

Научная статья

УДК 338.27

doi:10.37614/2220-802X.3.2024.85.007

## ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛЬНОГО УЩЕРБА ПОЧВАМ ОТ АВАРИЙНЫХ РАЗЛИВОВ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ НА ТЕРРИТОРИИ АРКТИЧЕСКОГО РЕГИОНА

Марина Анатольевна Невская<sup>1</sup>, Виктор Вениаминович Беляев<sup>2</sup>, Светлана Николаевна Пастернак<sup>3</sup>,  
Виктория Викторовна Виноградова<sup>4</sup>, Динара Ильдаровна Шагидулина<sup>5</sup>

<sup>1-5</sup>Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия

<sup>1</sup>ma.nevsk@yandex.ru, ORCID 0000-0001-5049-1328

<sup>2</sup>belyaev\_rosbi@list.ru, ORCID 0000-0002-4296-6386

<sup>3</sup>pasternak\_sn2@pers.spmi.ru, ORCID 0000-0002-9195-2853

<sup>4</sup>Vinogradova\_VV@pers.spmi.ru, ORCID 0009-0001-1905-352X

<sup>5</sup>shagidulina.dinara@mail.ru, ORCID 0009-0003-9539-7812

**Аннотация.** Активизация хозяйственной деятельности компаний по добыче нефти и газа в Арктическом регионе существенно повышает риск негативного воздействия на окружающую среду, что обуславливает необходимость компенсации вероятного ущерба хозяйствующими субъектами. Одним из факторов риска являются аварийные разливы нефти и нефтепродуктов. Особенность аварийных разливов состоит в слабой прогнозируемости, что создает определенные трудности при оценке их последствий и разработке превентивных мер. Имеющиеся прогнозные методики строятся на вероятностной оценке факторов риска разливов, что требует специальных полевых исследований, наличия статистической информации. В работе рассматриваются основные подходы к экономической оценке ущерба окружающей среде, обосновывается необходимость учета арктической специфики. Цель исследования состоит в определении значения наиболее вероятного вреда (ущерба) почвам от аварийных разливов нефти с применением имитационной модели. Наибольшую актуальность данные исследования будут иметь для тех территорий, где площадь нарушенных по причине аварийных разливов нефти и нефтепродуктов земель, согласно имеющимся статистическим данным, наиболее значительна или существенно возросла за последние несколько лет. В Арктическом регионе таким объектом является Усинский район Республики Коми, на примере которого и произведена оценка потенциального ущерба для трех вариантов с различными степенями загрязнения. Результаты исследования позволяют рассматривать потенциальный ущерб как реализацию (с определенными вероятностями) нескольких сценариев, при которых он принимает различные значения. Полученные результаты могут быть использованы недропользователями при разработке мер предупредительного характера, а также контролирующими органами для определения сумм исков компаний.

**Ключевые слова:** Арктический регион, аварийные разливы нефти и нефтепродуктов, имитационное моделирование, оценка ущерба

**Для цитирования:** Оценка потенциального ущерба почвам от аварийных разливов нефти и нефтепродуктов на территории Арктического региона / М. А. Невская [и др.] // Север и рынок: формирование экономического порядка. 2024. № 3. С. 107–122. doi:10.37614/2220-802X.3.2024.85.007.

Original article

## ACCIDENTAL OIL SPILLS IN THE ARCTIC: AN ASSESSMENT OF POTENTIAL SOIL DAMAGE

Marina A. Nevskaya<sup>1</sup>, Victor V. Belyaev<sup>2</sup>, Svetlana N. Pasternak<sup>3</sup>, Victoria V. Vinogradova<sup>4</sup>, Dinara I. Shagidulina<sup>5</sup>

<sup>1-5</sup>Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, St. Petersburg, Russia

<sup>1</sup>ma.nevsk@yandex.ru, ORCID 0000-0001-5049-1328

<sup>2</sup>belyaev\_rosbi@list.ru, ORCID 0000-0002-4296-6386

<sup>3</sup>pasternak\_sn2@pers.spmi.ru, ORCID 0000-0002-9195-2853

<sup>4</sup>Vinogradova\_VV@pers.spmi.ru, ORCID 0009-0001-1905-352X

<sup>5</sup>shagidulina.dinara@mail.ru, ORCID 0009-0003-9539-7812

## ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ АРКТИЧЕСКИХ РЕГИОНОВ И ТЕРРИТОРИЙ

**Abstract.** The intensification of economic activities by oil and gas companies in the Arctic has significantly increased the risk of environmental damage, necessitating compensation for potential harm caused by these businesses. A major risk factor in this context is accidental oil spills, which are particularly challenging to predict, thereby complicating the assessment of their consequences and the development of preventive measures. The most advanced forecasting methods rely on probabilistic assessments of spill risk factors, which require special field studies and statistical data. This research considers the key approaches to the economic assessment of environmental damage, emphasizing the need to consider the unique characteristics of the Arctic. The goal of the study is to estimate the most probable soil damage from accidental oil spills using a simulation model. It will be especially relevant for territories where the area affected by accidental oil spills is considerable or has increased significantly over the past few years, according to available statistical data. In the Arctic, the Usinsky District of the Komi Republic is one such region. Using the case of this district, an assessment of potential damage is conducted for three scenarios with varying levels of pollution. The results enable an evaluation of potential damage, providing different values corresponding to multiple scenarios with distinct probabilities. The findings can inform oil and gas companies in developing preventive measures and assist regulatory authorities in determining appropriate environmental reparations from companies.

**Keywords:** Arctic, oil spills, simulation modeling, damage assessment

**For citation:** Nevskaya M. A., Belyaev V. V., Pasternak S. N., Vinogradova V. V., Shagidulina D. I. Accidental oil spills in the Arctic: An assessment of potential soil damage. *Sever i rynek: formirovanie ekonomicheskogo porjadka* [The North and the Market: Forming the Economic Order], 2024, no. 3, pp. 107–122. doi:10.37614/2220-802X.3.2024.85.007.

### Введение

Арктика — уникальный регион, представляющий собой сложную и уязвимую экосистему [1]. Арктический регион обладает значительным топливно-ресурсным потенциалом [2; 3], имеет большое значение для обеспечения обороноспособности страны [4], но его экосистемы характеризуются крайне низким потенциалом самовосстановления [5], что требует дополнительных мер и затрат как на охрану окружающей среды, так и на предотвращение возможного негативного воздействия на них. В современных исследованиях [6; 7] в большей степени изучены проблемы и методы моделирования риска загрязнения морской акватории [8–10].

На территории Арктического региона осуществляют деятельность более 300 компаний<sup>1</sup>, в том числе 120 занятых добычей, транспортировкой и переработкой углеводородных ресурсов [11; 12]. Деятельность горных и топливно-энергетических компаний имеет широкий спектр воздействий на окружающую среду, в том числе при использовании ими ископаемых энергоресурсов. Несмотря на то что даже в арктических условиях имеется потенциал использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ), позволяющий снизить антропогенную нагрузку на природную среду [13; 14], его развитие также связывают, прежде всего, с добычей и транспортировкой энергоресурсов [15].

При этом рекультивация нарушенных и деградированных земель в данных регионах происходит крайне медленно<sup>2</sup>. В частности, по данным Росстата, площадь нарушенных земель

в регионе по состоянию на конец 2022 г. составила 298 068 га, из которых было рекультивировано 53 675 га (18 %).

Основными причинами нарушения земель в регионе по состоянию на начало 2023 г. являются<sup>3</sup>: разработка месторождений полезных ископаемых (206 991 га, или 78 %) и строительные работы (509 999 га, или 19 %). Оставшиеся 3 % от общей площади нарушенных земель приходятся на прочие причины, в том числе вследствие изыскательских работ (3573 га), размещения промышленных (в том числе строительных) отходов и ТБО (2895 га), утечки нефти, газа, продуктов переработки нефти (645 га). Несмотря на то что доля нарушенных разливами нефти земель невелика, загрязнение почв и грунтов нефтепродуктами представляет для Арктического региона серьезную проблему, поскольку последствия его невозможно полностью устранить.

Согласно доступной информации, около 20 % чрезвычайных ситуаций<sup>4</sup>, произошедших за последние пять лет в Арктической зоне России, связаны с разливами нефти и нефтепродуктов. Аварии на объектах добычи, переработки и транспортировки углеводородов и их производных оказывают негативное воздействие не только на здоровье людей, но и на хрупкую природу региона. Всего за последние пять лет в российской Арктике произошло 40 чрезвычайных ситуаций, которые привели к серьезным социальным и экономическим последствиям. Так, например, в 2020 г. произошла крупная авария в Норильске<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Более 300 компаний стали резидентами Арктической зоны РФ. URL: <https://minvr.gov.ru/press-center/news/bolee-300-kompaniy-stali-reziden-tami-arkticheskoy-zony-rf-32986/> (дата обращения: 07.05.2024).

<sup>2</sup> Сайт Федеральной службы по надзору в сфере природопользования (Росприроднадзор). URL: <https://rpn.gov.ru/> (дата обращения: 17.05.2024).

<sup>3</sup> Там же.

<sup>4</sup> МЧС связало каждую пятую ЧС в Арктике с разливами нефти или нефтепродуктов. URL: <https://www.interfax.ru/russia/903254>; URL: <https://dzen.ru/a/ZHSneHepHhRFecCu> (дата обращения: 15.05.2024).

<sup>5</sup> Катастрофа, какой в Арктике еще не было: хронология аварии в Норильске. URL: <https://fedpress.ru/article/3245009> (дата обращения: 16.05.2024).

## ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ АРКТИЧЕСКИХ РЕГИОНОВ И ТЕРРИТОРИЙ

из-за проседания свай фундамента и разгерметизации одного из резервуаров на ТЭЦ-3 Норильско-Таймырской энергетической компании. Всего разлилось около 21 000 т нефтепродуктов, из которых 6000 т попали в грунт, а остальное — в реку Амбарную. Общая площадь загрязнения составила 180 000 кв. м.

Состояние земельных ресурсов и продолжающееся негативное воздействие на них со стороны крупных компаний определяют необходимость оценки потенциальных последствий этого воздействия с целью объективного определения причиненного ущерба, величины компенсационных платежей и расходов на рекультивацию нарушенных земель, целесообразности превентивных мероприятий.

Основная проблема состоит в том, что аварийные разливы — рискованные события, которые довольно сложно заранее предугадать. В то же время оценка возможных последствий аварий может послужить информацией для хозяйствующих субъектов при разработке различных мер по предупреждению аварийных разливов или принятию ответственности в случае наступления рискованных событий.

Для оценки последствий разливов нефти, в том числе различных техногенных процессов, используются разнообразные методы. Рассмотрим основные из них.

**1. Традиционные методы мониторинга.** Мониторинговые наблюдения включают в себя определение площади и характера загрязнений постфактум. Эти методы позволяют выявить концентрации маркерных загрязняющих веществ в различных природных средах. Например, мониторинг на нефтяных месторождениях позволяет отслеживать развитие техногенных процессов и оценивать степень загрязнения. Такие методы описаны в [16].

**2. Дистанционные методы с применением БПЛА.** В современных условиях мониторинг часто осуществляется с помощью беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Эти методы позволяют проводить оперативное наблюдение и оценку загрязнений на больших территориях без непосредственного контакта с загрязненными объектами.

**3. Подход, основанный на выявлении факторов риска и оценке экономических последствий.** Один из распространенных методов включает выявление факторов риска, их оценку и оценку экономических последствий. Для этого используются различные модели и подходы. Например, в зарубежной литературе описано применение динамических объектно-ориентированных байесовских сетей (DOBN) для моделирования потенциального ущерба от разлива нефтепродуктов в арктической акватории.

Данный метод включает следующие этапы: 1) выявление факторов риска; 2) создание объектно-

ориентированной байесовской сети; 3) экспертную оценку; 4) оценку экологического и экономического ущерба.

Наиболее перспективным подходом является использование системного анализа и комплексного моделирования, которое сочетает в себе элементы стохастических моделей, байесовских сетей и имитационного моделирования. Это позволяет учитывать множество факторов и их взаимосвязи, такие как экологические, экономические и социальные аспекты, а также адаптироваться к изменяющимся условиям окружающей среды.

Байесовские сети (*Bayesian Networks*) позволяют моделировать вероятностные зависимости между различными переменными, что особенно полезно в условиях неопределенности и недостатка данных. Например, в гипотетическом сценарии аварии [17] в Арктическом регионе использование байесовских сетей помогает установить причинно-следственные связи между разными факторами риска и может значительно улучшить точность прогнозирования при поступлении новых данных и обновлении сетевых связей.

И, в то же время, стохастический подход в моделировании позволяет учесть случайный характер некоторых факторов и событий, таких как погодные условия или технические сбои. Это важно, так как Арктический регион отличается высокой изменчивостью климатических и географических условий, что требует гибкости при моделировании и оценке рисков.

Подход, предложенный в исследовании [18], основан на анализе факторов воздействия разлива нефти, учитывает вероятности аварий на судоходстве в Арктике и включает четыре ключевых аспекта: методы восстановления, последствия для окружающей среды, экономические и социальные последствия. Этот многоаспектный анализ, проведенный с использованием платформы ANPFCE, позволяет получить более целостное представление о возможных рисках и их уровнях при разливах нефти. Экспертная оценка существенно дополняет модель, внося элементы человеческого знания и опыта в количественную оценку воздействия.

Для анализа эколого-экономических перспектив российских арктических проектов по добыче нефти и газа на шельфе в работе [19] применяются математические методы исследования. Авторами [20] предложен метод оценки финансового обеспечения мероприятий по ликвидации предполагаемого экологического ущерба при разливах углеводородов на арктических шельфовых нефтегазовых месторождениях.

Использование имитационного моделирования [21] для оценки рисков при разведке морских месторождений газа и нефти [22] также является

## ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ АРКТИЧЕСКИХ РЕГИОНОВ И ТЕРРИТОРИЙ

эффективным инструментом. Оно позволяет заранее просчитать различные сценарии развития событий, оценить их последствия, оптимизировать действия по предотвращению и ликвидации аварий, минимизировать ущерб окружающей среде и сократить экономические потери.

Экономическая оценка негативных последствий строится на категории ущерба. Вместе с тем в действующем законодательстве применяются различные термины для определения негативного воздействия на окружающую среду, а именно «вред» и «ущерб».

В федеральном законе от 10.01.2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» дается определение только понятию «вред окружающей среде» — «негативное изменение окружающей среды в результате её загрязнения, повлекшее за собой деградацию естественных экологических систем и истощение природных ресурсов»<sup>6</sup>.

Ведущими специалистами в области экологического права категории «вред» и «ущерб» раскрываются по-разному. Например, М. М. Бринчук [23] и Г. А. Мисник [24] определяют экологический вред как любое ухудшение окружающей среды вследствие нарушения правовых экологических требований.

В. В. Петров выделяет два вида вреда: экологический и экономический [25]. Экологический вред состоит в негативных изменениях состояния окружающей среды (загрязнение, истощение ресурсов, разрушение экологических систем и т. д.). Под экономическим вредом, в свою очередь, В. В. Петров понимает вред, причиненный интересам природопользователя (потери товарной продукции, порча, упущенная выгода, вынужденные расходы на восстановление имущества и др.).

Понятие «экологического ущерба» рассматривается в работах таких специалистов, как В. В. Никишин, Е. М. Оль, М. А. Шадров, В. В. Петров, Е. В. Лунева.

В. В. Никишин определяет экологический ущерб как утрату (повреждение) компонентов природной среды и как расходы на восстановление ее состояния. По мнению автора, длительно восстанавливаемые и безвозвратные утраты не могут быть восполнены в биологическом плане и должны компенсироваться исключительно в денежном эквиваленте [26]. Аналогичная позиция у авторов [27], считающих, что экологический ущерб — это выраженные в денежной форме невосполнимые утраты вследствие хозяйственной и иной деятельности, которые необходимо компенсировать для восстановления экологической системы.

По мнению Е. В. Луневой, экологический ущерб состоит из возмещения (в натуральном и денежном

эквиваленте) восполнимых негативных изменений окружающей среды, а также компенсации негативных изменений (экологических потерь), которые невозможно восполнить [28].

По мнению авторов, существующие подходы к оценке ущерба от аварийных разливов нефти и нефтепродуктов, основанные на выявлении и оценке факторов риска, не позволяют достаточно полно оценить возможный экономический ущерб, возникающий на данной территории, для объективности определения штрафных выплат контролирующими органами и разработки превентивных мер хозяйствующими субъектами.

*Цель данного исследования* — оценка наиболее вероятного экономического ущерба от аварийных разливов нефти и нефтепродуктов с применением имитационного моделирования на примере Республики Коми.

*Задачи исследования:* выбор методики оценки ущерба от разливов нефтепродуктов; построение модели оценки и оценка потенциального ущерба почвам от загрязнений нефтью и нефтепродуктами.

#### Материалы и методы

Материалы исследования — данные официальной статистики и Федеральной службы по надзору в сфере природопользования.

Методика исследования включает: обоснование объекта, выбор методики расчета величины вреда (ущерба), выбор метода моделирования и получение конечных оценочных результатов.

**Обоснование объекта исследования.** Согласно данным Росприроднадзора, наибольшая доля нарушенных земель (от 71 до 88 % от площади земель Арктического региона за 2020–2022 гг.) приходится на Ямало-Ненецкий автономный округ (ЯНАО), далее следуют Республика Коми, Красноярский край, Ненецкий автономный округ (рис. 1).

Несмотря на сокращение площади нарушенных разливами нефти земель за период 2017–2022 гг. на 7 % (с 695 до 645 га), их общая площадь остается значительной и не компенсируется работами по рекультивации (рис. 2).

Практически вся площадь загрязнений, вызванных разливами нефтепродуктов, приходится на ЯНАО и Республику Коми, являющиеся регионами присутствия крупных нефтегазодобывающих компаний, таких как: ПАО «Газпром нефть», ПАО «ЛУКОЙЛ», ПАО «НК «РосНефть»», ПАО «НОВАТЭК».

По причине такой медленной и незначительной рекультивации по состоянию на 2023 г. доля нарушенных земель от промышленного использования в Республике Коми существенно выросла и составляет 14 % (рис. 3).

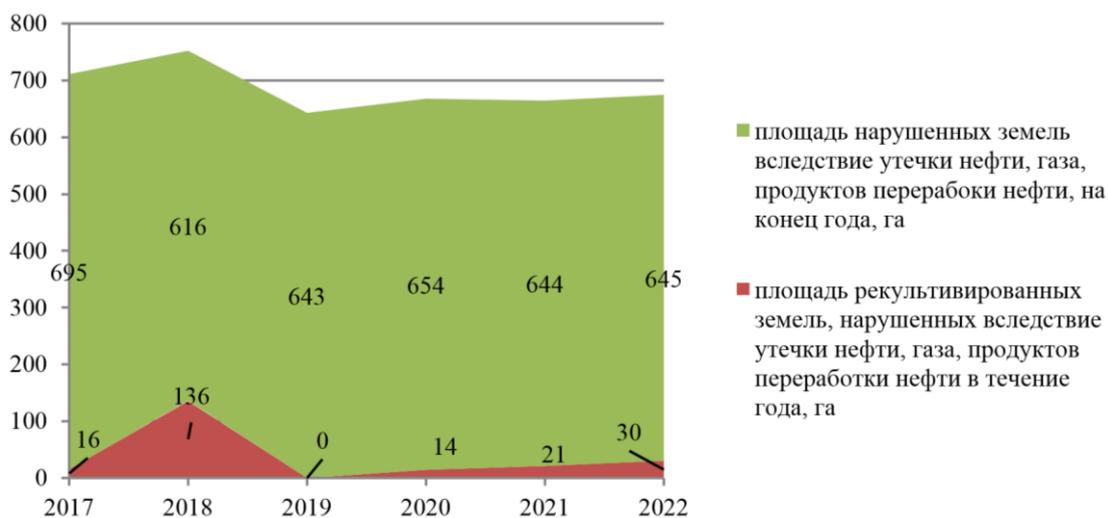
<sup>6</sup> Об охране окружающей среды: федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ // Собрание законодательства РФ. 2002. № 2. С. 133.

## ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ АРКТИЧЕСКИХ РЕГИОНОВ И ТЕРРИТОРИЙ



**Рис. 1.** Динамика площади нарушенных земель в Арктическом регионе.

Источник: составлено авторами по материалам: Сайт Федеральной службы по надзору в сфере природопользования (Росприроднадзор). URL: <https://rpn.gov.ru/> (дата обращения: 17.05.2024)



**Рис. 2.** Динамика площади нарушенных и рекультивированных земель вследствие утечки нефти, газа, продуктов переработки нефти в Арктическом регионе.

Источник: составлено авторами по материалам: Сайт Федеральной службы по надзору в сфере природопользования (Росприроднадзор). URL: <https://rpn.gov.ru/> (дата обращения: 17.05.2024)

По данным некоторых исследований [29], «на каждый гектар, отведенный под добычу нефти и газа (в ЯНАО — прим. авт.), приходится около 0,38 га, деградированных или нарушенных земельных угодий».

Особое беспокойство вызывают темпы рекультивации нарушенных земель вследствие

утечки при транзите нефти и продуктов ее переработки в этих регионах. Так, за 2022 г. в ЯНАО из 111 га нарушенных вследствие утечки нефтепродуктов земель было рекультивировано 29 га (26 %), в Республике Коми из 553 га рекультивирован всего 1 га (менее 1 %).

## ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ АРКТИЧЕСКИХ РЕГИОНОВ И ТЕРРИТОРИЙ

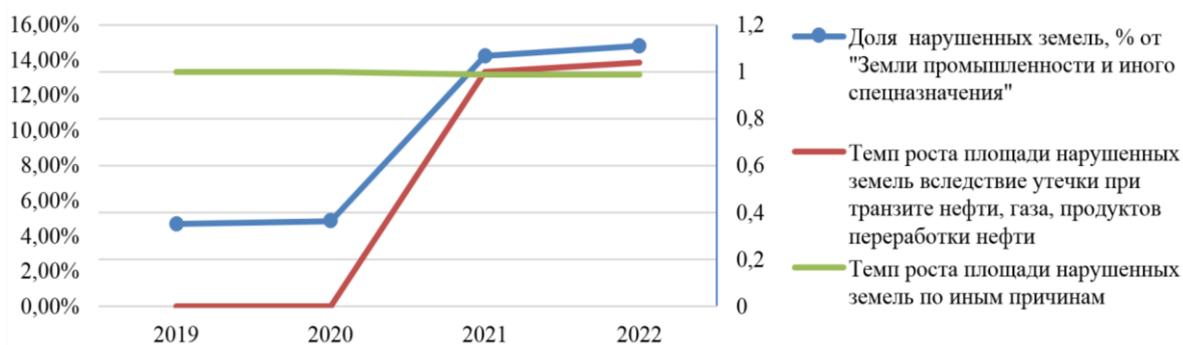


Рис. 3. Динамика нарушения земель в Республике Коми.

Источник: составлено авторами по материалам: Сайт Федеральной службы по надзору в сфере природопользования (Росприроднадзор). URL: <https://rpn.gov.ru/> (дата обращения: 17.05.2024)

На графике представлены цепные темпы роста нарушения земель в Республике Коми вследствие утечки при транзите нефти, газа, продуктов переработки нефти, наглядно иллюстрирующие тот факт, что за период 2019–2022 гг. площадь земель в Республике Коми, нарушенных по этой причине, возросла с полного отсутствия таковых до 542 га.

Учитывая эти обстоятельства, в качестве объекта оценки ущерба от аварийных разливов нефти и нефтепродуктов выбрана территория Республики Коми.

**Выбор методики расчета вреда (ущерба).** В качестве базовой методики для построения модели для оценки возможного ущерба от аварийных разливов нефтепродуктов на территории Арктического региона выбрана законодательно утвержденная Методика исчисления размера вреда (ущерба), причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды (далее — Методика)<sup>7</sup>. Методика предназначена для «исчисления в стоимостной форме размера вреда, нанесенного почвам в результате нарушения законодательства Российской Федерации в области охраны окружающей среды, а также при возникновении аварийных и чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера». Методика также «является основанием для расчета сумм возмещения материального вреда или экологического ущерба почвам» в зависимости от установленных такс для исчисления размера вреда в стоимостной форме.

Размер вреда в результате загрязнения почв, возникшего при поступлении в почву загрязняющих веществ, приводящего к несоблюдению нормативов качества окружающей среды для почв, включая нормативы ПДК и ОДК химических веществ в почве,

региональные нормативы, определяется по формуле:

$$УЩзагр = Сз \times S \times Кг \times Кисп \times Тх \times Кмпс, \quad (1)$$

где УЩзагр — размер вреда (руб.); Сз — степень загрязнения; S — площадь загрязненного участка (м<sup>2</sup>); Кг — показатель, учитывающий глубину загрязнения, порчи почв при перекрытии ее поверхности искусственными покрытиями и (или) объектами (в том числе линейными объектами и местами несанкционированного размещения отходов производства и потребления); Кисп — показатель, учитывающий категорию земель и вид разрешенного использования земельного участка; Тх — такса для исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды (руб/м<sup>2</sup>); Кмпс — показатель, учитывающий мощность плодородного слоя почвы.

Такие параметры, как степень загрязнения, площадь загрязненного участка, глубина загрязнения, носят вероятностный характер. Степень загрязнения зависит от соотношения фактического содержания загрязняющего вещества в почве к нормативу качества окружающей среды для почв.

Для построения имитационной модели необходимо задать вид распределения случайных величин: Сз — степень загрязнения и Кг — показатель, учитывающий глубину загрязнения, который в дальнейшем будем называть коэффициентом глубины.

**Выбор метода моделирования.** Имитация была выполнена с помощью пакета SimDesign [30; 31] в системе R project. Этот пакет для статистических вычислений создан для уменьшения трудоемкости организации имитационного моделирования, для этого разработана и реализована стратегия

<sup>7</sup> Приказ Минприроды России от 08.07.2010 № 238 (ред. от 11.07.2018) «Об утверждении Методики исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды»

(зарегистрировано в Минюсте России 07.09.2010 № 18364) // СПС «Консультант-Плюс» (дата обращения: 17.04.2024).

## ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ АРКТИЧЕСКИХ РЕГИОНОВ И ТЕРРИТОРИЙ

генерации — анализа — обобщения кода (*generate-analyze-summarize coding structure*) в противовес типичной стратегии «зацикливания» (*“for-loop”*).

Поскольку для строгой оценки параметров распределений нет объективных данных, используем косвенные данные и некоторые допущения. В частности, по результатам некоторых публикаций [32] известно, что глубина загрязнения почвы в условиях вечной мерзлоты Заполярья в подавляющем большинстве случаев не превышает 50 см, а коэффициент загрязнения рассчитывается

для глубин до 200 см. Поэтому будем полагать, что функция плотности распределения имеет вид, приведенный на рис. 4, а.

Этот вид отражает идею о том, что значения глубин до 50 см равновероятны, большие значения менее вероятны, а вероятность загрязнения с увеличением глубины резко уменьшается. Например, вероятность глубины загрязнения менее 50 см равна 80 %; соответствующая функция распределения приведена на рис. 4, б.

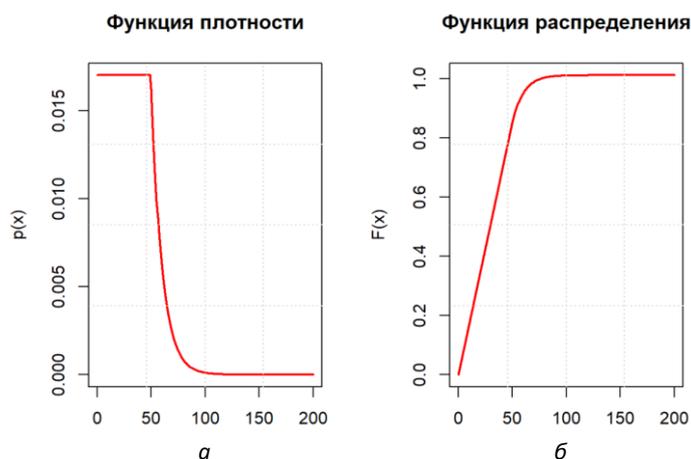


Рис. 4. Функция плотности и функция распределения для моделирования влияния глубины загрязнения.

Источник: составлено авторами

Для исследования относительных частот значений распределения значений коэффициента  $K_g$  первоначально сгенерировали выборку из 10 000 наблюдений, используя распределение, указанное выше, гистограмма частот приведена на рис. 5. Далее по полученной выборке вычислялись значения

коэффициента  $K_g$  в соответствии с методикой<sup>8</sup>, гистограмма приведена на рис. 6. Визуальный анализ распределения значений коэффициента  $K_g$  показывает, что он меняется в интервале от 1 до 2, при этом среднее значение, равное 1,5, реализуется наиболее часто, значения, равные 2, реализуются редко.

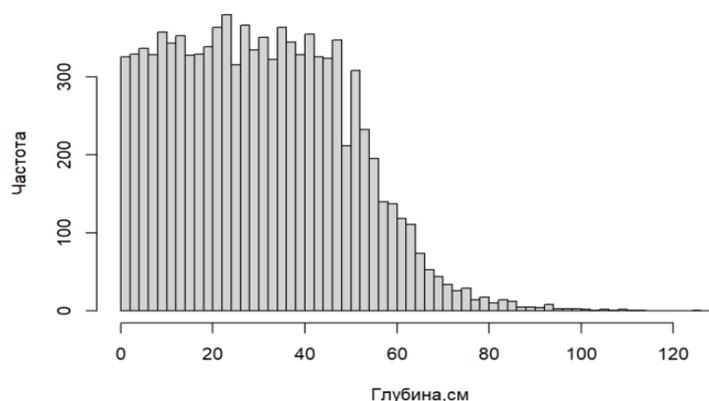


Рис. 5. Результат моделирования глубины загрязнения. Источник: составлено авторами

<sup>8</sup> Приказ Минприроды России от 08.07.2010 № 238 (ред. от 11.07.2018) «Об утверждении Методики исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды»

(зарегистрировано в Минюсте России 07.09.2010 № 18364) // СПС «Консультант-Плюс» (дата обращения: 17.04.2024).

## ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ АРКТИЧЕСКИХ РЕГИОНОВ И ТЕРРИТОРИЙ

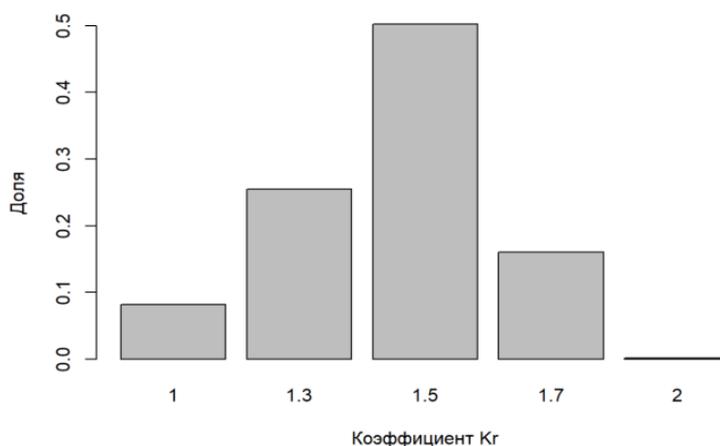


Рис. 6. Распределение значений коэффициента Kg. *Источник:* составлено авторами

Для построения имитационной модели необходимо задать вид распределения случайных величин степени загрязнения. Для расчета этого показателя необходимо знать предельно допустимый (ПД) и фактический уровень (ФУ) загрязнения. Если ПД уровень для каждого района известен<sup>9</sup>, то такой информации о ФУ в открытых источниках обнаружить не удалось. Поэтому, опираясь на соображения общего характера, проведем расчеты с тремя возможными видами

распределения степени загрязнения.

В качестве первого возможного варианта будем полагать, что функция плотности распределения имеет треугольный вид с параметрами: минимальное значение равно 1, максимальное значение равно 15, мода равна 5. Такой вид распределения описывает ситуацию, когда средние степени загрязнения более вероятны, чем очень низкие или высокие. Этот вариант обозначим как вариант Tri (рис. 7).

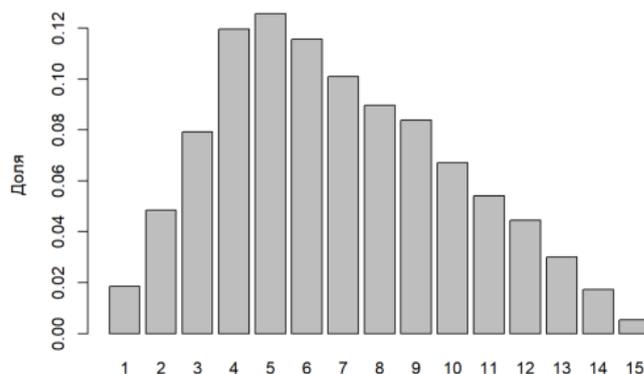


Рис. 7. Распределение значений коэффициента Sz. Вариант Tri. *Источник:* составлено авторами

В качестве второго возможного варианта будем полагать, что распределение является экспоненциальным. Такой вид распределения описывает ситуацию, когда низкие степени загрязнения более вероятны, чем высокие. Этот вариант обозначим как вариант Exp (рис. 8).

В качестве третьего возможного варианта будем полагать, что распределение является равномерным,

то есть все степени загрязнения являются равновероятными. Этот вариант обозначим как вариант Uni.

Для исследования относительных частот первоначально сгенерировали выборку из 10 000 наблюдений, используя указанные три вида распределения, гистограммы частот приведены на рис. 7–9.

<sup>9</sup> Нормативы фоновое содержания химических элементов и углеводородов в почвах Республики Коми // Приказ Минприроды Республики Коми от 25.11.2009 № 529 «Об установлении нормативов

фоновое содержания химических элементов и углеводородов в почвах Республики Коми».

## ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ АРКТИЧЕСКИХ РЕГИОНОВ И ТЕРРИТОРИЙ

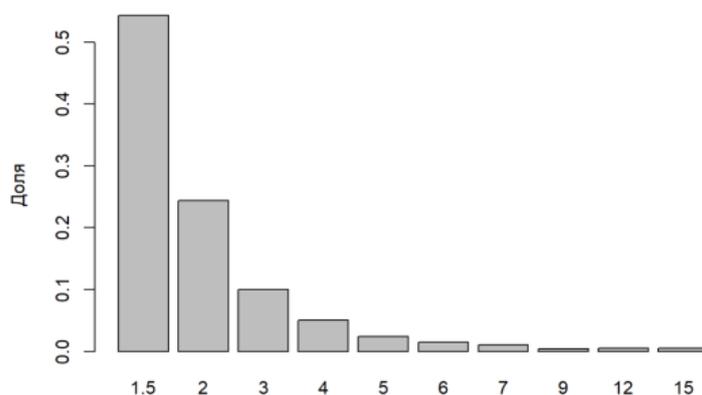


Рис. 8. Распределение значений коэффициента  $S_z$ . Вариант Exp. Источник: составлено авторами

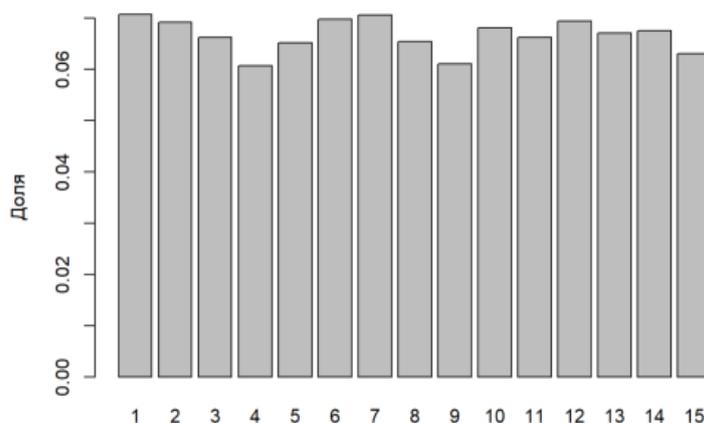


Рис. 9. Распределение значений коэффициента  $S_z$ . Вариант Uni. Источник: составлено авторами

Используя формулу (1) для моделирования расчета «загрязненности» 1 м<sup>2</sup> территории с учетом глубины загрязнения, введем следующее соотношение:

$$УЦзагрМ2 = Ксобытия \times Кместа; \quad (2)$$

$$Ксобытия = S_z \times K_g; \quad (3)$$

$$Кместа = K_{исп} \times T_x \times K_{мпс}. \quad (4)$$

В данном случае  $Ксобытия$  — загрязненность 1 м<sup>2</sup>, удельное значение немонетизированного вреда, причиненного единице площади почв (размер вреда/м<sup>2</sup>).

При этом первый сомножитель  $Ксобытия$  является случайным показателем и становится известным только после события, повлекшего загрязнение. Второй сомножитель  $Кместа$  является величиной условно постоянной и зависит от места нахождения добычи и маршрутов транспортировки нефти.

С учетом введенных обозначений размер вреда<sup>10</sup> в результате загрязнения почв может быть рассчитан по формуле:

$$УЦзагр = УЦзагрМ2 \times S, \quad (5)$$

где  $S$  — площадь загрязнения, м<sup>2</sup>.

Проведем имитационное моделирование расчета  $Ксобытия$ , используя распределения величин  $S_z$  и  $K_g$ , указанные выше.

### Результаты

В результате моделирования для каждого из трех вариантов распределения степени загрязнения были получены значения медианы, среднего и децилей распределения величины  $Ксобытия$ .

Результаты приведены в таблице.

<sup>10</sup> Приказ Минприроды России от 08.07.2010 № 238 (ред. от 11.07.2018) «Об утверждении Методики исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды»

(зарегистрировано в Минюсте России 07.09.2010 № 18364) // СПС «Консультант-Плюс» (дата обращения: 17.04.2024).

## ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ АРКТИЧЕСКИХ РЕГИОНОВ И ТЕРРИТОРИЙ

Оценки параметров распределения значений Ксобытия (размер вреда/м<sup>2</sup>)

Параметры		Модель Сз		
Наименование	Обозначение	Exp	Tri	Uni
Среднее	Mean	3,27	9,85	11,53
Медиана	Mediana	<b>2,48</b>	<b>9,17</b>	<b>11,31</b>
Мин	min	1,51	1,64	1,19
Дециль01	dec01	1,95	4,29	3,00
Дециль02	dec02	2,11	5,67	5,08
Дециль03	dec03	2,25	6,81	7,16
Дециль04	dec04	2,28	7,95	9,24
Дециль05	dec05	2,48	9,17	11,31
Дециль06	dec06	2,72	10,56	13,38
Дециль07	dec07	3,03	12,08	15,51
Дециль08	dec08	3,77	13,93	17,81
Дециль09	dec09	5,38	16,48	20,29
макс	max	17,03	22,73	24,85
Децильный размах	D	3,43	12,19	17,29

Примечание. Источник: составлено авторами.

Анализируя таблицу, можно получить априорную оценку интервала значений Ксобытия (размер вреда/м<sup>2</sup>). Например, отбрасывая 10 % наименьших и наибольших значений, получим интервал, в который попадут 80 % возможных значений. Первый и девятый децили (dec01 и dec09) являются нижней и верхней границами этого интервала. При этом ширина этого интервала называется децильным размахом (D), который характеризует абсолютную разницу между значениями девятого (верхнего) и первого (нижнего) децилей. Эту характеристику можно рассматривать как меру разброса значений, наибольший размах наблюдается для модели Uni, наименьший — для модели Exp. При этом децильный размах D для модели Exp практически в 5 раз больше модели Uni, то есть если справедлива первая модель, то неопределенность в оценке ущерба существенно ниже по сравнению с оценками, полученными другими моделями.

Отметим, что децильный размах D является не единственной оценкой разброса возможных значений Ксобытия. Возможно, в некоторых вариантах целесообразно для оценки разброса использовать усеченный вариант размаха, отбрасывая 20 % наименьших и наибольших значений, с этой целью используем найденные значения второго и восьмого децилей (dec02 и dec08).

Графически результаты представлены на рис. 10–13. Анализируя эти модели, можно сделать вывод, что вред от загрязнения квадратного метра существенно различается: средний размер вреда, приходящегося на квадратный метр, для моделей Tri и Uni в 3,6 и 4,5 раза больше, чем для модели Exp (см. таблицу). Это подтверждает идею о том, что последняя модель является наиболее оптимистичной, поскольку для нее справедливо допущение о более вероятном загрязнении на меньших глубинах.

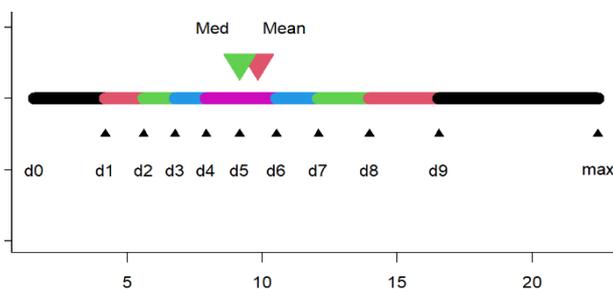


Рис. 10. Параметры распределения значений Ксобытия (размер вреда/м<sup>2</sup>) для варианта Tri.

Источник: составлено авторами

## ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ АРКТИЧЕСКИХ РЕГИОНОВ И ТЕРРИТОРИЙ

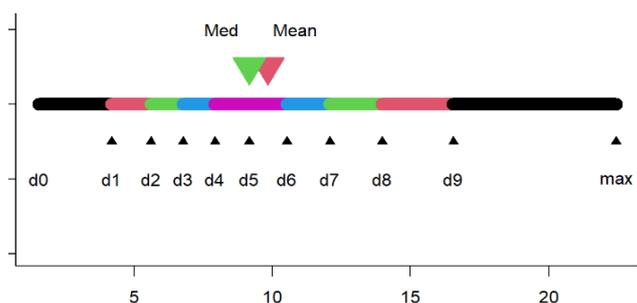


Рис. 11. Параметры распределения значений Ксобытия (размер вреда/м<sup>2</sup>) для варианта Exp.

Источник: составлено авторами

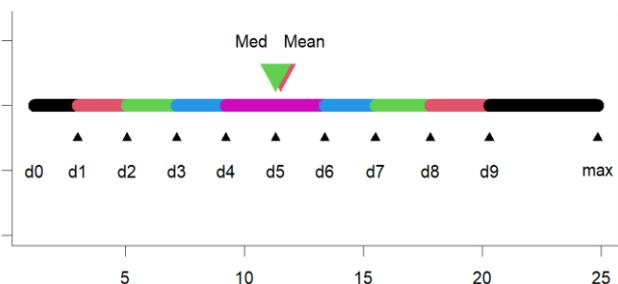


Рис. 12. Параметры распределения значений Ксобытия (размер вреда/м<sup>2</sup>) для варианта Uni.

Источник: составлено авторами

На рисунках 10–12 представлены параметры распределения значений Ксобытия. Анализируя эти рисунки, можно визуальнo оценить величины центральных интервалов, то есть интервалов возможных значений, полученных отсечением самых малых и больших значений. Например, 80 %-й центральный интервал получен отбрасыванием 10 % значений с каждой стороны. Этот интервал для каждого из распределений изображен отрезком, полученным отбрасыванием черных отрезков с концов диапазонов возможных значений. Децильный размах D является длиной этого 80 %-го центрального интервала.

Аналогично 60 %-й центральный интервал, может быть получен отбрасыванием 20 % значений с каждой стороны. Этот интервал для каждого из распределений изображен отрезком, полученным отбрасыванием отрезков, выделенных черным и красным, от границы диапазона возможных значений.

При экономических расчетах во многих случаях (когда результат является случайной величиной) целесообразно проводить несколько вариантов расчета: оптимистический, пессимистический и «средний — центральный». В случае расчета величины ущерба возможно в качестве оптимистического варианта брать значение первого дециля, пессимистического — девятого дециля, «среднего — центрального» — пятого дециля или медианы.

Полученные значения Ксобытия (руб/м<sup>2</sup>) позволяют определить величину потенциального ущерба, причиненного почвам, с учетом площади загрязнения и условий местоположения.

В качестве примера авторами выбран Усинский район Республики Коми, на территории которого за последние десять лет было зарегистрировано самое большое количество случаев разлива нефти. Лесные участки, расположенные на границах населенных пунктов МО ГО «Усинск», относятся к зоне притундровых лесов и редкостойной тайги, району притундровых лесов и редкостойной тайги Европейско-Уральской части Российской Федерации. Значение таксы для зоны притундровых лесов и редкостойной тайги, в соответствии с Методикой, равно 900 руб/м<sup>2</sup>, Кисп для земель, на которых располагаются леса, — 1,5 (п. 8 Методики), Кмпс — 1 (в случае отсутствия плодородного слоя или недоказанности его наличия, п. 13 Методики).

Значение Кместа рассчитаем по формуле (4):  

$$Кместа = 1,5 \times 900 \times 1 = 1\,350.$$

Медианное значение Ксобытия (см. таблицу):  
 Ксобытия Tri = 9,17 руб/м<sup>2</sup>; Ксобытия Exp = 2,48 руб/м<sup>2</sup>; Ксобытия Uni = 11,31 руб/м<sup>2</sup>.

Далее оценим ущерб одного квадратного метра по формуле (2):

$$УЩзагрM2 \text{ Exp} = 2,48 \times 1350 = 3\,348 \text{ руб/м}^2;$$

$$УЩзагрM2 \text{ Tri} = 9,17 \times 1350 = 12\,379,5 \text{ руб/м}^2;$$

## ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ АРКТИЧЕСКИХ РЕГИОНОВ И ТЕРРИТОРИЙ

$$\text{УЩзагрM2 Uni} = 11,31 \times 1350 = 15\,268,5 \text{ руб/м}^2.$$

Площадь загрязнения  $S$  примем равной 1,3 га (13 000 м<sup>2</sup>) на примере аварийного разлива нефти в мае 2021 г. в Республике Коми и Ненецком автономном округе.

Размер вреда в результате загрязнения почв рассчитаем по формуле (5):

$$\text{УЩзагр Exp} = 3\,348 \times 13000 = 43\,524 \text{ тыс. руб.};$$

$$\text{УЩзагр Tri} = 12\,379,5 \times 13000 = 160\,933,5 \text{ тыс. руб.};$$

$$\text{УЩзагр Uni} = 15\,268,5 \times 13000 = 198\,490,5 \text{ тыс. руб.}$$

Таким образом, в зависимости от степени загрязнения величина ущерба почвам в рассматриваемом примере может составлять: при наиболее вероятной низкой степени загрязнения 43,5 млн руб., при наиболее вероятной средней степени загрязнения 160,9 млн руб. Если же все степени загрязнения являются равновероятными, то размер ущерба составит чуть более 198,4 млн руб.

### Обсуждение и выводы

Авторами предложена модель оценки наиболее вероятного экономического ущерба от аварийных разливов нефти на территории Арктического региона на основе действующей Методики, утвержденной приказом Минприроды России.

Модель позволяет получить прогнозные значения показателей экономического ущерба, причиненного почвам, в условиях ограниченной информации без применения экспертных методов и оценки факторов риска.

Показатели, установленные Методикой, позволили при помощи имитационной модели разработать три сценария оценки величины предполагаемого экономического ущерба, приходящегося на 1 м<sup>2</sup> площади, учитывающих прогнозируемые параметры загрязнения территорий Арктического региона и предполагаемые места расположения объекта.

В традиционных экономических расчетах принято использовать среднее значение случайной величины (математическое ожидание), однако во многих случаях эта оценка «центральности» не всегда оправдана, поскольку она чувствительна к выбросам (экстремально большим или малым значениям). Медианное значение лишено указанного недостатка, что обусловило его выбор в качестве среднего значения.

На основании произведенных авторами расчетов можно сделать вывод, что величина ущерба в результате загрязнения почв зависит от степени, глубины и площади загрязнения, носящих

вероятностный характер, и от характеристик места, учитывающих категорию земель, мощность плодородного слоя и таксу для исчисления размера вреда почвам как объекту окружающей среды.

На примере Усинского района Республики Коми, где располагаются производственные объекты крупнейших нефтедобывающих компаний РФ, выполнен расчет экономического ущерба с применением данных публикации<sup>11</sup>, согласно которым компания «Лукойл-Коми» выплатила 374 млн рублей компенсации за причиненный почвам и водным ресурсам в результате разлива нефти ущерб. Учитывая, что территория Усинского района наиболее подвержена таким воздействиям и является одной из наиболее загрязненных в Республике Коми, можно считать, что полученное с помощью модели значение ущерба почвам в 198,4 млн рублей адекватно отражает реальную ситуацию. Следует отметить, что, по данным той же публикации, величина оцениваемого экспертами ущерба составляла от ста до миллиарда рублей.

Полученные данные позволят сопоставить прогнозируемые финансовые потери в случае причинения ущерба почвам, затраты на их рекультивацию после аварийного разлива нефтепродуктов (дорогостоящий и трудоемкий процесс, который не всегда гарантирует полное восстановление почвы и экосистем), а также затраты на меры по предотвращению аварийных разливов нефти.

Разработанная модель может использоваться в качестве дополнения к существующим методам и применяться как территориальными контролирующими органами для расчета исковых сумм, так и коммерческими организациями для разработки сценариев превентивных мер, направленных на предупреждение возможных негативных последствий (причинения вреда почвам) от аварийных разливов нефти, а также для определения направлений и повышения качества планируемых мероприятий, включаемых в Планы по предупреждению и ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов, для формирования финансовых резервов или страхования ответственности в случае наступления рисков событий.

Авторы понимают, что предложенный подход имеет свои недостатки: как и большинство общепринятых методик, он не адаптирован к конкретной ситуации, а опирается на утвержденные критерии оценки. Поэтому дальнейшие исследования предполагают формирование и обобщение статистической информации для повышения качества модели.

<sup>11</sup> Лукойл в Коми выплатил 374 млн. рублей за нефтеразлив. URL: [https://iadevon.ru/news/society/lukoil\\_v\\_komi\\_viplatil\\_374 mln\\_rublej\\_za\\_nefterazliv-11873/](https://iadevon.ru/news/society/lukoil_v_komi_viplatil_374 mln_rublej_za_nefterazliv-11873/) (дата обращения: 17.05.2024).

## Список источников

1. Череповицын А. Е., Цветков П. С., Евсеева О. О. Критический анализ методических подходов к оценке устойчивости арктических нефтегазовых проектов // Записки Горного института. 2021. Т. 249. С. 463–478.
2. Cherepovitsyn A. E., Tsvetkova A. Yu., Komendantova N. E. Approaches to assessing the strategic sustainability of high-risk offshore oil and gas projects // Journal of Marine Science and Engineering. 2020. No. 8. P. 1–31. DOI: 10.3390/jmse8120995.
3. Katysheva E. Analysis of the Interconnected Development Potential of the Oil, Gas and Transport Industries in the Russian Arctic // Energies. 2023. 16. 3124. DOI: 10.3390/en16073124.
4. Dmitrieva D., Chanysheva A., Solovyova V. A Conceptual Model for the Sustainable Development of the Arctic's Mineral Resources Considering Current Global Trends: Future Scenarios, Key Actors, and Recommendations // Resources. 2023. 12. 63. DOI: 10.3390/resources12060063.
5. Пашкевич М. А., Данилов А. С. Слово редактора. Экологическая безопасность и устойчивое развитие // Записки Горного института. 2023. Т. 260. С. 153–154.
6. Khalturin A., Parfenchik K. D., Shpenst V. Features of Oil Spills Monitoring on the Water Surface by the Russian Federation in the Arctic Region // J. Mar. Sci. Eng. 2023. 11. 111. DOI: 10.3390/jmse11010111.
7. Semenova T., Martínez Santoyo J. Y. Economic strategy for developing the oil industry in Mexico by incorporating environmental factors // Sustainability. 2024. No. 16. P. 36. DOI: 10.3390/su16010036.
8. An ecological risk assessment model for Arctic oil spills from a subsea pipeline / E. Arzaghi [et al.] // Marine Pollution Bulletin. 2018. No. 135. P. 1117–1127. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2018.08.030/.
9. Wenning R. J., Robinson H., Bock M., Rempel-Hester M. A., Gardiner W. Current practices and knowledge supporting oil spill risk assessment in the Arctic // Marine Environmental Research. 2018. No. 141. P. 289–304. DOI: 10.1016/j.marenvres.2018.09.006.
10. Peng J. et al. Risk assessment of oil spills along the coastline of jiaozhou bay using GIS Techniques and the MEDSLIK-II Model // Water. 2024. No. 7. P. 16. DOI:10.3390/w16070996.
11. Kirsanova N., Nevskaya M., Raikhlin S. Sustainable Development of Mining Regions in the Arctic Zone of the Russian Federation // Sustainability. 2024. 16. 2060. DOI: 10.3390/su16052060.
12. Evaluating the Downstream Development Strategy of Oil Companies: The Case of Rosneft / O. Marinina [et al.] // Resources. 2022. 11. 4. DOI: 10.3390/resources11010004.
13. Nguyen M. P., Ponomarenko T., Nguyen N. Energy transition in Vietnam: a strategic analysis and forecast // Sustainability. 2024. 16. 1969. DOI: 10.3390/su16051969.
14. Лицзюань Чжан, Пономаренко Т. В., Сидоров Д. В. Оценка чистых угольных технологий с применением технологии улавливания, утилизации и хранения углерода в угольной промышленности Китая // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2024. № 2. С. 105–128. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2024\_2\_0\_105.
15. Стоянова А. Д., Трофимец В. Я., Матрохина К. В. Методический подход к рейтинговой оценке компаний Арктической зоны на основе показателей устойчивого развития // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2024. № 6. С. 149–162. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2024\_6\_0\_149.
16. Применение беспилотной аэрофотосъемки для диагностики техногенной трансформации природной среды при эксплуатации нефтяного месторождения / С. А. Бузмаков [и др.] // Записки Горного института. 2023. Т. 260. С. 180–193.
17. Sajid Z., Khan F., Veitch B. Dynamic ecological risk modelling of hydrocarbon release scenarios in Arctic waters // Marine Pollution Bulletin. 2020. Vol. 153. P. 111001. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2020.111001.
18. Quantifying Arctic oil spilling event risk by integrating an analytic network process and a fuzzy comprehensive evaluation model / Chen Xinqiang [et al.] // Ocean & Coastal Management. 2022. 228. P. 106326. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2022.106326.
19. Кудрявцева О. В., Серебренников Е. В. Использование математических методов исследования для анализа эколого-экономических перспектив российских арктических нефтегазодобывающих шельфовых проектов // Russian Journal of Economics and Law. 2022. 16. 3. 535–547. DOI: 10.21202/2782-2923.2022.3.535-547.
20. Кудрявцева О. В., Серебренников Е. В. Вопросы экологического страхования арктических нефтегазодобывающих шельфовых проектов // Вестник Российского экономического университета имени Г. В. Плеханова. 2023. 20. 1. 76–88. DOI: 10.21686/2413-2829-2023-1-76-88.
21. Oil Spill Modeling: A Critical Review on Current Trends, Perspectives, and Challenges / P. Keramea [et al.] // J. Mar. Sci. Eng. 2021. 9. 181. DOI: 10.3390/jmse9020181.
22. Kruk M. N., Nikulina A. Y. Economic estimation of project risks when exploring sea gas and oil deposits in the Russian arctic // International Journal of Economics and Financial Issues. 2016. No. 6. P. 138–150.

## ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ АРКТИЧЕСКИХ РЕГИОНОВ И ТЕРРИТОРИЙ

23. Бринчук М. М. Правовое регулирование отношений по поводу стихийных бедствий // Правовое регулирование проблем безопасности: сборник статей. М., 2002. С. 7–29.
24. Мисник Г. А. Возмещение экологического вреда в российском праве: монография. М.: Проспект, 2007. С. 12.
25. Петров В. В. Понятие и правовое регулирование национальной безопасности Российской Федерации // «Черные дыры» в Российском Законодательстве. 2011. № 4. С. 131–136.
26. Никишин В. В. Теоретические проблемы возмещения экологического вреда: идеи В. В. Петрова и современность // Экологическое право. 2009. № 2/3. С. 28–33.
27. Оль Е. М., Шадров М. А. Соотношение правовых категорий «вред», «ущерб», «убытки» в экологической сфере // Ленинградский юридический журнал. 2016. № 3. С. 184–190.
28. Лунева Е. В. Эколого-правовое регулирование рационального природопользования: междисциплинарный аспект // Вестник Университета имени О. Е. Кутафина. 2019. № 1. С. 53.
29. Недикова Е. В., Недиков К. Д. Особенности рационального использования и воспроизводства природных ресурсов Ямало-Ненецкого автономного округа // Экономика и экология территориальных образований. 2020. Т. 4, № 1. С. 34–44.
30. Chalmers R. P. SimDesign: Structure for Organizing Monte Carlo Simulation Designs, R package version 1.7 2017.
31. Sigal M. J., Chalmers R. P. Play it again: Teaching statistics with Monte Carlo simulation // Journal of Statistics Education. 2016. 24. P. 136–156.
32. Лохов А. С. Районирование территории Ненецкого автономного округа по степени воздействия потенциального разлива нефти на природную среду // Естественные и технические науки. 2020. № 8 (146). С. 116–122.

## References

1. Cherepovitsyn A. E., Tsvetkov P. S., Evseeva O. O. Kriticheskiy analiz metodicheskikh podkhodov k otsenke ustoichivosti arkticheskikh neftegazovykh proektov [Critical analysis of methodological approaches to assessing sustainability of Arctic oil and gas projects]. *Zapiski Gornogo instituta* [Journal of Mining Institute], 2021, no. 249, pp. 463–478. (In Russ.).
2. Cherepovitsyn A. E., Tsvetkova A. Yu., Komendantova N. E. Approaches to assessing the strategic sustainability of high-risk offshore oil and gas projects. *Journal of Marine Science and Engineering*, 2020, no. 8, pp. 1–31. DOI: 10.3390/jmse8120995.
3. Katysheva E. Analysis of the Interconnected Development Potential of the Oil, Gas and Transport Industries in the Russian Arctic. *Energies*, 2023, 16, 3124. DOI: 10.3390/en16073124.
4. Dmitrieva D., Chanysheva A., Solovyova V. A Conceptual Model for the Sustainable Development of the Arctic's Mineral Resources Considering Current Global Trends: Future Scenarios, Key Actors, and Recommendations. *Resources*, 2023, 12, 63. DOI: 10.3390/resources12060063.
5. Pashkevich M. A., Danilov A. S. Ekhologicheskaya bezopasnost' i ustoichivoe razvitie [Ecological security and sustainability]. *Zapiski Gornogo instituta* [Journal of Mining Institute], 2023, no. 260, pp. 153–154. (In Russ.).
6. Khalturin A., Parfenchik K. D., Shpenst V. Features of Oil Spills Monitoring on the Water Surface by the Russian Federation in the Arctic Region. *J. Mar. Sci. Eng.*, 2023, 11, 111. DOI: 10.3390/jmse11010111.
7. Semenova T., Martínez Santoyo J. Y. Economic strategy for developing the oil industry in Mexico by incorporating environmental factors. *Sustainability*, 2024, no. 16, p. 36. DOI: 10.3390/su16010036.
8. Arzaghi E., Abbassi R., Garaniya V., Binns J., Khan F. An ecological risk assessment model for Arctic oil spills from a subsea pipeline. *Marine Pollution Bulletin*, 2018, no. 135, pp. 1117–1127. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2018.08.030.
9. Wenning R. J. et al. Current practices and knowledge supporting oil spill risk assessment in the Arctic. *Marine Environmental Research*, 2018, no. 141, pp. 289–304. DOI: 10.1016/j.marenvres.2018.09.006.
10. Peng J., Wang S., Mu L., Wang Si. Risk assessment of oil spills along the coastline of Jiaozhou bay using GIS Techniques and the MEDSLIK-II Model. *Water*, 2024, no. 7, p. 16. DOI:10.3390/w16070996.
11. Kirsanova N., Nevskaya M., Raikhlin S. Sustainable Development of Mining Regions in the Arctic Zone of the Russian Federation. *Sustainability*, 2024, 16, 2060. DOI: 10.3390/su16052060.
12. Marinina O., Tsvetkova A., Vasilev Y., Komendantova N., Parfenova A. Evaluating the Downstream Development Strategy of Oil Companies: The Case of Rosneft. *Resources*, 2022, 11, 4. DOI: 10.3390/resources11010004.
13. Nguyen M. P., Ponomarenko T., Nguyen N. Energy transition in Vietnam: a strategic analysis and forecast. *Sustainability*, 2024, 16, 1969. DOI: 10.3390/su16051969.
14. Lijuan Zhang, Ponomarenko T. V., Sidorov D. V. Otsenka chistykh ugol'nykh tekhnologii s primeneniem tekhnologii ulavlivaniya, utilizatsii i khraneniya ugleroda v ugol'noi promyshlennosti Kitaya [Clean coal technologies with carbon capture, utilization and storage in China's coal industry]. *Gornyy informatsionno-analiticheskii byulleten'* [Mining Informational and Analytical Bulletin], 2024, no. 2, pp. 105–128. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2024\_2\_0\_105. (In Russ.).

## ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ АРКТИЧЕСКИХ РЕГИОНОВ И ТЕРРИТОРИЙ

15. Stoianova A. D., Trofimets V. Ya., Matrokhina K. V. Metodicheskii podkhod k reitingovoj otsenke kompanii Arkticheskoi zony na osnove pokazatelei ustoichivogo razvitiya [Technical approach to rating of companies in the Arctic Zone based on sustainable development indicators]. *Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten'* [Mining Informational and Analytical Bulletin], 2024, no. 6, pp. 149–162. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2024\_6\_0\_149. (In Russ.).
16. Buzmakov S. A., Sannikov P. Yu., Kuchin L. S., Igosheva E. A., Abdulmanova I. F. Primeneniye bespilotnoi aerofotos'emki dlya diagnostiki tekhnogennoi transformatsii prirodnoi sredy pri ekspluatatsii neftyanogo mestorozhdeniya [The use of unmanned aerial photography for interpreting the technogenic transformation of the natural environment during the oilfield operation]. *Zapiski Gornogo instituta* [Journal of Mining Institute], 2023, no. 260, pp. 180–193. (In Russ.).
17. Sajid Z., Khan F., Veitch B. Dynamic ecological risk modelling of hydrocarbon release scenarios in Arctic waters. *Marine Pollution Bulletin*, 2020, Vol. 153, p. 111001. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2020.111001.
18. Xinqiang Chen, Liu Shuhao, Liu Ryan Wen, Wu Huafeng, Han Bing, Zhao Jiansen. Quantifying Arctic oil spilling event risk by integrating an analytic network process and a fuzzy comprehensive evaluation model. *Ocean & Coastal Management*, 2022, 228, p. 106326. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2022.106326.
19. Kudryavtseva O. V., Serebrennikov E. V. Ispol'zovanie matematicheskikh metodov issledovaniya dlya analiza ekologo-ekonomicheskikh perspektiv rossiiskikh arkticheskikh neftegazodobyvayushchikh shel'fovykh proektov [Using mathematical research methods for analyzing environmental and economic prospects of the Russian Arctic oil and gas producing shelf projects]. *Russian Journal of Economics and Law* [Russian Journal of Economics and Law], 2022, no. 16 (3), pp. 535–547. DOI: 10.21202/2782-2923.2022.3.535-547. (In Russ.).
20. Kudryavtseva O. V., Serebrennikov E. V. Voprosy ekologicheskogo strakhovaniya arkticheskikh neftegazodobyvayushchikh shel'fovykh proektov [Ecological Insurance of Arctic Oil and Gas Producing Shelf Projects in Russia]. *Vestnik Rossiiskogo ekonomicheskogo universiteta imeni G. V. Plekhanova* [Vestnik of the Plekhanov Russian University of Economics], 2023, no. 20 (1), pp. 76–88. DOI: 10.21686/2413-2829-2023-1-76-88. (In Russ.).
21. Keramea P., Spanoudaki K., Zodiatis G., Gikas G., Sylaios G. Oil Spill Modeling: A Critical Review on Current Trends, Perspectives, and Challenges. *J. Mar. Sci. Eng.*, 2021, 9, 181. DOI: 10.3390/jmse9020181.
22. Kruk M. N., Nikulina A. Y. Economic estimation of project risks when exploring sea gas and oil deposits in the Russian Arctic. *International Journal of Economics and Financial Issues*, 2016, no. 6, pp. 138–150.
23. Brinchuk M. M. Pravovoe regulirovaniye otnoshenii po povodu stikhiinykh bedstvii [Legislative regulation of relations concerning natural disasters]. *Pravovoe regulirovaniye problem bezopasnosti: sbornik statei* [Legislative regulation of security problems: A collection of articles], 2002, pp. 7–29. (In Russ.).
24. Misnik G. A. *Vozmeshcheniye ekologicheskogo vreda v rossiiskom prave* [Compensation for environmental damage in Russian law]. Moscow, Prospekt, 2007, p. 12. (In Russ.).
25. Petrov V. V. Ponyatie i pravovoe regulirovaniye natsional'noi bezopasnosti Rossiiskoi Federatsii [The concept and legal regulation of national security of the Russian Federation]. *“Chernye dyry” v Rossiiskom Zakonodatel'stve* [Black Holes in Russian Legislation], 2011, no. 4, pp. 131–136. (In Russ.).
26. Nikishin V. V. Teoreticheskie problemy vozmeshcheniya ekologicheskogo vreda: idei V. V. Petrova i sovremennost' [Theoretical issues of environmental damage compensation: Ideas of V. V. Petrov and modernity]. *Ekologicheskoe pravo* [Environmental Law], 2009, no. 2 (3), pp. 28–33. (In Russ.).
27. Ol' E. M., Shadrov M. A. Sootnosheniye pravovykh kategorii “vred”, “ushcherb”, “ubytki” v ekologicheskoi sfere [The legal categories of harm, damage, and losses: Correlation in the environmental sphere]. *Leningradskii yuridicheskii zhurnal* [Leningrad Law Journal], 2016, no. 3, pp. 184–190. (In Russ.).
28. Luneva E. V. Ekologo-pravovoe regulirovaniye ratsional'nogo prirodopol'zovaniya: mezhdisciplinarnyi aspekt [Environmental and legal regulation of rational nature management: Interdisciplinary aspect]. *Vestnik Universiteta imeni O. E. Kutafina* [Courier of Kutafin Moscow State Law University (MSAL)], 2019, no. 1, p. 53. (In Russ.).
29. Nedikova E. V., Nedikov K. D. Osobennosti ratsional'nogo ispol'zovaniya i vosproizvodstva prirodnykh resursov Yamalo-Nenetskogo avtonomnogo okruga [Features of rational use and reproduction of natural resources of the Yamal-Nenets Autonomous Region]. *Ehkonomika i ehkologiya territorial'nykh obrazovaniy* [Economy and ecology of territorial formations], 2020, no. 4 (1), pp. 34–44. (In Russ.).
30. Chalmers R. P. SimDesign: Structure for Organizing Monte Carlo Simulation Designs, R package version 1.7 2017.
31. Sigal M. J., Chalmers R. P. Play it again: Teaching statistics with Monte Carlo simulation. *Journal of Statistics Education*, 2016, 24, pp. 136–156.
32. Lokhov A. S. Raionirovaniye territorii Nenetskogo avtonomnogo okruga po stepeni vozdeistviya potentsial'nogo razliva nefti na prirodnyuyu sredyu [Sensitivity mapping on oil spills of the Nenets Autonomous Okrug territory]. *Estestvennye i tekhnicheskie nauki* [Natural and Technical Sciences], 2020, no. 8 (146), pp. 116–122. (In Russ.).

**ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ АРКТИЧЕСКИХ РЕГИОНОВ И ТЕРРИТОРИЙ**

---

**Об авторах:**

М. А. Невская — канд. экон. наук, доц.;  
В. В. Беляев — канд. тех. наук, доц.;  
С. Н. Пастернак — канд. юрид. наук, доц.;  
В. В. Виноградова — канд. экон. наук, старший преподаватель;  
Д. И. Шагидулина — аспирант.

**About the authors:**

M. A. Nevskaya — PhD (Economics);  
V. V. Belyaev — PhD (Technical Sciences);  
S. N. Pasternak — PhD (Legal Sciences);  
V. V. Vinogradova — PhD (Economics);  
D. I. Shagidulina — Postgraduate student.

**Вклад авторов:**

М. А. Невская — концепция и методология исследования, редактирование итогового текста рукописи.  
В. В. Беляев — разработка имитационной модели и ее апробация.  
С. Н. Пастернак — критический анализ нормативно-правовой литературы, работа с текстом рукописи.  
В. В. Виноградова — анализ и обработка статистической информации, оформление текста.  
Д. И. Шагидулина — обоснование объекта исследования, научный обзор по теме исследования, сбор статистической информации.

**Author contributions:**

M. A. Nevskaya — concept and methodology of the study, editing of the final text of the manuscript.  
V. V. Belyaev — development of a simulation model and its validation.  
S. N. Pasternak — critical analysis of regulatory and legal literature, work with the text of the manuscript.  
V. V. Vinogradova — analyzing and processing statistical information, text design.  
D. I. Shagidulina — justification of the research object, a scientific review on the research topic, collection of statistical information.

Статья поступила в редакцию 20 июня 2024 года.

Статья принята к публикации 15 августа 2024 года.

The article was submitted on June 20, 2024.

Accepted for publication on August 15, 2024.