.

¹³⁹ Белоус Н.М., Шаповалов В.Ф., Симоненко Н.К., Смольский Е.В. Влияние удобрений на продуктивность и накопление радионуклидов при возделывании мятликовых трав в одновидовых посевах // Агрехимический вестник. – 2012. – № 5. – С. 22–24.

¹⁴⁰ 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.

принималась равной 3 тыс. руб./т, согласно portalу «Агросервер»¹⁴¹. Средние цены от производителей продукции для зерна озимой пшеницы, яровой пшеницы, озимой ржи, картофеля, а также кормовой свеклы были взяты из доклада Минсельхоза¹³⁸. Они составляли 12,24 тыс. руб./т для зерна озимой и яровой пшеницы; 9,66 тыс. руб./т для зерна озимой ржи; 11,81 тыс. руб./т для картофеля и 2,88 тыс. руб./т. для кормовой свеклы. Для расчета в период с 1987 по 2022 год инфляция не учитывалась, цены для каждого типа продукции брались за 2022 год.

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

$$C_{es} = L_i - L_{(i-1)} \quad (8)$$

В ходе анализа полученных результатов были выделены три временных этапа, в течение которых динамика положительного воздействия природных функций почв на чистоту растениеводческой продукции является наиболее показательной. Был выделен краткосрочный период с 1987 по 1997 год, среднесрочный период с 1987 по 2007 год, а также послеаварийный (долгосрочный) период с 1987 по 2022 год.

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 (таблица 14).

Таблица 14. Размер снижения ущерба для производства пищевой продукции за счет почвенных свойств в Брянской области с 1987 по 2022 год

¹⁴¹ Портал «Агросервер». URL [Электронный ресурс]: <https://agrosver.ru/> (дата обращения: 20.10.2022)

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	76,0	76,0	76,0	76,0	76,0	76,1
	млн руб.	38,9	38,9	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3
Дерново- подзолистая супесчаная	%	0,0	0,0	24,2	24,2	24,2	93,0	93,0	93,0
	млн руб.	136,0	136,0	103,1	103,1	103,1	9,5	9,5	9,5
Дерново- подзолистая суглинистая	%	0,0	0,0	19,0	90,8	90,8	90,8	90,8	100,0
	млн руб.	67,6	67,6	54,8	6,2	6,2	6,2	6,2	0,0
Дерново- подзолистая (общее)	%	0,0	0,0	31,0	51,1	51,1	89,7	89,7	92,3
	млн руб.	242,5	242,5	167,2	118,6	118,6	25,0	25,0	18,7

Расчеты демонстрируют, что в краткосрочный период с 1987 по 1997 год наибольшее снижение загрязнения пищевой продукции – 76%, наблюдается на дерново-подзолистых песчаных почвах, однако, это обусловлено не наиболее эффективными сорбционными почвенными свойствами, а изначально наиболее низким уровнем радиоактивного загрязнения. В среднесрочный период на супесчаных почвах уровень снижения ущерба не отличается от краткосрочного и составляет 24,2%, а для суглинистых почв возрастает от 19,0% до 90,8%. За весь рассматриваемый период размер снижения ущерба для песчаных почв остается равным около 76 процентам, для супесчаных почв составляет 93%, а для суглинистых почв 100%, т.е. дерново-подзолистые суглинистые почвы в течение 35 лет полностью нивелировали ущерб от радиоактивного загрязнения при производстве пищевой продукции, что обусловлено их наиболее выраженными сорбционными свойствами.

При рассмотрении дерново-подзолистых почв в целом выяснилось, что с 1987 по 1997 год они обеспечивают снижение ущерба с 0 до 31% (с 242,5 млн руб. до 167,2 млн руб. в год). В среднесрочный период с 1987 по 2007 год происходит снижение на 51,1% (с 242,5 млн руб. до 118,6 млн руб. в год), а за весь послеаварийный период экономический ущерб сокращается на 92,3% до 18,7 млн. руб. в год.

Таким образом, исходя из представленных расчетов, можно сделать вывод, что за весь рассматриваемый период дерново-подзолистые почвы

почти полностью ликвидировали ущерб от радиоактивного загрязнения сельскохозяйственных территорий Брянской области для производства пищевой продукции. Общий размер предоставленной дерново-подзолистыми почвами экосистемной услуги по снижению радиоактивного загрязнения пищевой продукции оценивается в 4,9 млрд рублей.

Далее проводилась экономическая оценка снижения радиационного воздействия на кормовую продукцию (таблица 15).

Таблица 15. Размер снижения ущерба для производства кормовой 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	9,3	9,3	18,4	18,4	18,4	18,4
	млн. руб.	53,0	53,0	48,1	48,1	43,3	43,3	43,3	43,3
Дерново-подзолистая супесчаная	%	0,0	0,0	15,9	15,9	15,9	16,5	16,5	20,4
	млн. руб.	294,7	294,7	247,8	247,8	247,8	246,2	246,2	234,6
Дерново-подзолистая суглинистая	%	0,0	0,0	31,3	31,3	37,7	37,7	38,1	38,1
	млн. руб.	239,0	239,0	164,1	164,1	148,9	148,9	148,0	148,0
Дерново-подзолистая (общее)	%	0,0	0,0	21,6	21,6	25,0	25,3	25,4	27,4
	млн. руб.	586,7	586,7	456,0	456,0	440,0	438,4	437,5	425,9

Исходя из полученных данных, в краткосрочный период с 1987 по 1997 наибольший размер снижения ущерба для производства кормовой продукции обеспечивался суглинистыми почвами – 31,3%, в то время как супесчаные и песчаные почвы обеспечивали снижение ущерба на 15,9% и 9,3% процента соответственно. В среднесрочный период с 1987 по 2007 год размер снижения ущерба для суглинистых почв возрос до 37,7%, для супесчаных почв он остался на прежнем уровне, а для песчаных увеличился до 18,4%. По состоянию на 2022 год, наибольшее снижение экономического ущерба обеспечили суглинистые почвы – 38,1%. Супесчаные и песчаные почвы снижают ущерб на 20,4% и 18,4% соответственно. Вне зависимости от гранулометрического состава дерново-подзолистые почвы снизили экономический ущерб от радиационного воздействия в период с 1987 по 2022

год на 27,4%, т.е. с 586,7 млн руб. в год до 425,9 млн руб. в год. Исходя из представленных расчетов, размер экосистемной услуги снижения радиационного воздействия для производства растениеводческой продукции составил приблизительно 4,4 млрд. руб.

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-подзолистыми почвами на сельскохозяйственных территориях Брянской области (таблица 16).

Таблица 16. 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.

Далее был выполнен расчет ущерба от радиоактивного загрязнения территорий для сельскохозяйственных предприятий Брянской области на 2022

год методом упущенной выгоды по формуле 7. Рассчитанный размер экономического ущерба из-за невозможности производить на территории сельскохозяйственных предприятий Брянской области кормовую продукцию составляет около 765,3 млн рублей (таблица 17).

Таблица 17. Экономический ущерб сельскохозяйственного комплекса Брянской области от радиоактивного загрязнения на 2022 год

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
Новозыбковский 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
	Сенаж	-6 289,4
	Силос	-10 658,0
	Сено	-2 149,3

Район	Вид продукции	Ущерб (тыс. руб.) от радиоактивного загрязнения
	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^{142,143,144}.

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^{145,146,147}:

$$NPV = -IC + \sum \frac{CFt}{(1+r)^t} \quad (9)$$

¹⁴² Белоус Н.М., Шаповалов В.Ф., Малявко Г.П., Смольский Е.В. Влияние фосфорно-калийных удобрений на урожайность и качество сена многолетних трав в условиях радиоактивного загрязнения // Достижения науки и техники АПК. – 2015. – Т. 29, № 3. – С. 33–35.

¹⁴³ Дробышевская Т.В. Подходы к определению реабилитационных мероприятий радиоактивно загрязненных сенокосов и пастбищ // Международный научно-исследовательский журнал. – 2017. – № 05(59). Ч. 1. – С. 15–24. DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.59.107>.

¹⁴⁴ Чирков Е.П. Научные основы экономической оценки и повышения эффективности лугопастбищного кормопроизводства в условиях Брянской области // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии – 2022. – № 2(90). – С. 39–48. DOI: 10.52691/2500-2651-2022-90-2-39-48.

¹⁴⁵ Как рассчитать чистый дисконтированный доход (формула). [Электронный ресурс]: https://nalog-nalog.ru/analiz_hozyajstvennoj_deyatelnosti_ahd/kak_rasschitat_chistyj_diskontirovannyj_dohod_formula-23/ (дата обращения: 20.03.2023)

¹⁴⁶ Что такое чистый дисконтированный доход (NPV) и как он рассчитывается [Электронный ресурс]: <https://bankstoday.net/last-articles/chistyy-diskontirovannyj-dohod> (дата обращения: 20.03.2023)

¹⁴⁷ Инвестиции: учебник для вузов / под ред. Л.И. Юзвович, С.А. Дегтярева, Е.Г. Князевой. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2016. – 543 с.

где NPV — величина чистого дисконтированного дохода;

IC — первоначальные инвестиции;

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

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^{148,149}.

В качестве первоначальных инвестиций учитывалась стоимость удобрений, вносимых на определенную площадь сельскохозяйственных угодий (формула 10).

$$IC = П \times (Ц(K) \times M(K) + Ц(P) \times M(P)) \quad (10)$$

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

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

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

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

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

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

¹⁴⁸ Постановление Правительства Российской Федерации от 29 декабря 2016 г. № 1528 "Об утверждении Правил предоставления из федерального бюджета субсидий российским кредитным организациям, международным финансовым организациям и государственной корпорации развития "ВЭБ.РФ"

¹⁴⁹ Распоряжение Правительства РФ от 09.03.2022 N 435-р (ред. от 29.10.2022)

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 ($K_{эф}$)¹³⁹. 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./кг.

Потоки денежных средств CF_t рассчитывались по следующей формуле:

$$CF_t = П \times Ур \times Ц \times K_{эф} \quad (11)$$

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 год¹³⁸. Средняя инфляция составила приблизительно 8,6%.

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

$$IRR = \sqrt[t]{\frac{CF}{IC}} - 1 \quad (12)$$

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

IC – первоначальные инвестиции (тыс. руб.);

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.

Помимо того, необходимо отметить, что кроме 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 возможности занятия трудовой деятельностью. Данные факторы проблематично учесть при оценке сорбционной функции в связи с недостатком статистических данных, однако, их можно учесть при составлении общей формулы оценки сорбционной экосистемной услуги:

$$C_{es} = L_i - L_{(i-1)} + F_i - F_{(i-1)} + W_i - W_{(i-1)} + P_i - P_{(i-1)} \quad (13)$$

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 питьевой и технической воды за определенный год (тыс. руб.);

$W_{(i-1)}$ – размер ущерба при использовании питьевой и технической 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.

Также, данные факторы необходимо учитывать и при расчете эффективности проекта по нейтрализации негативного воздействия от радиоактивного загрязнения территорий.

3.4. Экономическая оценка экранирующей услуги почв в условиях радиоактивного загрязнения

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 товар. Среднестатистическая стоимость жизни может быть рассчитана несколькими методиками^{150,151}: демографическим методом, страховых компенсаций, готовности платить и т.д.

Оценим ССЖ россиянина демографическим методом, исходя из уровня размера годового ВВП на душу населения. Для этого необходимо использовать размер ВВП на душу населения, который в 2020 году составил порядка 644, 6 тыс. рублей¹⁵², при этом средняя продолжительность жизни равнялась около 72,0 лет¹⁵³. Таким образом, размер ССЖ для россиянина в 2020 году составил порядка 46,4 млн. рублей.

Также, ССЖ может быть оценен размерами выплат, которые полагаются родственникам погибшего человека в случае его смерти. Если человек погиб в результате теракта, то размер компенсации за его гибель составляет 1 млн. рублей^{154,155}.

Таким образом, по разным оценкам ССЖ в России оценивается приблизительно от 1 млн до 45 млн рублей. Для проведения расчетов было использовано медианное значение – 22,5 млн. рублей. Для того, чтобы оценить стоимость одного года жизни были взяты данные, согласно которым ожидаемая продолжительность жизни в России составила 72,6 лет¹⁵⁶.

¹⁵⁰ Нифантова Р.В., Шипицына С.Е. Современные методические подходы в оценке стоимости человеческой жизни // Экономика региона – №3. 2012. – с. 289 – 294

¹⁵¹ Куклин, А.А., Шипицына С.Е., Нифантова Р.В. Экономическая оценка жизни человека // Екатеринбург: Институт экономики УрО РАН. – 2012.

¹⁵² ЕМИСС. Государственная статистика. [Электронный источник]: <https://fedstat.ru/indicator/61483> (дата обращения 09.01.2023)

¹⁵³ 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)

¹⁵⁴ Постановление Правительства Российской Федерации от 28.12.2019 г. № 1928.

¹⁵⁵ Интерфакс. Семьи погибших при теракте на Крымском мосту получают по 1 млн рублей. [Электронный ресурс]: <https://www.interfax.ru/russia/> (дата обращения: 01.03.2023)

¹⁵⁶ Парламентская газета. Издание Федерального Собрания Российской Федерации. [Электронный ресурс]: <https://www.pnp.ru/social/prodolzhitelnost-zhizni-v-rossii-vyroslo-pochti-na-276-goda-v-2022-g.html> (дата обращения (20.03.2023)

Итак, приведем расчеты ущерба загрязнения территории Брянской области с учетом и без учета экранирующей способности почв, умножив показатели коллективной эффективной дозы (см. пункт 3.2) на среднюю стоимость одного года человеческой жизни в России.

Таблица 18. 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 ^{137}Cs 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 размер экосистемной услуги в период с 2018 по 2022 год составил около 120,1 млрд рублей.

Исходя из столь значительных показателей выгод от экранирующей способности почв, можно сделать вывод об исключительной защитной роли почв для охраны окружающей среды, и, следовательно, о необходимости защиты почвенного покрова.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оценка функций почв, снижающих негативное влияние радиоактивного загрязнения на природные ресурсы и здоровье человека с помощью теории экосистемных услуг, позволяет разработать механизмы управления радиоактивно загрязненными территориями, которые повышают экономическую эффективность их использования путем улучшения их экологического качества. Наиболее значимыми для социально-экономической деятельности человека в условиях радиоактивного загрязнения территорий являются функции почв по поглощению и закреплению радиоактивных элементов, а также по снижению уровня радиационного излучения.

Установлено, что для оценки экосистемных услуг почв в условиях радиоактивного загрязнения является подходящей методология оценки экосистемных услуг, состоящей из семи этапов:

- Анализ социально-экономических проблем территорий, связанных с негативной экологической обстановкой;
- Идентификация экосистемной услуги. Выделение природных структур и процессов, обеспечивающих положительное социально-экономическое влияние на деятельность человека.
- Квантификация. Количественная оценка природных ресурсов в неденежных единицах: площади используемых территорий, массе получаемой продукции и т.д.
- Определение экономической ценности. Оценка получаемых от природного объекта ресурсов в денежном эквиваленте.
- Определение поставщика и собственника экоуслуги.
- Определение получателей выгод (бенифициаров) от экоуслуги.
- Формирование механизма компенсации предоставленной экосистемной услуги.

Общая ценность сорбционной экосистемной услуги почв на территории Брянской области с 1987 по 2022 год составила 9,3 млрд рублей. 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.

В настоящее время, из четырех радиоактивно загрязненных областей РФ, негативное воздействие сохраняется на территории Брянской области. Порядка 60 тыс. га дерново-подзолистых почв нуждается в проведении рекультивационных мероприятий.

Для повышения уровня эффективности управления данными территориями рекомендуется проведение восстановительных мероприятий почв путем внесения в них минеральных удобрений, поглощающих радиоактивные элементы. Положительным побочным эффектом данного мероприятия станет повышение плодородности сельскохозяйственных почв, что обеспечит экономическую выгоду. Рекультивационные мероприятия могут быть осуществлены за счет регионального и федерального бюджетов, а также с использованием средств и технологий государственной корпорации «Росатом» по примеру федеральных проектов в рамках национального проекта «Экология». Суммарный чистый дисконтированный доход в период с 2022 по 2037 год от проведения рекультивационных мероприятий составит порядка 13,5 млрд рублей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сайт Департамента по экономическим и социальным вопросам ООН [Электронный ресурс]. URL: <https://sdgs.un.org/goals/> (дата обращения: 09.01.2023)
2. Сайт Литейного округа МО. Аварии на АЭС [Электронный ресурс]. URL: <https://www.liteiny79.spb.ru/go-i-chs/zashita-ot-chs/923-avariy-na-aes> (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.
5. The Global Risks Report 2022, 17th Edition, is published by the World Economic Forum.
6. 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)
7. Ayres, R.U., Kneese, A.V. Production, consumption, and externalities. The American Economic Review 59, 282–297, 1969.
8. Barnett, H., Morse, C. Scarcity and Growth: The Economics of Natural Resource Availability. John Hopkins University Press, Baltimore, MD, 1963.
9. Boulding, K.E. The economics of the coming spaceship earth. In: Jarrett, H. (Ed.), Environmental quality in a growing economy. John Hopkins University Press, Baltimore, USA, 1966.

10. Clark, C.W. *Mathematical bioeconomics: the optimal management of renewable resources*. John Wiley and Sons, New York., 1976
11. Daly, H.E. On Economics as a Life Science. *Journal of Political Economy* 76, 392–406, 1968.
12. Daly, H.E. *Steady-State Economics*. W.H. Freeman and Co., San Francisco, 1977.
13. Ehrlich, P. *The Population Bomb*. Sierra Club-Ballantine, New York, 1968
14. Georgescu-Roegen, N. Inequality, limits and growth from a bioeconomic perspective. *Review of Social Economy* XXXV, 361–375, 1977.
15. Holling, C.S. Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecological Systems* 4, 1 – 24, 1973.
16. Krutilla, J.V. Conservation Reconsidered. *American Economic Review* 57, 777–786, 1967.
17. Odum, H.T. *Environment, power, and society*. Wiley-Interscience, New York., 1971.
18. Martinez-Alier, J. *Haciendas, plantations, and collective farms: agrarian class societies, Cuba and Peru*. F. Cass, London. 1977.
19. Carson, R., 1962. *Silent Spring*. Houghton Mifflin, Boston.
20. Pearce, D. An intellectual history of environmental economics. *Annual Review of Energy and the Environment* 27, 57–81., 2002.
21. Røpke, The early history of modern ecological economics, *Ecological Economics*, Volume 50, Issues 3–4, 2004, Pages 293-314, ISSN 0921-8009, <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2004.02.012>.
22. Экономика устойчивого развития: учебник / С.Н. Бобылев. — Москва: КНОРУС, 2021. — 672 с. — (Бакалавриат и магистратура)
23. So AY. *Social change and development. Modernization, dependency, and world-system theories*. London: Sage, 1990.
24. Rostow WW. *The world economy. History and prospect*. London: Macmillan, 1978.

25. Tylecote A. The long wave in the world economy: the present crisis in historical perspective. London: Routledge, 1992.
26. Maddison A. The world economy: a millennial perspective. Paris: Development Centre of the Organisation for Economic Co-operation and Development, 2001.
27. Peet R. Theories of development. New York: Guilford Press, 1999.
28. Сайт Банки.ру [Электронный ресурс]. URL: https://www.banki.ru/wikibank/neftyanoy_krizis_1973_goda/ (дата обращения: 10.01.2023)
29. Сайт Информационный портал NoNews [Электронный ресурс]. URL: <https://nonews.co/directory/wordbook/stagflation> (дата обращения: 10.01.2023)
30. Jacobus A. Du Pisani. Sustainable development – historical roots of the concept, *Environmental Sciences*, 3:2, 83-96, 2006. DOI: 10.1080/15693430600688831
31. Ward B, Dubos R. Only one earth – the care and maintenance of a small planet. London: Deutsch, 1972.
32. Erik Gómez-Baggethun, Rudolf de Groot et. al. The history of ecosystem services in economic theory and practice: From early notions to markets and payment schemes, 2009
33. Robert D., Hershey Jr. Worrying Anew Over Oil Imports, *The New York Times*, 1989.
34. The World Conservation Strategy. Prepared by the International Union for Conservation of Nature and Natural Resources (IUCN), 1980.
35. Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future, 1987.
36. AGENDA 21. United Nations Conference on Environment & Development Rio de Janeiro, Brazil, 3 to 14 June 1992.
37. Convention on Biological Diversity. United Nations, 1992.

38. United Nations Convention to Combat Desertification. United Nations, 1994.
39. United Nations Framework Convention on Climate Change. United Nations, 1992.
40. Киотский Протокол к Рамочной Конвенции Организации Объединенных Наций об Изменении Климата. Организация Объединенных Наций, 1998.
41. United Nations. Department of Economic and Social Affairs. Sustainable Development. <https://sdgs.un.org/goals/> (дата обращения: 25.12.2022)
42. Парижское соглашение. URL: https://unfccc.int/files/meetings/paris_nov_2015/application/pdf/paris_agreement_russian_.pdf (дата обращения: 25.12.2022)
43. Меры по борьбе с изменением климата. Сайт ООН. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.un.org/ru/climatechange/paris-agreement> (Дата обращения: 22.07.2022)
44. Правительство Российской Федерации. Распоряжение от 14 апреля 2016 г. N 670-р.
45. Об принятии Парижского соглашения. Правительство Российской Федерации. Постановление от 21 сентября 2019 г. №1228. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://government.ru/docs/37917/> (Дата обращения: 22.07.2022)
46. Заседание Государственного совета по вопросу об экологическом развитии Российской Федерации в интересах будущих поколений. Сайт Кремля. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://kremlin.ru/events/president/news/53602> (Дата обращения: 23.01.2023)
47. Указ Президента Российской Федерации от 4 ноября 2020 г. № 666 "О сокращении выбросов парниковых газов"
48. Правительство Российской Федерации. Распоряжение от 29 октября 2021 г. № 3052-р. Москва

49. Рынок торговли квотами на выбросы: какие у бизнеса перспективы? [Интервью Михаила Казанцева для газеты «Коммерсант». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://epam.ru/ru/media/view/rynok-torgovli-kvotami-na-vybrosy:-kakie-u-biznesa-perspektivy> (Дата обращения: 22.07.2022)

50. Сайт ЮНКТАД. 169 задач к ЦУР. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://unctad.org/webflyer/achieving-sustainable-development-goals-least-developed-countries> (Дата обращения: 23.01.2023)

51. Официальный сайт Евросоюза. Directive 2014/95/EU of the European Parliament and of the Council of 22 October 2014 amending Directive 2013/34/EU as regards disclosure of non-financial and diversity information by certain large undertakings and groups [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:32014L0095> (Дата обращения: 23.01.2023)

52. European commission. Corporate sustainability reporting. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://finance.ec.europa.eu/capital-markets-union-and-financial-markets/company-reporting-and-auditing/company-reporting/corporate-sustainability-reporting_en (Дата обращения: 27.01.2023)

53. Commission proposes new Carbon Border Adjustment Mechanism and revision of the Energy Taxation Directive, as part of the EU Green Deal. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://taxation-customs.ec.europa.eu/news/commission-proposes-new-carbon-border-adjustment-mechanism-and-revision-energy-taxation-directive-2021-07-14_en (Дата обращения: 15.07.2022)

54. Ракинцев Д.С. Функционирование мировых углеродных рынков и формирование политики климатического регулирования в России // Проблемы современной экономики. — 2022. — Т. 83, № 4 — С. 183–185.

55. Трансграничное углеродное регулирование: часто задаваемые вопросы. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.sgs.ru/ru->

ru/news/2022/03/transgranichnoe-uglerodnoe-regulirovanie-co2-chasto-zadavaemye-voprosy (Дата обращения: 22.07.2022)

56. Сайт GRI. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.globalreporting.org/> (Дата обращения: 27.01.2023)

57. Сайт TCFD. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.fsb-tcfd.org/> (Дата обращения: 27.01.2023)

58. Сайт IFRS. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.ifrs.org/groups/international-sustainability-standards-board/> (Дата обращения: 27.01.2023)

59. Integrated Reporting Framework. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.integratedreporting.org/resource/international-ir-framework/> (Дата обращения: 27.01.2023)

60. Сайт SASB. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.sasb.org/> (Дата обращения: 27.01.2023)

61. Сайт CDP. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.cdp.net/en> (Дата обращения: 27.01.2023)

62. Никоноров С. М., Папенков К. В., Талавринов В. А. Инновационные подходы перехода бизнеса к ESG-стратегиям (российский и зарубежный опыт) // Стратегирование: теория и практика. 2022. Т. 2. № 1. С. 49–56. <https://doi.org/10.21603/2782-2435-2022-2-1-49-56>

63. Росатом. Устойчивое развитие. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://rosatom.ru/sustainability/> (дата обращения: 26.12.2022)

64. Газпром. Отчет Группы Газпром о деятельности в области устойчивого развития за 2021 год. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://sustainability.gazpromreport.ru/2021/> (дата обращения: 26.12.2022)

65. S&P Global ESG Scores. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.spglobal.com/esg/solutions/data-intelligence-esg-scores> (Дата обращения: 27.01.2023)

66. ESG Ratings & Climate Search Tool. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.msci.com/our-solutions/esg-investing/esg-ratings-climate-search-tool> (Дата обращения: 27.01.2023)
67. Morningstar Sustainalytics. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.sustainalytics.com/esg-ratings> (Дата обращения: 27.01.2023)
68. ESG индексы и рейтинги РСПП в области устойчивого развития. Сайт РСПП. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://rspp.ru/activity/social/indexes/> (Дата обращения: 27.01.2023)
69. Новый ESG-рэнкинг. Сайт RAEX. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://raex-rr.com/esg/ESG_rating (Дата обращения: 27.01.2023)
70. Сайт ДаСтратегия. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://da-strateg.ru/> (Дата обращения: 27.01.2023)
71. Эко-дело: в ГД предложили отказаться от Парижского соглашения. Сайт Известия. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://iz.ru/1335953/valerii-voronov/eko-delo-v-gd-predlozhili-otkazatsia-ot-parizhskogo-soglasheniia> (Дата обращения: 23.01.2023)
72. Глава Минприроды назвал пиаром идею выхода России из Парижского соглашения по климату. Сайт Форбс. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.forbes.ru/biznes/467101-glava-minprirody-nazval-piaron-ideu-vyhoda-rossii-iz-parizskogo-soglasenia-po-klimatu> (Дата общения 23.01.2023)
73. Вороновский И.Б., Ашмарина Т.И., Цзян Ч., Сяо Я. Вектор развития экологической цивилизации в КНР // Право и управление. №10, 2022
74. Simonov, Eugene & Glazyrina, Irina. Ecological Civilization of China: new challenges or new opportunities for Russia? (In Russian: «Экологическая цивилизация» Китая: новые вызовы или новые перспективы для России?). ЕКО (Journal of Russian Academy of Science on Sustainable Development). P. 53-72, 2015

75. International Energy Agency (IEA). Renewables 2022. Analysis and forecast to 2027. 159 p., 2022
76. Россия в цифрах. 2020: Краткий статистический сборник / Росстат. М.: 2020, стр. 233
77. Экосистемные услуги России: Прототип национального доклада. Т. 1. Услуги наземных экосистем / Ред.-сост. Е.Н. Букварева, Д.Г. Замолодчиков. – М.: Изд-во Центра охраны дикой природы, 2016. – 148 с. ISBN: 978-5-93699-080-9.
78. Costanza, R., Daly, H.E., 1992. Natural capital and sustainable development. *Conservation Biology* 6, 37–46.
79. Jacobus A. Du Pisani. Sustainable development – historical roots of the concept, *Environmental Sciences*, 3:2, 83-96, 2006. DOI: 10.1080/15693430600688831
80. Hartwick, J.M. Intergenerational equity and the investing of rents from exhaustible resources. *American Economic Review* 67, 972–974, 1977.
81. Solow, R.M. On the intergenerational allocation of natural resources. *Scandinavian Journal of Economics* 88, 141–149, 1986.
82. Georgescu-Roegen, N. Comments on the papers by Daly and Stiglitz. In: Smith, V.K. (Ed.), *Scarcity and growth reconsidered*. John Hopkins University Press, Baltimore, pp. 95–105, 1979.
83. Daly, H.E., 1992. Allocation, distribution, and scale: towards an economics that is efficient, just, and sustainable. *Ecological Economics* 6, 185–193.
84. Daily, G.C. *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Island Press, Washington, DC., 1997.
85. Costanza, R., Daly, H. Natural capital and sustainable development. *Conservation Biology* 6, 37–46, 1992.
86. Millennium Ecosystem Assessment. 2005. *Ecosystems and Human Well-being*. UNEP, Island Press, Washington DC, 2005.

87. TEEB Foundations. 'The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundations'. Kumar P (ed), Earthscan, London – 2010 – 410p.
88. Экосистемные услуги России: Прототип национального доклада. Т. 2. Биоразнообразие и экосистемные услуги: принципы учета в России / Сост. Е.Н. Букварева, Т.В. Свиридова. – М.: Изд-во Центра охраны дикой природы, 2020. – 252 с. ISBN: 978-5-93699-105-9.
89. Haines-Young R., Potschin M. Common international classification of ecosystem services (CICES) V. 5.1. Guidance on the Application of the Revised Structure / Fabis Consulting Ltd. – 2018. – p. 53.
90. Устойчивое управление почвенными ресурсами в Евразийском регионе / под ред. С. А. Балюка, Г. М. Хасанхановой, П. В. Красильникова. — Рим: ФАО, 2021. — XII; 123, [1] с.: ил. DOI <https://doi.org/10.4060/cb5827ru>
91. Jón Örvar G. Jónsson, Brynhildur Davíðsdóttir, Classification and valuation of soil ecosystem services, *Agricultural Systems*, Volume 145, 2016, P. 24-38, ISSN 0308-521X, <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.02.010>.
92. Estelle Dominati, Murray Patterson, Alec Mackay, A framework for classifying and quantifying the natural capital and ecosystem services of soils, *Ecological Economics*, Volume 69, Issue 9, 2010, Pages 1858-1868, ISSN 0921-8009, <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2010.05.002>.
93. IUSS Working Group WRB. 2022. World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th edition. International Union of Soil Sciences (IUSS), Vienna, Austria.
94. Классификация и диагностика почв России / Л. Л. Шишов, В. Д. Тонконогов, И. И. Лебедева, М. И. Герасимова. — Ойкумена Смоленск, 2004. — 341 с.
95. Егоров В.В., Иванова Е.Н., Фридланд В.М. Издание: Колос, 1977 г., 225 стр., УДК: 631.44(47+57) (031)

96. Строков А.С., Макаров О.А., Куделин В.Н. и др. Модели взаимосвязи между экономическими, почвенными и климатическими показателями в сельском хозяйстве Липецкой области// Проблемы агрохимии и экологии, № 2, с. 23-30, 2020

97. Kamanina Inna Z., Badawy Wael M., Kaplina Svetlana P. et. al. Assessment of Soil Potentially Toxic Metal Pollution in Kolchugino Town, Russia: Characteristics and Pollution// LAND, v. 12, № 2, p. 1-16, 2023

98. Latawiec, Agnieszka & Rodrigues, Aline & Korys, Katarzyna & Medeiros, Bruna. (2022). Methodical Aspects of Soil Ecosystem Services Valuation. Agricultural Engineering. 26. 39-49. 10.2478/agriceng-2022-0004

99. Каспийская Шестерка: Новая Платформа В Регионе. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://caspien.news/2021/09/30/каспийская-шестерка-новая-платформа/> (Дата обращения: 12.03.23)

100. Федеральный проект «Оздоровление Волги». [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://projects/ekologiya/ozdorovlenie_volgi (Дата обращения: 12.03.23)

101. Jón Örvar, G. Jónsson, Brynhildur Davíðsdóttir, Nikolaos P. Nikolaidis, Georgios V. Giannakis, Tools for Sustainable Soil Management: Soil Ecosystem Services, EROI and Economic Analysis, Ecological Economics, Volume 157, 2019, Pages 109-119, ISSN 0921-8009, <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.11.010>.

102. Конюшков, Д.Е. Формирование и развитие концепции экосистемных услуг: обзор зарубежных публикаций / Д.Е. Конюшков // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. – 2015. – Т.80. – С.26–49.

103. Эколого-экономическая оценка радиоактивно загрязненных естественных и сельскохозяйственных земель Тульской области / Е.В. Цветнов, О.Б. Цветнова, Щеглов А.И., А.С. Рябчук // Вестник Моск. ун-та, почвоведение. – 2012. – Т.17, №3. – С.41–46.

104. Soil function assessment: review of methods for quantifying the contributions of soils to ecosystem services / L. Greiner, A. Keller, A. Grêt-Regamey, A. Papritz // *Land Use Policy*. – 2017. – V.69. – p.224–237.

105. 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. – 225 с.: ил. — ФГБНУ ВНИИРАЭ 249032, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км, 2021. — С. 158–162.

106. Paula A. Harrison, Rob Dunford, David N. Barton et. al. Selecting methods for ecosystem service assessment: A decision tree approach, *Ecosystem Services*, Volume 29, Part C, 2018, Pages 481-498, ISSN 2212-0416, <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.09.016>.

107. Summary for policymakers of the IPBES global assessment report on biodiversity and Ecosystem services Copyright © 2019, Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES) ISBN No: 978-3-947851-13-3

108. Всемирный Банк: определение международного доллара [Электронный ресурс]: <https://datahelpdesk.worldbank.org/knowledgebase/articles/114944-what-is-an-international-dollar> (дата обращения 15.03.2023)

109. Drechsel, P., Giordano, M., Gyiele, L. *Valuing Nutrients in Soil and Water: Concepts and Techniques with Examples from IWMI Studies in the Developing World*. International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka, 2004.

110. San, C.C., Rapera, C.L. The on-site cost of soil erosion by the replacement cost methods in Inle Lake Watershed, Nyaung Shwe Township, Myanmar. *J. Environ. Sci. Manag.* 13, 67–81, 2010.

111. Sandhu, H.S., et.al. The future of farming: The value of ecosystem services in conventional and organic arable land. An experimental approach. *Ecol. Econ.* 64, 835–848, 2008.
112. Van der Putten, et. al., The sustainable delivery of goods and services provided by soil biota. In: Wall, D.H., Wall, D.H. (Eds.), *Sustaining Biodiversity and Ecosystem Services in Soils and Sediments*. Island Press, San Francisco, Ca, 2004.
113. San, C.C., Rapera, C.L. The on-site cost of soil erosion by the replacement cost methods in Inle Lake Watershed, Nyaung Shwe Township, Myanmar. *J. Environ. Sci. Manag.* 13, 2010, p. 67–81.
114. Dominati, E., Mackay, A., Green, S., Patterson, M. A soil change-based methodology for the quantification and valuation of ecosystem services from agro-ecosystems: a case study of pastoral agriculture in New Zealand. *Ecol. Econ.* 100, 2014, p. 119–129.
115. Dominati, E.J., Mackay, A., Lynch, B., Heath, N., Millner, I. An ecosystem services approach to the quantification of shallow mass movement erosion and the value of soil conservation practices. *Ecosys. Serv.* 9, 2014, p. 204–215.
116. Tegtmeier, E.M., Duffy, M.D. External costs of agricultural production in the United States. *Int. J. Agric. Sustain.* 2, 2005, p. 1–20.
117. Jasinski, S.M. Peat, US Geological Survey Minerals Yearbook. US Geological Survey, 2000.
118. Virta, R.L. Clay and Shale, US Geological Survey Minerals Yearbook. US Geological Survey, 2004.
119. «Зеленые» инвестиции «Роснефти» в 2021 г. составили 55 млрд. руб. [Электронный ресурс]. <https://www.rosneft.ru/press/news/item/211311/> (дата обращения: 15.03.2023)
120. «РН-Юганскнефтегаз» отмечает 45-летие производственной деятельности [Электронный ресурс]. <https://www.rosneft.ru/press/news/item/212589/> (дата обращения: 15.03.2023)

121. Отчет Группы Газпром о деятельности в области устойчивого развития за 2021 год [Электронный ресурс]. <https://www.gazprom.ru/f/posts/57/982072/sustainability-report-ru-2021.pdf> (дата обращения: 15.03.2023)

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

123. Росатом. Отчет о прогрессе в области устойчивого развития. 2021. [Электронный ресурс]. https://report.rosatom.ru/go/rosatom/go_rosatom_2021/rosatom_esg_2021.pdf (дата обращения: 15.03.2023)

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

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

126. Дробышевская Т.В. Подходы к определению экономической эффективности реабилитационных мероприятий радиоактивно загрязненных сенокосов и пастбищ // МНИЖ. 2017. №5-1 (59).

127. СанПиН 2.3.2.2650-10 "Дополнения и изменения N 18 к санитарно-эпидемиологическим правилам и нормативам СанПиН 2.3.2.1078-01 "Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов": М., 2010. – 105 с.

128. "ВП 13.5.13/06-01. Государственная система ветеринарного нормирования Российской Федерации. Радиационная безопасность. Ветеринарные правила обеспечения радиационной безопасности животных и продукции животного происхождения. Ветеринарно-санитарные требования к радиационной безопасности кормов, кормовых добавок, сырья кормового.

Допустимые уровни содержания ^{90}Sr и ^{137}Cs . Ветеринарные правила и нормы" (утв. Минсельхозом России 19.12.2000).

129. Ракинцев Д.С. Коммодификация природных процессов, снижающих влияние радиоактивного загрязнения на растениеводческую продукцию // Экономика устойчивого развития. — 2021. — № 4. — С. 156–161.

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

131. Badawy, W.M. Radioactivity measurements and dose rate calculation due to g-ray of soil from Chashnikovo / W.M. Badawy, S.V. Mamikhin // Arab Journal of Nuclear Sciences and Applications. – 2012. – V.45, №2. – p.270–282.

132. Badawy, W.M. Theoretical Approach to Calculate the Exposure Dose Rate Due to Gamma Rays from a Contaminated Pipe with Radioactive Material / W.M. Badawy, S.V. Mamikhin // Arab Journal of Nuclear Sciences and Applications. – 2017. – V.50, №3. – p.197–204.

133. Гольдштейн, Г. Основы защиты реакторов: Пер. с англ. / под ред. Н.И. Лалетина / Г. Гольдштейн: М.: Госатомиздат, 1961.

134. Машкович, В.П. Защита от ионизирующих излучений: Справочник / В.П. Машкович, А.В. Кудрявцева – 4-е изд., перераб. и доп. / В.П. Машкович, А.В. Кудрявцева: М.: Энергоатомиздат, 1995. – 496 с.

135. 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.

136. Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики: <http://www.gks.ru>.

137. 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.
138. Сельское хозяйство в России. 2021: Стат. сб. / Росстат. – М., 2021. – 100 с.
139. Белоус Н.М., Шаповалов В.Ф., Симоненко Н.К., Смольский Е.В. Влияние удобрений на продуктивность и накопление радионуклидов при возделывании мятликовых трав в одновидовых посевах // Агрехимический вестник. – 2012. – № 5. – С. 22–24.
140. 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.
141. Портал «Агросервер». [Электронный ресурс]: <https://agroserver.ru/> (дата обращения: 20.10.2022)
142. Белоус Н.М., Шаповалов В.Ф., Малявко Г.П., Смольский Е.В. Влияние фосфорно-калийных удобрений на урожайность и качество сена многолетних трав в условиях радиоактивного загрязнения // Достижения науки и техники АПК. – 2015. – Т. 29, № 3. – С. 33–35.
143. Дробышевская Т.В. Подходы к определению реабилитационных мероприятий радиоактивно загрязненных сенокосов и пастбищ // Международный научно-исследовательский журнал. – 2017. – № 05(59). Ч. 1. – С. 15–24. DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.59.107>.
144. Чирков Е.П. Научные основы экономической оценки и повышения эффективности лугопастбищного кормопроизводства в условиях Брянской области // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии – 2022. – № 2(90). – С. 39–48. DOI: 10.52691/2500-2651-2022-90-2-39-48.

145. Как рассчитать чистый дисконтированный доход (формула). [Электронный ресурс]: https://nalog-nalog.ru/analiz_hozyajstvennoj_deyatelnosti_ahd/kak_rasschitat_chistyj_diskontirovannyj_dohod_formula-23/ (дата обращения: 20.03.2023)

146. Что такое чистый дисконтированный доход (NPV) и как он рассчитывается [Электронный ресурс]: <https://bankstoday.net/last-articles/chistyj-diskontirovannyj-dohod> (дата обращения: 20.03.2023)

147. Инвестиции: учебник для вузов / под ред. Л.И. Юзвович, С.А. Дегтярева, Е.Г. Князевой. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2016. – 543 с.

148. Постановление Правительства Российской Федерации от 29 декабря 2016 г. № 1528 "Об утверждении Правил предоставления из федерального бюджета субсидий российским кредитным организациям, международным финансовым организациям и государственной корпорации развития "ВЭБ.РФ"

149. Распоряжение Правительства РФ от 09.03.2022 N 435-р (ред. от 29.10.2022)

150. Нифантова Р.В., Шипицына С.Е. Современные методические подходы в оценке стоимости человеческой жизни// Экономика региона – №3. 2012. – с. 289 – 294

151. Куклин, А.А., Шипицына С.Е., Нифантова Р.В. Экономическая оценка жизни человека // Екатеринбург: Институт экономики УрО РАН. – 2012.

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

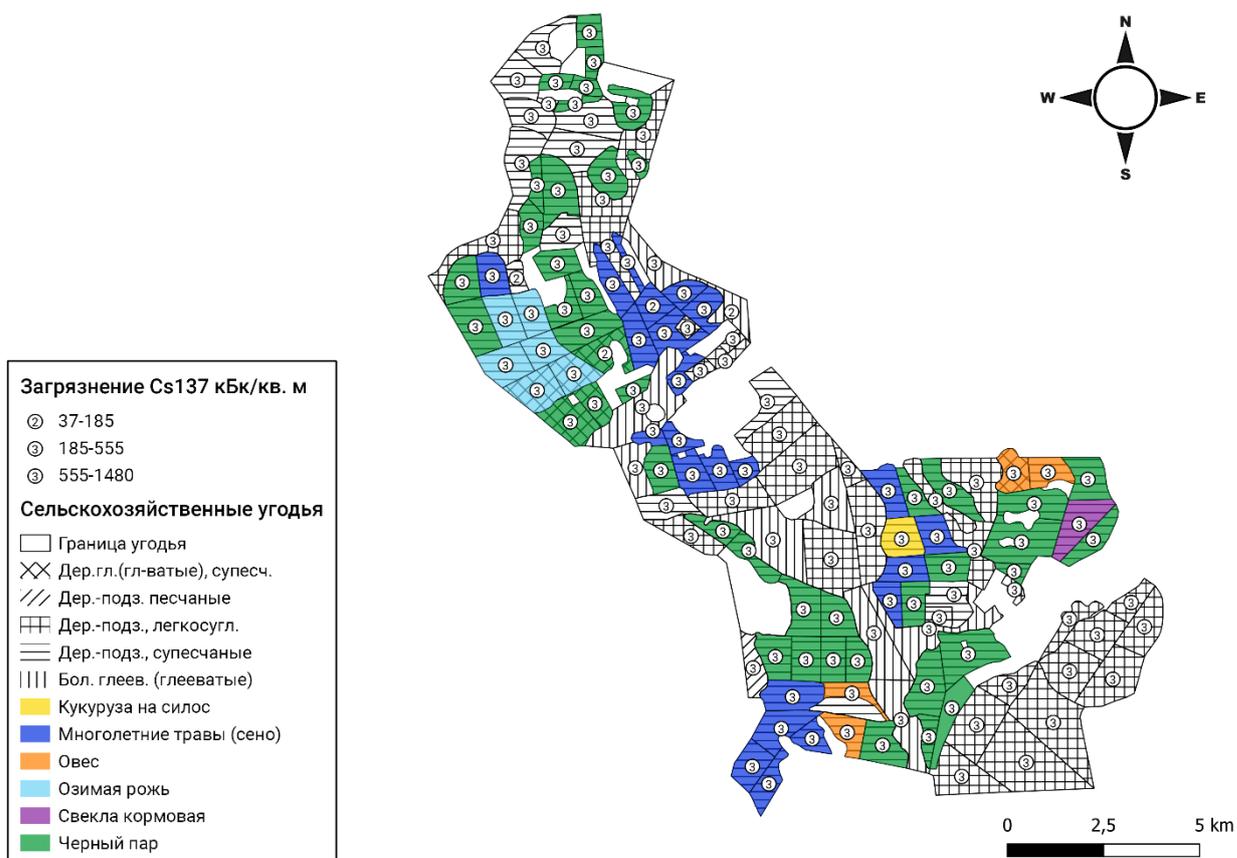
153. Ожидаемая продолжительность жизни при рождении. Федеральная служба государственной статистики (Росстат). [Электронный ресурс]: https://rosstat.gov.ru/free_doc/new_site/population/demo/progn7.htm (дата обращения: 09.01.2023)

154. Постановление Правительства Российской Федерации от 28.12.2019 г. № 1928.

155. Интерфакс. Семьи погибших при теракте на Крымском мосту получат по 1 млн рублей. [Электронный ресурс]: <https://www.interfax.ru/russia/> (дата обращения: 01.03.2023)

156. Парламентская газета. Издание Федерального Собрания Российской Федерации. [Электронный ресурс]: <https://www.pnp.ru/social/prodolzhitelnost-zhizni-v-rossii-vyroslo-pochti-na-276-goda-v-2022-g.html> (дата обращения (20.03.2023))

**Приложение 1. Карта радиоактивного загрязнения разных типов почв
и сельскохозяйственных культур КФХ «Шлома»**



Источник: Ракинцев Д.С. Коммодификация природных процессов, снижающих влияние радиоактивного загрязнения на растениеводческую продукцию // Экономика устойчивого развития. — 2021. — № 4. — С. 156–161.

**Приложение 2. Коммерческая эффективность рекультивации
радиоактивно загрязненных территорий**

Наименование позиций	Вид продукции	Прогнозный период						
		2022	2023	2024	...	2035	2036	2037
Площадь загрязненной территории без рекультивации, га	Зеленая масса	23229	23229	23229	...	23229	23229	23229
	Сенаж	13300	13300	13300	...	13300	13300	13300
	Силос	12403	12403	12403	...	12403	12403	12403
	Сено	5657	5657	5657	...	5657	5657	5657
Площадь загрязненной территории при проведении рекультивации, га	Зеленая масса	23229	177	177	...	177	177	177
	Сенаж	13300	4656	4656	...	4656	4656	4656
	Силос	12403	2976	2976	...	2976	2976	2976
	Сено	5657	1946	1946	...	1946	1946	1946
Площадь восстановленных территорий (S), га	Зеленая масса	0	23052	23052	...	23052	23052	23052
	Сенаж	0	8644	8644	...	8644	8644	8644
	Силос	0	9427	9427	...	9427	9427	9427
	Сено	0	3711	3711	...	3711	3711	3711
Цены (P), тыс. руб./ т.	Зеленая масса	2,5	2,7	2,9	...	7,3	7,9	8,6
	Сенаж	2,5	2,7	2,9	...	7,3	7,9	8,6
	Силос	2,5	2,7	2,9	...	7,3	7,9	8,6
	Сено	3	3,3	3,5	...	8,7	9,5	10,3
	Фосфорные удобрения	42,8	-	-	...	-	-	-
	Калиевые удобрения	49,5	-	-	...	-	-	-
Урожайность продукции (PR), т/га	Зеленая масса	7,6	16,4	7,6	...	7,6	7,6	7,6
	Сенаж	3,04	6,6	3,04	...	3,04	3,04	3,04
	Силос	5,5	11,9	5,5	...	5,5	5,5	5,5
	Сено	2,2	4,8	2,2	...	2,2	2,2	2,2
Изначальные затраты на рекультивацию (IC), млн руб.	Зеленая масса	161,8	-	-	-	-	-	-
	Сенаж	60,7	-	-	-	-	-	-
	Силос	66,2	-	-	-	-	-	-
	Сено	26,1	-	-	-	-	-	-
Суммарные затраты на рекультивацию (IC), млн руб.	Все виды продукции	314,7	-	-	-	-	-	-

Наименование позиций	Вид продукции	Прогнозный период						
		2022	2023	2024	...	2035	2036	2037
Чистый операционный доход при проведении рекультивации (CF), млн руб.	Зеленая масса	-	1027,2	516,3	...	1275,9	1385,3	1504,0
	Сенаж	-	154,1	77,4	...	191,4	207,8	225,6
	Силос	-	303,9	152,8	...	377,6	409,9	445,1
	Сено	-	57,4	28,9	...	71,4	77,5	84,1
	Все виды продукции	-	1542,7	7 754,2	...	1916,3	2080,5	2258,9
	Сумма	2 110,6						
Коэффициент текущей стоимости		1	0,95	0,91	...	0,53	0,51	0,48
Текущая стоимость денежных потоков (NPV), млн руб.	Все виды продукции	-314,7	1469,2	703,3	...	1016,2	1050,8	1086,6
Сумма текущих стоимостей денежных потоков (NPV), млн руб.	Все виды продукции	13 504,7						
Внутренняя норма доходности (IRR), %	Все виды продукции	32,4						