

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА И НОРМИРОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ

УДК 631.4

ПОДХОДЫ К НОРМИРОВАНИЮ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ В РОССИИ И ЗАРУБЕЖНЫХ СТРАНАХ

© 2022 г. А. С. Яковлев^а, *, М. В. Евдокимова^а

^аМГУ им. М.В. Ломоносова, Ленинские горы, 1, Москва, 119991 Россия

*e-mail: yakovlev_a_s@mail.ru

Поступила в редакцию 01.11.2021 г.

После доработки 26.11.2021 г.

Принята к публикации 30.12.2021 г.

Изложены современные подходы к нормированию качества почв в России и зарубежных странах. Выявлено сходство структуры государственного управления и охраны окружающей среды в России, США, Европе и Канаде, что отразилось в системе законодательных и подзаконных актов, разделенной на сферы: покомпонентная охрана окружающей среды; разрешительная деятельность и контроль загрязнения окружающей среды; управление недропользованием; регулирование обращением с пестицидами. Рассмотрены вопросы оценки рисков, возмещения и ликвидации экологического ущерба, нанесенного компонентам окружающей среды, а также разработки нормативов качества почв. В США, Европе и Канаде нормативно-методические документы, регламентирующие процедуру выявления экологических проблем, оценки их опасности и разработки мер по их ликвидации, разрабатываются в рамках концепции оценки рисков. Последняя не получила своего развития в отечественном законодательстве и не подкреплена официальными методическими документами, представленными в подзаконных актах. Действующий в Российской Федерации порядок компенсации вреда окружающей среде, причиненного нарушением законодательства в области охраны окружающей среды, подразумевает определение размера этого вреда, исходя из фактических затрат на восстановление нарушенного состояния окружающей среды и не связан с процедурой оценки рисков. Нормативы качества окружающей среды в России и зарубежных странах устанавливаются на предельно-допустимом уровне и определяются на основе анализа зависимости биологического отклика от количественной меры воздействия стрессора (экспозиции).

Ключевые слова: нормативы качества почв, оценка рисков, экологический ущерб

DOI: 10.31857/S0032180X22050136

ВВЕДЕНИЕ

На государственном уровне в России и в мире вопросы экологического нормирования содержания загрязняющих веществ в компонентах окружающей среды затрагивают две области законодательства – экологическую и санитарно-гигиеническую. Человек является частью биосферы, а его разумная деятельность формирует ноосферу [2]. Однако развитие цивилизации сопровождается увеличением антропогенной нагрузки на окружающую среду, что приводит к ухудшению ее качества, а с ним и к ухудшению условий среды обитания для человека. Мировая обеспокоенность экологическими проблемами и их возможными последствиями для человечества привела к формированию концепции устойчивого развития, принятия плана ее реализации и утверждению целей устойчивого развития, одной из которых является создание благоприятной природной среды – цель 15 “Защита и восстановление экосистем суши и содействие их рациональному ис-

пользованию” [27]. Пришло осознание того, что разрешительная деятельность в системе управления природными ресурсами должна основываться на научно-обоснованных нормативах качества компонентов окружающей среды.

Целью данной работы является обзор и обобщение существующих подходов к нормированию качества загрязненных почв в России в мире.

Государственная система охраны окружающей среды. Осознание неразрывности связи человека и окружающей среды привело к тому, что в развитых странах мира управлением, охраной природных ресурсов и здоровья человека, а также разработкой нормативов по содержанию загрязняющих веществ в компонентах окружающей среды занимаются специализированные органы исполнительной власти. Например, в Германии органом исполнительной власти, осуществляющим функцию по выработке государственной политики и нормативно-правовому регулированию в сфере природопользования, является Федераль-

ное министерство окружающей среды, охраны природы и ядерной безопасности (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit); в Европейском союзе – Европейское агентство по окружающей среде (European Environment Agency); в США – Агентство по охране окружающей среды (United States Environmental Protection Agency); в Канаде – Министерство окружающей среды и изменения климата Канады (Environment and Climate Change Canada).

Американское агентство по охране окружающей среды было создано в 1972 г. [48] и во многих аспектах (структура, ориентированность на здоровье человека и экосистем, научные подходы) стало примером для других государств.

В компетенции Агентства по охране окружающей среды США (US EPA) [11], входят:

1. Охрана атмосферного воздуха [43];
2. Охрана вод [44];
3. Контроль за содержанием токсических веществ в компонентах окружающей среды [56];
4. Сохранение и восстановление природных ресурсов, управление отходами производства и потребления [52];
5. Обследование и очистка земель, загрязненных опасными химическими веществами [45];
6. Обращение с пестицидами, государственная регистрация пестицидов и действующих веществ, регламентация их применения [46].

В России исторически произошло разделение компетенций в области охраны здоровья населения, в том числе среды его обитания, и охраны окружающей среды и поддержания биологического разнообразия планеты между Министерством здравоохранения Российской Федерации (Минздрав России) и Министерством природных ресурсов и экологии Российской Федерации (Минприроды России) соответственно.

Тем не менее, прослеживается определенное сходство в структуре управления качеством компонентов окружающей среды в системе законодательных актов в России и в США. В Российской Федерации государственное управление качеством окружающей среды основывается на федеральных законах: “О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения” [34], “Об охране атмосферного воздуха” [31], “Об охране окружающей среды” [32] и системе кодексов: Водный кодекс [4], Земельный кодекс [9], Лесной кодекс [13] и др.

Государственное регулирование загрязнения компонентов окружающей среды и нормирование вредных (загрязняющих) веществ в России осуществляется в двух аспектах:

- санитарно-эпидемиологическое нормирование [22, 34];

- экологическое нормирование, или нормирование в области охраны окружающей среды [20, 32].

Современные подходы к оценке экологических рисков. Среди множества подходов к реализации задач управления качеством окружающей среды во всем мире широкое применение нашла концепция экологических рисков [47]. На ее основе разрабатываются нормативно-методические документы, регламентирующие вопросы выявления экологических проблем, оценки их опасности и разработки мер по их предотвращению, смягчению или устранению.

Оценка экологического риска представляет собой процедуру, в ходе реализации которой оценивается вероятность того, что в результате экспонирования воздействию одного или нескольких факторов стресса у целевого объекта возникают или могут возникнуть неблагоприятные последствия [47].

Проведение этой структурированной, но жестко не регламентированной процедуры, обеспечивает сбор и анализ данных, информации, суждений и неопределенностей способом, полезным для облегчения понимания и предсказания взаимосвязи между стрессорами и неблагоприятными экологическими последствиями. Тем самым управленцам предоставляется возможность учета научной экологической информации наряду с той информацией (социальной, юридической, политической, экономической), которой они пользуются при окончательном выборе управляющих воздействий [42, 47, 54].

Процедура оценки экологических рисков проводится в контексте мероприятий по управлению ими с целью выявления таких антропогенных изменений, которые считаются нежелательными, что вынуждает придерживаться определенных критериев нежелательности (негативности) антропогенных изменений [57].

Изменения считаются нежелательными, если они сопровождаются изменением существенных структурных или функциональных характеристик компонентов экосистем. Их оценка может основываться на результатах рассмотрения типа, интенсивности и масштабов антропогенных изменений, а также на оценке потенциала для самовосстановления. Определение критериев приемлемости степеней негативных изменений относится к компетенции управленцев, занимающихся устранением последствий негативных антропогенных изменений.

Процедуры оценки экологических рисков могут быть использованы не только по прямому назначению, но и при оценке позитивных последствий антропогенных изменений, а также при оценке негативных изменений не антропогенного (природного) происхождения [49].

При оценивании вероятности негативных изменений используют все методы, от качественных соображений до количественного оценивания вероятности [47]. Оценивание экологических рисков может быть направлено в будущее (перспективная оценка) или в прошлое (ретроспективная оценка, оценка последствий негативных воздействий в прошлом).

Экологическая оценка рисков осуществляется в 3 этапа: формулирование проблемы, анализ проблемы и описание рисков [47].

Первый этап, посвященный формулированию проблемы оценки рисков, включает структурирование задачи решения проблемы оценки рисков, обобщение имеющейся информации, определение целевых объектов защиты от риска, создание концептуальной модели целевого объекта, разработку плана реализации процедуры.

Второй этап, этап анализа проблемы оценки рисков, включает оценку приемлемости данных и моделей, анализ экспозиции целевого объекта стрессору, описание откликов целевого объекта на стрессор.

Третий этап, посвященный формированию заключительного отчета, включает вычисление количественных показателей рисков, описание рисков, формирование отчета.

Взаимодействие между экспертами, проводящими оценку, с одной стороны, и представителями общественности, органов власти, промышленности и всеми заинтересованными лицами, с другой стороны, на всех этапах, от начала работ до написания отчета, имеет ключевое значение для достижения основной цели оценки — обоснования необходимости проведения работ по исключению рисков [49]. Особенность предмета исследования экспертной комиссии состоит в том, что он по своей природе имеет междисциплинарный характер и требует привлечения экспертов разных специальностей.

Первый этап работы комиссии, этап планирования, заключается в том, что совместными усилиями представителей сферы управления, с одной стороны, и сферы науки, с другой, формулируются цели, понятные той и другой сторонам, ожидаемые выводы, позволяющие получить однозначное решение о возможности или невозможности исключения рисков доступными силами и средствами, а также задачи и методы исследования, которые смогут обеспечить возможность получения обоснованной и полной оценки, на которой можно будет основывать управленческие решения [47]. При этом необходимо иметь в виду, что процесс планирования работы по оценке рисков в целом и процесс управления ее научной частью — это разные процедуры. Обеспечение этого различия позволяет исключить излишнюю предвзя-

тость оценок и соблюсти баланс интересов всех заинтересованных сторон.

Именно формулирование проблемы, которое должно быть достигнуто на первом этапе, обеспечивает основание для проведения оценки рисков. Успех в этом деле зависит от качества трех продуктов, которые должна создать комиссия: целевого объекта, концептуальной модели и плана анализа. Существенная нелинейность данного процесса и интерактивный характер решения проблемы приводят к цикличности в ходе его выполнения, а также к периодической повторной постановке целей и задач.

Этап анализа направлен на решение двух взаимосвязанных задач [47]:

1. Описание экспозиции стрессору (выявление источников его поступления в окружающую среду, контактов или совместного существования с реципиентами, определение закономерностей его распределения на местности);

2. Характеристика откликов живого на воздействие токсиканта (математическое описание дозовых зависимостей либо нахождение свидетельств того, что экспонирование стрессору приводит к регистрируемому отклику целевых объектов).

И в том, и в другом случаях необходимо оценить все доступные данные на предмет научной достоверности и соответствия выбранным целевым объектам и концептуальной модели.

На этот этап приходится выполнение основной доли количественного анализа неопределенностей, хотя последний должен сопровождать все этапы оценки рисков. Результатом этого этапа является полное описание экспозиции и дозовых зависимостей.

Завершающим этапом процедуры оценки экологических рисков является полное описание рисков и их анализ [47]. На этом этапе эксперты оценивают экологические риски, определяют надежность оценок рисков, описывают материалы, поддерживающие полученные оценки риска, характеризуют вред, причиненный стрессором. Для того, чтобы обеспечить взаимопонимание между специалистами-экспертами и управленцами, описание рисков должно быть сделано ясным и доступным языком, содержать явно изложенные предположения и допущения, сделанные в ходе выполнения работы, включать в себя обсуждение альтернативных мнений и научные выводы, отделенные от суждений.

Результаты оценки рисков предназначены для управленцев, которые используют их в сочетании с экономическими соображениями и требованиями законодательства для реализации управляющих воздействий по устранению рисков и для информирования общественности.

По результатам завершенной процедуры оценки рисков управляющие структуры могут принять решение о практических действиях на их основе [47]. Если будут реализованы меры по исключению рисков, потребуется план мониторинга последствий управляющих воздействий с целью определения их эффективности. В зависимости от результатов мониторинга, в случае недостаточной эффективности принятых мер, может быть принято решение о новой оценке рисков для обоснования новых управляющих воздействий.

Концепция рисков не является новой и для отечественной нормативно-правовой базы, а ее элементы нашли свое отражение в ряде нормативно-методических документов, в частности, в методических рекомендациях “Унифицированные методы сбора данных, анализа и оценки заболеваемости населения с учетом комплексного действия факторов окружающей среды” [15]. Данный документ посвящен выявлению, оценке и предупреждению неблагоприятного влияния техногенного загрязнения окружающей среды и направлен на охрану здоровья населения [15]. В методических рекомендациях [15] приведены критерии оценки степени напряженности эколого-гигиенической ситуации на территориях селитебного освоения, среди которых присутствуют экологические показатели: степень экологического неблагополучия территории и характеристика окружающей природной среды.

Степень экологического неблагополучия территории оценивается по методике, утвержденной Министерством природных ресурсов Российской Федерации [12], а состояние окружающей среды – по таблице критериев, приведенной в методических рекомендациях [15], в зависимости от кратности превышения предельно допустимых концентраций и количества превышений в компонентах окружающей среды. Степень экологического неблагополучия дифференцирована по пяти градациям: относительно удовлетворительная, неудовлетворительная, напряженная, критическая и кризисная.

Понятие “экологический риск” определено в Статье 1 Федерального закона № 7 [32], как “вероятность наступления события, имеющего неблагоприятные последствия для природной среды и вызванного негативным воздействием хозяйственной и иной деятельности, чрезвычайными ситуациями природного и техногенного характера”, однако процедура оценки экологических рисков до настоящего момента не подкреплена официальными методическими документами, представленными в подзаконных актах.

Во исполнение Приказа Росприроднадзора № 193 “Об утверждении Методических рекомендаций по проведению инвентаризации объектов накопленного экологического ущерба” [25], к на-

стоящему времени утратившего силу, были приняты попытки создания подзаконных документов, развивающих концепцию оценки экологических рисков. Однако проект “Временного руководства по выявлению и оценке объектов прошлого экологического ущерба, основанного на методологии оценки рисков” [26], не был утвержден и не получил официального статуса. Таким образом, необходимо констатировать, что продекларированное в Федеральном законе “Об охране окружающей среды” [32] понятие “экологический риск” не получило развития в соответствующих подзаконных документах.

Оценка экологического ущерба почвам. Во исполнение закона США “О комплексных экологических мерах, компенсациях и ответственности” [45] Агентством по охране окружающей среды США разработаны региональные скрининговые уровни (RSLs) содержания загрязняющих веществ в почве [50, 51], а также региональные уровни (RMLs) [49], при достижении которых следует принятие мер по изъятию почв. Агентством предложен алгоритм пересчета табличных значений RMLs в RSLs. Значения региональных скрининговых уровней получены при строгом соблюдении процедуры оценки рисков здоровья населения [53, 54].

Нормативы регионального уровня (RSLs) разработаны для 849 наименований индивидуальных загрязняющих веществ в почве, в воздухе и питьевой воде для двух видов землепользования [50]. В качестве примера приведем значения нормативов RSLs по некоторым тяжелым металлам в почве (табл. 1).

На сайте US EPA также размещен калькулятор, позволяющий пересчитать значения нормативов RSL в скрининговые уровни (SLs) содержания отдельных химических веществ в почве, воздухе, воде и тканях рыб для конкретного участка с учетом природных условий.

Данные уровни используются для оценки экологического ущерба, нанесенного почвам, как компоненту окружающей среды, с целью принятия управленческих решений по очистке и рекультивации земель, загрязненных опасными химическими соединениями за счет средств федерального бюджета США (Superfund) [45] или средств компании, по вине которой произошло загрязнение. Окончательное решение о наличии или об отсутствии загрязнения принимается по итогам работ, специфичных для конкретного места, с использованием нормативов, разработанных в отдельном штате [29].

Анализ отечественной нормативно-правовой базы, регулирующей сферу экологического нормирования компонентов окружающей среды, исчисления размера вреда, причиненного почвам, а также практические вопросы ликвидации накоп-

Таблица 1. Скрининговые уровни содержания некоторых тяжелых металлов (мг/кг) в почве (США) [50]

Наименование загрязняющего вещества	Почвы жилой зоны		Почвы промышленных территорий	
ТНҚ*	0.1	1	0.1	1
Кадмий	0.71	7.1	10	100
Медь	310	3100	4700	47000
Свинец	400	400	800	800
Никель (оксид)	84	840	1200	12000
Цинк	2300	23000	35000	350000
Мышьяк	0.68	0.68	3	3

* ТНҚ – целевой коэффициент опасности при уровне канцерогенного риска $TR = 10^{-6}$.

ленного экологического ущерба позволяет провести некоторые аналогии.

С начала 1990-х годов в России проводилась работа по созданию руководящих документов, регламентирующих процедуру оценки экологического ущерба. На основании “Положения о порядке консервации деградированных сельскохозяйственных угодий и земель...” [18] были разработаны:

– Постановление Правительства РФ № 140 “О рекультивации земель...” [21];

– Приказ Минприроды РФ № 525 и Роскомзема № 67 “Об утверждении основных положений о рекультивации земель...” [24];

– “Методические рекомендациями по выявлению деградированных и загрязненных земель” [16].

Первые два документа утратили юридическую силу с выходом в 2018 г. Постановления Правительства РФ № 800 “О проведении рекультивации и консервации земель” [19]. “Методические рекомендациями по выявлению деградированных и загрязненных земель” [16] до сих пор остаются актуальным и востребованным в области экологической оценки и нормирования почв документом.

Действующий в Российской Федерации порядок компенсации вреда окружающей среде, причиненного нарушением законодательства в области охраны окружающей среды (Статья 78 [32]), подразумевает, что определение размера этого вреда осуществляется исходя из фактических затрат на восстановление нарушенного состояния окружающей среды [23], и не связан с процедурой оценки рисков. Методика опирается на значения предельно допустимых и ориентировочно допустимых концентраций загрязняющих веществ в почве [28].

Санитарно-гигиеническое нормирование. Санитарно-гигиеническое нормирование является наиболее разработанной областью регламентации загрязнений для всех компонентов окружающей среды. В России разработаны и утверждены нормативы предельно (ПДК) и ориентировочно (ОДК)

допустимых концентраций для большого перечня химических веществ, которые с недавнего времени были объединены в один нормативный документ [28].

Санитарно-гигиенические нормативы (ПДК) не всегда применимы в качестве базы для оценки состояния почв, ввиду ряда известных причин: их антропоцентрической направленности, пренебрежения эффектами накопления токсических веществ в окружающей среде и отсутствия дифференциации по природно-климатическим зонам и видам хозяйственного использования земель [14, 29, 35, 39]. Санитарно-гигиенические нормативы разрабатываются на основе лабораторных экотоксикологических экспериментов в градиенте концентраций токсикантов в образце тестируемого компонента окружающей среды. При этом результаты экспериментов экстраполируются на все формы нахождения токсикантов в природе [5, 17]. Следствием является получение очень жестких нормативов (табл. 2) [28], значения которых в ряде случаев сопоставимы с фоновыми концентрациями. В отличие от зарубежных аналогов ПДК (табл. 1, 3) отечественные санитарно-гигиенические нормативы (табл. 2) характеризуются низкими уровнями значений, не дифференцированы по природно-климатическим зонам и видам хозяйственного использования земель.

В качестве примера приведем нормативы содержания тяжелых металлов в почвах, разработанные Министерством охраны окружающей среды Канады для целей защиты окружающей среды и здоровья человека (табл. 3), которые дифференцированы по четырем видам землепользования [10].

Экологическое нормирование. Методические основы оценки экологического состояния почв и антропогенного воздействия на них были заложены еще в начале 1990-х гг. в двух официальных документах, утвержденных Минприроды России – “Критериях оценки экологической обстановки...” [12] и “Методических рекомендациях по выявлению деградированных и загрязненных земель” [16], в которых впервые были опубликова-

Таблица 2. Ориентировочно допустимые концентрации некоторых тяжелых металлов (мг/кг) в почве (Россия) [28]

Наименование загрязняющего вещества	Почвы		
	песчаные и супесчаные	кислые (суглинистые и глинистые)	близкие к нейтральным, нейтральные (суглинистые и глинистые)
Кадмий	0.5	1	2
Медь	33	66	132
Свинец	32	65	130
Никель	20	40	80
Цинк	55	110	220
Мышьяк	2	5	10

Таблица 3. Нормативы качества почвы, установленные для защиты окружающей среды и здоровья человека (мг/кг) (Канада) [10]

Наименование загрязняющего вещества	Категория земель			
	сельскохозяйственные	поселений	общественно-делового назначения	промышленные
Кадмий	1.4	10	22	22
Кобальт	40	50	300	300
Медь	63	63	91	91
Свинец	70	140	260	600
Никель	45	45	89	89
Цинк	250	250	410	410
Мышьяк	12	12	12	12

ны нормативно утвержденные и широко применяемые в природоохранной практике трехуровневая и пятиуровневая шкалы ранжирования, обеспеченные таблицами с критериями для оценки нормируемых показателей. На основе этих шкал впоследствии была предложена интегральная пятиуровневая шкала ранжирования, позволяющая выявить диапазон допустимого состояния почв при существующем уровне воздействия [37].

В связи с принятием Федерального закона № 219 [33] отечественная система нормирования качества почв претерпела существенных изменений. Как известно, нормирование качества окружающей среды и нормирование воздействия на нее в целом в соответствии с Федеральным законом № 7 [32] составляют систему нормирования в области охраны окружающей среды, которая регулируется его нормами. Общее содержание нормирования воздействия на окружающую среду, как и прежде, заключается в установлении количественных ограничений к хозяйственной деятельности, в пределах которых эту деятельность разрешается осуществлять на законных основаниях [41].

Постановлением Правительства РФ № 149 [20] введено в действие “Положение о разработке, уста-

новлении и пересмотре нормативов качества окружающей среды для химических и физических показателей состояния окружающей среды”, которое определило основные принципы разработки нормативов качества окружающей среды:

1. Нормативы качества разрабатываются и устанавливаются на предельно допустимом уровне значений, полученных на основе результатов лабораторных испытаний;

2. Нормативы качества для территорий разрабатываются в интервале допустимого отклонения от значений показателей природного фона;

3. Значения показателей природного фона территорий определяются на основе данных наблюдений за состоянием окружающей среды на эталонном участке.

“Положением...” [20] запущен трудоемкий и длительный процесс создания нормативов качества почв и установления значений показателей природного фона для территории Российской Федерации. Оно призывает разрабатывать нормативы качества, характерные для конкретных природных условий и видов хозяйственного использования территории.



Рис. 1. Вероятностные точечные оценки отклика (в форме LC_{10} и LC_{50}) на воздействие стрессора и показателя экспозиции стрессору на исследуемой территории [47]: сплошная линия – кумулятивная кривая плотности вероятности значений концентрации стрессора; пунктир – кривая доза-эффект.

Нормирование качества почв, как и оценка рисков, основаны на анализе зависимости биологического отклика от количественной меры воздействия стрессора (экспозиции).

Выбор вида анализа зависимости отклика от экспозиции стрессору определяется на стадии планирования эксперимента либо в зависимости от задач оценки риска. В частности, в разработанном плане может быть предусмотрена задача со-

поставления точечных эффектов, в форме величин концентраций, эффективных для 10% (LC_{10}) или 50% (LC_{50}) особей по дозовой зависимости, результатам точечной оценки интенсивности стрессора [30, 55] (рис. 1).

В то же время для выявления пороговых эффектов стрессора и вычисления показателей отклика на выбранную интенсивность стрессора может быть использован анализ формы дозовой зависимости. Максимум информации из этой зависимости может быть получен в случае аппроксимации ее аналитической моделью вида доза-эффект, что позволит найти пороговые значения отклика на воздействие стрессора [6, 7, 36, 38] (рис. 2).

Выбор из множества подходов к анализу дозовой зависимости определяется характером экспериментального отклика. Наиболее широко для целей анализа используются уравнения логистического типа [3, 5, 40], описывающие негативный отклик, плавно возрастающий сначала с увеличивающейся скоростью в ответ на возрастание интенсивности стрессора, затем – с убывающей скоростью, устремляющийся к некоторому пределу, характеризующему максимум негативного эффекта. Такого типа зависимости характерны для откликов, получаемых в лабораторных, контролируемых условиях. Для откликов, получаемых в натуральных условиях характерны более сложные, нелинейные зависимости. Более того, в природных условиях, особенно на высоких уровнях ор-

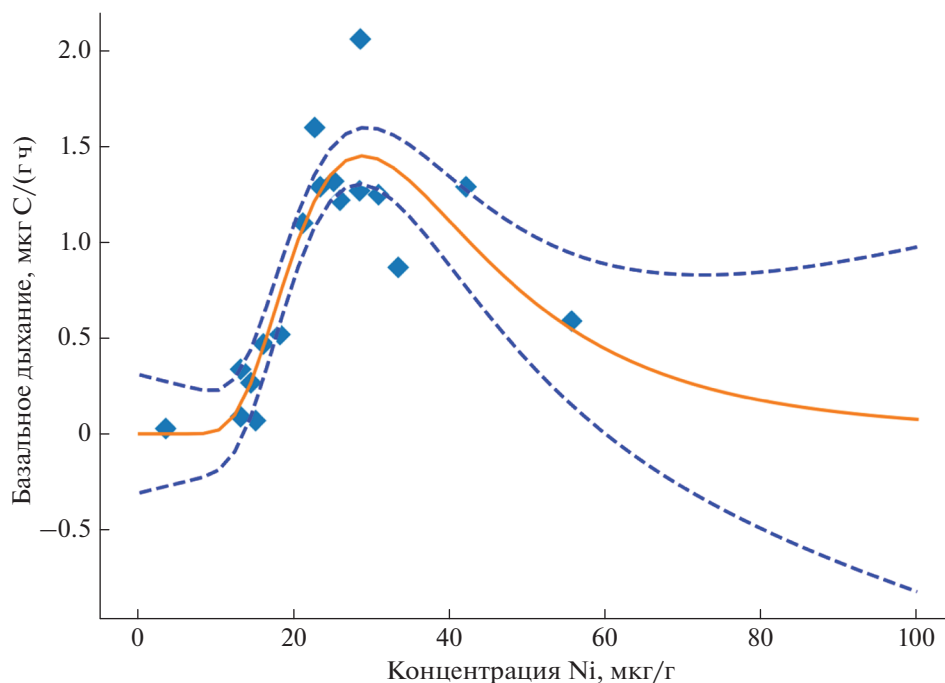


Рис. 2. Аппроксимация дозовой зависимости аналитической моделью вида доза-эффект: ромбы – эксперимент [1], сплошная линия – по модели [6], пунктирная линия – доверительные интервалы.

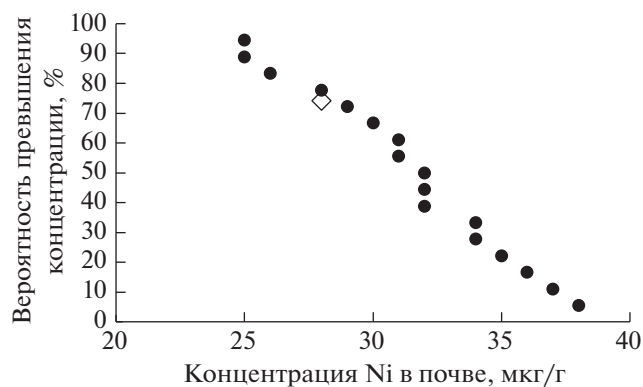


Рис. 3. График вероятности превышения пороговой концентрации никеля в почве: точки — эмпирическая обеспеченность для выявленных на территории исследования концентраций; ромб — пороговая концентрация (c_{\max}).

ганизации живого возможны скачкообразные изменения с переходом к новому качеству, например, к формированию нового сообщества или типа экосистемы.

Однако преимущественным методом является подгонка теоретических кривых к экспериментальным данным, что обусловлено возможностью опоры на все доступные экспериментальные дан-

Таблица 4. Входные параметры аналитической модели вида доза-эффект [1]

Номер образца	Ni, мкг/г	Базальное дыхание, мкг С/(г ч)
1	28.4	2.06
2	42.0	1.29
3	55.6	0.59
4	22.6	1.60
5	13.0	0.34
6	3.4	0.03
7	23.3	1.29
8	25.8	1.22
9	28.3	1.27
10	30.8	1.25
11	33.3	0.87
12	21.0	1.10
13	18.1	0.52
14	16.0	0.47
15	14.3	0.27
16	13.0	0.09
17	25.0	1.32
18	15.0	0.07

ные и последующей интерполяции. В случае необходимости использования метода экстраполяции следует прежде убедиться в том, что экспериментальная зависимость в области экстраполяции сохраняется. Трудность в применении методов подгонки теоретических кривых к экспериментальным данным возникает чаще всего вследствие нехватки экспериментальных данных, что характерно для полевых наблюдений [6, 7, 37].

Приведем пример использования теоретической модели [6] для аппроксимации экспериментальных данных по изменению базального дыхания в ответ на содержание никеля в почве [1] с целью получения его пороговой концентрации (рис. 2):

$$q = Ac^{-B}e^{-M/c}, \quad (1)$$

где q — отклик, c — концентрация испытуемого вещества, A , B , M — коэффициенты модели.

В основу расчета пороговой дозы положены литературные данные по биотестированию [1], полученные в опыте с искусственными субстратами, основанном на определении скорости выделения углекислого газа в специально полученной смеси почвы и пыли из цехов горно-обогатительного комбината с высоким содержанием тяжелых металлов (табл. 4). Такого рода результаты могут быть экстраполированы на натурные условия, характерные для окрестностей горно-обогатительного комбината.

Пороговую концентрацию c_{\max} , соответствующую максимальному отклику на воздействие испытуемым веществом, определили с использованием коэффициентов модели (1) по теоретической формуле $c_{\max} = M/B$, которая является корнем уравнения первой производной от (1) по концентрации. В данном случае $M = 159.7$, $B = 5.55$ и $c_{\max} = 28.8$ мг/кг.

Пространственно-распределенные данные по содержанию никеля в почвах пробных площадок, расположенных в окрестностях горно-обогатительного комбината и испытывающих его негативное воздействие, взяли из того же источника [1], что позволило выявить закон распределения вероятности (рис. 3) и вычислить для этого распределения эмпирическую обеспеченность (p_i) по формуле Крицкого–Менкеля [8]: $p_i = m/(n+1)$, где m — порядковый номер образца в ряду данных, сортированных по убыванию концентрации стрессора; n — длина ряда. Вероятность превышения пороговой концентрации никеля в почве составила 74%.

Таким образом, подходы к нормированию качества почв и процедура оценки экологических рисков, основаны на интерпретации зависимости биологического отклика на воздействие стрессора. При этом нормативы содержания загрязняю-

щих веществ в почвах устанавливаются на предельно допустимом уровне для конкретных видов землепользования на основании пороговых доз стрессора, выявленных анализом кривых доза-эффект. Именно этот методологический принцип объединяет отечественные и зарубежные подходы к нормированию качества почв.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Отечественная и зарубежная системы нормирования в области охраны окружающей среды состоят из двух взаимосвязанных частей: нормирования качества окружающей среды и нормирования воздействия на нее.

Обзор отечественных научно-методических подходов и мировой практики разработки нормативов качества почв по химическим показателям выявил следующие сходства в системах нормирования:

– значения нормативов качества почв по химическим показателям устанавливаются на предельно-допустимом уровне;

– предельно допустимые уровни значений нормативов определяются на основе анализа зависимости биологического отклика от воздействия стрессора.

Ключевым недостатком отечественных нормативов качества почв является отсутствие привязки к природным условиям и видам землепользования.

Прослеживается сходство в структуре управления качеством компонентов окружающей среды в системе законодательных актов в России и в ряде зарубежных стран, которое условно может быть разделено на сферы: покомпонентная охрана окружающей среды; разрешительная деятельность и контроль загрязнения окружающей среды; управление недропользованием; регулирование обращением с пестицидами.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Исследование выполнено частично при поддержке Междисциплинарной научно-образовательной школы Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова “Будущее планеты и глобальные изменения окружающей среды”, а также в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации “Почвенные информационные системы и оптимизация использования почвенных ресурсов” (Номер ЦИТИС: 121040800147-0).

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бакунович Н.О., Хохлова О.С., Мякшина Т.Н., Русаков А.В., Шаповалов А.С. Загрязнение тяжелыми металлами и дыхательная активность микроорганизмов в нативных почвах и искусственных субстратах (на примере заповедного участка “Ямская степь”) // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2016. № 85. С. 131–149. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2016-85-131-149>
2. Вернадский В.И. Научная мысль как планетное явление. М.: Наука, 1991.
3. Виноградов Б.В., Снакин В.В., Орлов В.А. Биотические критерии выделения зон экологического бедствия России // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 1993. № 5. С. 77–89.
4. Водный кодекс Российской Федерации от 03.06.2006 № 74-ФЗ.
5. Воробейчик Е.Л., Садыков О.Ф., Фарафонов М.Г. Экологическое нормирование техногенных загрязнений наземных экосистем (локальный уровень). Екатеринбург: УИФ “Наука”, 1994. 280 с.
6. Гендугов В.М., Глазунов Г.П. Макрокинетическая модель микробного роста на многокомпонентном субстрате // Вестник Моск. ун-та. Сер. 17. Почвоведение. 2014. № 3. С. 10–16.
7. Глазунов Г.П., Гендугов В.М., Яковлев А.С., Евдокимова М.В., Шестакова М.В. Научные основы экологической оценки состояния компонентов окружающей среды и нормирования их качества М.: МАКС Пресс, 2018. 96 с.
8. Дружинин В.С., Сикан А.В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. СПб.: Изд-во РГГМУ, 2001. 169 с.
9. Земельный кодекс Российской Федерации от 25 октября 2001 г. № 136-ФЗ.
10. Канадские руководящие принципы по качеству окружающей среды (CEQGs). CCME. 2021. <https://ccme.ca/en/current-activities/canadian-environmental-quality-guidelines>
11. Компетенции Агентства по охране окружающей среды США. <https://www.epa.gov/environmental-topics>
12. Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия. М.: Минприроды России, 1992.
13. Лесной кодекс Российской Федерации от 4 декабря 2006 г. № 200-ФЗ.
14. Макаров О.А., Каманина И.З. Экономическая оценка и сертификация почв и земель. М.: МАКС Пресс, 2008. 240 с.
15. Методические рекомендации 01-19/12-17 “Унифицированные методы сбора данных, анализа и оценки заболеваемости населения с учетом комплексного действия факторов окружающей среды”.
16. Письмо Роскомзема от 27.03.1995 г. № 3-15/582 “О Методических рекомендациях по выявлению деградированных и загрязненных земель” (вместе с “Методическими рекомендациями по выявлению деградированных и загрязненных земель”, утв. Роскомземом 28.12.1994 г., Минсельхозпродом России 26.01.1995 г., Минприроды России 15.02.1995 г.).

17. Плеханова И.О., Золотарева А.О. Оценка и нормирование экологического состояния почв, загрязненных тяжелыми металлами // *Агрохимия*. 2021. № 7. С. 97–109. <https://doi.org/10.31857/S0002188120100099>
18. Постановление Правительства РФ от 05.08.1992 г. № 555 “Об утверждении Положения о порядке консервации деградированных сельскохозяйственных угодий и земель, загрязненных токсичными промышленными отходами и радиоактивными веществами”.
19. Постановление Правительства РФ от 10.07.2018 г. № 800 (ред. от 07.03.2019 г.) “О проведении рекультивации и консервации земель” (вместе с “Правилами проведения рекультивации и консервации земель”).
20. Постановление Правительства РФ от 13.02.2019 № 149 “О разработке, установлении и пересмотре нормативов качества окружающей среды для химических и физических показателей состояния окружающей среды, а также об утверждении нормативных документов в области охраны окружающей среды, устанавливающих технологические показатели наилучших доступных технологий”.
21. Постановление Правительства РФ от 23.02.1994 № 140 “О рекультивации земель, снятии, сохранении и рациональном использовании плодородного слоя почвы”.
22. Постановление Правительства России от 24.07.2000 № 554 (ред. от 15.09.2005) “Об утверждении Положения о Государственной санитарно-эпидемиологической службе Российской Федерации и Положения о государственном санитарно-эпидемиологическом нормировании”.
23. 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).
24. Приказ Минприроды РФ № 525, Роскомзема № 67 от 22.12.1995 “Об утверждении Основных положений о рекультивации земель, снятии, сохранении и рациональном использовании плодородного слоя почвы”.
25. Приказ Росприроднадзора от 25.04.2012 г. № 193 “Об утверждении Методических рекомендаций по проведению инвентаризации объектов накопленного экологического ущерба”.
26. Распоряжение Правительства РФ от 04.12.2014 г. № 2462-р “Об утверждении комплекса первоочередных мероприятий, направленных на ликвидацию последствий загрязнения и иного негативного воздействия на окружающую среду в результате экономической и иной деятельности”.
27. Резолюция, принятая Генеральной Ассамблеей 25 сентября 2015 г. A/RES/70/1. 2015. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/sustainable-development-goals/>
28. СанПиН 1.2.3685-21 “Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания”.
29. Семенков И.Н., Королева Т.В. Международные системы нормирования содержания химических элементов в почвах: принципы и методы (обзор) // *Почвоведение*. 2019. № 10. С. 1259–1268.
30. Терехова В.А., Прудникова Е.В., Кулачкова С.А., Горленко М.В., Учанов П.В., Сушко С.В., Ананьева Н.Д. Микробиологические показатели агродерново-подзолистых почв разной гумусированности при внесении тяжелых металлов и углеродсодержащих препаратов // *Почвоведение*. 2021. № 3. С. 372–384.
31. Федеральный закон от 04.05.1999 № 96-ФЗ “Об охране атмосферного воздуха”.
32. Федеральный закон от 10.02.2002 № 7-ФЗ “Об охране окружающей среды”.
33. Федеральный закон от 21.07.2014 г. № 219-ФЗ “О внесении изменений в Федеральный закон “Об охране окружающей среды” и отдельные законодательные акты Российской Федерации”.
34. Федеральный закон от 30.03.1999 г. № 52-ФЗ “О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения” (с изменениями на 2 июля 2021 года).
35. Цветнов Е.В., Макаров О.А., Строков А.С., Цветнова О.Б. Роль почв в оценке деградации земель (обзор) // *Почвоведение*. 2021. № 3. С. 363–371.
36. Экологическое нормирование и управление качеством почв и земель. М.: НИА-Природа, 2013. 373 с.
37. Яковлев А.С. Допустимое экологическое состояние почв и антропогенное воздействие как основа их экологического нормирования и управления качеством // *Экологическое нормирование и управление качеством почв и земель*. М.: НИА-Природа, 2013. 310 с.
38. Яковлев А.С., Гендугов В.М., Глазунов Г.П., Евдокимова М.В., Шулакова Е.А. Методика экологической оценки состояния почвы и нормирования ее качества // *Почвоведение*. 2009. № 8. С. 984–995.
39. Яковлев А.С., Евдокимова М.В. Экологическое нормирование почв и управление их качеством // *Почвоведение*. 2011. № 5. С. 582–596.
40. Яковлев А.С., Макаров О.А. Экологическая оценка, экологическое нормирование и рекультивация земель: основные термины и определения // *Использование и охрана природных ресурсов в России*. 2006. № 3. С. 64–70.
41. Яковлев А.С., Сизов А.П., Горленко А.С., Огородников С.С. Эколого-землеустроительная экспертиза и вопросы экологического нормирования. М.: МАКС Пресс, 2020. 136 с.
42. Benchmark Dose Technical Guidance. EPA/100/R-12/001. 2012. https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-01/documents/benchmark_dose_guidance.pdf
43. Clean Air Act. Title 42 U.S.C. §7401 et seq. 1970. <https://www.govinfo.gov/app/collection/uscode>
44. Clean Water Act. Title 33 U.S.C. §1251 et seq. 1972. <https://www.govinfo.gov/app/collection/uscode/>
45. Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act (Superfund (CERCLA)) 42 U.S.C. §9601 et seq. 1980. <https://www.govinfo.gov/app/collection/uscode/>
46. Federal Insecticide, Fungicide, and Rodenticide Act (FIFRA). Title 7 U.S.C. §136 et seq. 1996.

47. Framework for ecological risk assessment. Washington, DC: Risk Assessment Forum, U.S. Environmental Protection Agency. 1992. EPA/630/R-92/001.
48. Milestones in EPA and Environmental History <https://www.epa.gov/history/milestones-epa-and-environmental-history>
49. Regional Removal Management Levels (RMLs) User's Guide <https://www.epa.gov/risk/regional-removal-management-levels-rmls-users-guide>
50. Regional Screening Levels (RSLs) – Generic Tables. <https://www.epa.gov/risk/regional-screening-levels-rsls-generic-tables>
51. Regional Screening Levels (RSLs) – User's Guide. <https://www.epa.gov/risk/regional-screening-levels-rsls-users-guide>
52. Resource Conservation and Recovery Act (RCRA). Title 42 U.S.C. §6901 et seq. 1976. <https://www.govinfo.gov/app/collection/uscode/>
53. Risk Assessment Guidance for Superfund (RAGS): Part B. <https://www.epa.gov/risk/risk-assessment-guidance-superfund-rags-part-b>
54. Soil Screening Guidance: Fact Sheet. Publication 9355.4-14FSA EPA/540/F-95/041 PB96-963501. 1996.
55. *Terekhova V.A., Wadhia K., Fedoseeva E.A., Uchanov P.V.* Bioassay standardization issues in freshwater ecosystem assessment: test cultures and test conditions // Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems. 2018. № 419(32). 14 p. <https://doi.org/10.1051/kmae/2018015>
56. Toxic Substances Control Act (TSCA). Title 15 U.S.C. §2601 et seq. 1976. <https://www.govinfo.gov/app/collection/uscode/>
57. Toxic Substances Control Act. Discussion of premanufacture testing policies and technical issues: request for comment. U.S. Environmental Protection Agency. 1979. Federal Register. № 44. P. 16240–16292.

Approaches to the Regulation of Soil Pollution in Russia and Foreign Countries

A. S. Yakovlev^{1, *} and M. V. Evdokimova¹

¹ *Lomonosov Moscow State University, Moscow, 119991 Russia*

**e-mail: yakovlev_a_s@mail.ru*

Modern approaches to the soil quality regulation in Russia and foreign countries are described. The similarity of the structure of public administration and environmental protection in Russia, the USA, Europe and Canada was revealed, which was reflected in the system of legislative documents, divided into areas: component-by-component environmental protection; permitting activities and environmental pollution control; subsoil use management; regulation of pesticide handling. The issues of risk assessment, compensation and elimination of environmental damage caused to environmental components, as well as the development of soil quality standards are considered. In the USA, Europe and Canada, regulatory and methodological documents, regulating the procedure for identifying environmental problems, assessing their danger and developing measures to eliminate them are being developed within the framework of the risk assessment concept. The latter has not been developed in domestic legislation and is not supported by official methodological documents presented in by-laws. The procedure in force in the Russian Federation for compensation of environmental damage caused by violation of legislation in the field of environmental protection implies determining the amount of this damage based on the actual costs of restoring the disturbed state of the environment and is not related to the risk assessment procedure. Environmental quality standards in Russia and foreign countries are set at the maximum permissible level and are determined based on the analysis of the dependence of the biological response on the quantitative measure of the stressor (exposure).

Keywords: soil quality standards, soil pollution, risk assessment, environmental damage