

ДЕГРАДАЦИЯ, ВОССТАНОВЛЕНИЕ И ОХРАНА ПОЧВ

УДК 504.054

НОРМАТИВЫ СОДЕРЖАНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОЧВАХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЗОН ГОРОДОВ (ОБЗОР)¹

© 2022 г. И. Н. Семенков^а, *, Т. В. Королева^а

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

*e-mail: semenkov@geogr.msu.ru

Поступила в редакцию 03.04.2021 г.

После доработки 06.06.2021 г.

Принята к публикации 30.06.2021 г.

Российские почвенные нормативы содержания химических элементов можно актуализировать, базируясь на международном опыте: обоснования показателей для функциональных зон городов. Так как за небольшим исключением отечественные нормативы качества почв едины для всей страны и разработаны по общесанитарному показателю вредности, то для анализа опыта зарубежных стран в вопросе нормирования качества городских почв проанализированы концептуальные основы оценки качества почв по содержанию химических элементов в городах Канады, США, ЮАР, Австралии, Новой Зеландии и стран Европейского Союза. В статье обобщены принципы нормирования химических элементов в почве, охарактеризованы реально применяемые методические подходы и последствия превышения нормативов в рассмотренных странах. Российская система нормирования качества почв может быть дополнена за счет обоснования показателей: отличающихся для отдельных функциональных зон города с фокусом только на актуальные предметы нормирования — здоровье экосистем, детей или взрослых; для разных геохимических обстановок с учетом особенностей миграции веществ; для материала, применяемого при создании поверхности клумб, газонов, включая придорожные территории. Кроме того, рекомендуется усовершенствовать систему управленческих решений при превышении соответствующих нормативов качества почв от выполнения местоспецифического мониторинга до введения штрафных санкций и обязательной рекультивации нарушенных земель; узаконить понятие исторического (старого) загрязнения, существовавшего до начала ведения деятельности; установить минимальный объем грунта, подлежащего ремедиации, а также глубин или почвенных горизонтов, на которые распространяется действие норматива.

Ключевые слова: загрязнение почв, нормативы качества, оценка риска здоровью человека, one health approach

DOI: 10.31857/S0032180X22010105

ВВЕДЕНИЕ

Многообразное загрязнение окружающей среды широким спектром веществ является причиной развития систем нормирования во многих странах [2, 4, 6, 8, 13]. Разработанные нормативы могут быть как едиными для всего государства, так и изменяться в зависимости от свойств почв или назначения земель (табл. 1).

Города отличают от сельских и иных территорий повышенная плотность населения, запыленность, наличие специально сконструированных почв и другие особенности взаимодействия человека и среды. Так как большинство жителей планеты проживает именно в городах, то при нормировании качества городских почв по содержанию химических элементов (ХЭ) следует принимать

во внимание урбанистическую специфику, связанную с зонированием территории, вследствие отведения земель под различные функции, например, обеспечение среды проживания (сели-тебная зона), перемещения (транспортная зона), развлечения и досуга (парки, детские площадки и другие места отдыха), производства, хранения и продажи товаров. Кроме того, существуют региональные урбанистические тенденции и особенности: высоко- или низкоэтажная застройка, наличие централизованной или индивидуальной системы отопления жилья (или их полное отсутствие), личных участков для выращивания сельхозпродукции, доля экранированных (замошенных) территорий. Все это определяет, насколько в конкретном городе или стране тесно взаимодействие человека с почвой, которое может быть прямым (кожные контакты, вдыхание или заглатывание почвенной пыли) и опосредованным (потребление пищи и питьевой воды, контакти-

¹ К статье имеются дополнительные материалы, доступные для авторизованных пользователей по doi: 10.31857/S0032180X22010105.

Таблица 1. Дифференциация нормативов качества почв по содержанию химических элементов в отдельных странах мира

Страна	Свойства почв	Назначение земель	Выращиваемая продукция	Источник
Австралия	Нет	Да	Да	[15, 23, 31, 40]
Австрия	Нет	Да	Нет	[18]
Бельгия	Нет	Да	Нет	[18]
Бразилия	Нет	Да	Нет	[38]
Германия	Да ¹	Да	Да ²	[18]
Дания	Нет	Нет	Нет	[18]
Испания ⁵	Нет	Да	Нет ⁴	[18]
Италия	Нет	Да	Нет	[18]
Канада	Да ²	Да	Нет	[19]
Китай	Нет	Да	Да	[20, 39]
Литва	Да	Да ²	Нет	[18]
Новая Зеландия	Нет	Да	Да	[15]
Нидерланды	Нет	Нет	Нет	[18]
Польша	Да	Да	Нет	[18, 47]
США	Нет	Да	Нет	[25]
Россия	Да ¹	Нет ⁶	Нет	СанПиН 1.2.3685-21, СанПиН 1.2.3685-21
Словакия	Да	Да ¹	Нет	[18]
Финляндия	Нет	Нет	Нет	[18]
Франция	Да ³	Нет	Нет	[18]
Швеция	Нет	Да	Нет	[18]
Чехия	Да	Нет	Нет	[18]
ЮАР	Да	Да	Нет	[22, 28]
Япония	Нет	Да ²	Нет	[26, 44]

Примечание. ¹ часть нормативов (Германия – предостерегающие уровни, Россия – ориентировочно допустимые концентрации, Словакия – лимитирующие значения для земель сельскохозяйственного назначения), ² для отдельных веществ (Германия – более жесткие нормативы для Cd при выращивании пшеницы на хлеб и Cu на пастбищах для овец, Канада – ПАУ и углеводороды, Литва – углеводороды, Япония – As, Cd, Cu на заливаемых полях), ³ чувствительные и нечувствительные к использованию (usage sensible/non sensible), ⁴ имеются нормативы, регламентирующие уровень, безопасный для почвенных и водных организмов, а также сухопутных позвоночных; ⁵ нормируются только органические вещества; ⁶ только для песка в песочницах детских организаций.

ровавших с городской почвой). Кроме того, дополнительную нагрузку на организм человека обеспечивают поллютанты из городской пыли непочвенного происхождения, продукты питания и питьевая вода, полученные из других регионов и т. д.

В России гигиенические нормативы для оценки качества почв (в том числе населенных пунктов) по содержанию химических веществ не природного происхождения разрабатываются в соответствии с законодательством в области обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения (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 техно-

логические показатели наилучших доступных технологий”). При этом экологические нормативы качества почв все еще не утверждены законодательно. Российская система нормирования содержания поллютантов в почвах базируется на подходах, длительно не пересматриваемых в свете оценки риска негативного воздействия и улучшений в инструментальных методах анализа веществ [7]. Хотя существует ряд оригинальных предложений по совершенствованию. Например, для оценки техногенного загрязнения городских почв тяжелыми металлами предложен подход, основанный на вертикальном распределении поллютанта и плотности сложения почвы. Интегральным показателем загрязнения при этом служит величина запаса поллютанта в условно нормативной почвенной толще [1, 5, 10], что пока используется лишь для нормирования качества почв по содержанию радионуклидов.

В России предельно допустимая концентрация – это максимальный уровень содержания вещества, не наносящий вред здоровью человека и почвы (включая ее основные экологические функции, ферментативную и микробиологическую активность), рассчитанный для пахотного горизонта. Однако помимо сельскохозяйственных угодий эти нормативы рекомендовано также применять и в пределах населенных пунктов (СанПиН 1.2.3685-21). Разработка таких нормативов – длительный научно обоснованный процесс, изначально предполагавший оценку устойчивости и изменения подвижности нормируемого вещества в почвах с разной гумусированностью, кислотностью и влажностью (Методические рекомендации, 1982; ГН 2.1.7.2041-06), но реализован такой подход был только для Мп.

Для Москвы декларируется необходимость установления показателей и уровней допустимых значений качества почв в зависимости от их основных характеристик и функционального назначения территории (Закон города Москвы от 04.07.2007 № 31 “О городских почвах”). Но на сегодняшний день такие нормативы не разработаны. На федеральном уровне в России используют максимально жесткие нормативы (за редким исключением) для все типов почв, безопасные для нормального функционирования биоты и человека [8, 42]. Однако такой подход не представляется оправданным в практически полностью замощенных исторических центрах городов с Ecranic Technosols, где не выращивают сельхозпродукцию, люди находятся непродолжительное время, а наличие биоты маловероятно в виду отсутствия необходимых экологических ниш (газонов, водоемов), антропогенных (культурных, Antrosols) и уж тем более природных почв.

Чтобы гармонично развивать отечественную систему нормирования качества почв по содержанию ХЭ, необходим всесторонний анализ актуального состояния особенностей экологического регулирования в передовых странах мира.

США, Канада, Россия и Нидерланды являются мировыми лидерами по количеству нормируемых в почве химических элементов [8]. Традиционно выделяют 5 главных подходов к оценке качества почв по содержанию потенциально токсичных субстанций: российский, голландский, немецкий, канадский и американский [18, 31, 42]. Особенностью разработки почвенных нормативов является использование большого числа входных характеристик (табл. 2): субъект и предмет нормирования, оценка риска негативных эффектов и регионального почвенно-геохимического фона, последствий для экосистемы и землевладельца превышения норматива и др. [8, 41].

Российские, голландские и канадские подходы сочетают ориентированность на сохранение

здоровья человека и экосистем [17, 21, 43], что близко к концепции one health approach, активно разрабатываемой в последние годы за рубежом [32, 35, 36]. В США на законодательном уровне существуют отдельные нормативы как в отношении экосистем в целом, так и их отдельных компонентов, а также нормативы, обеспечивающие здоровье населения [25]. Немецкие нормативы направлены на минимизацию риска потребления человеком опасных количеств потенциальных токсикантов с водой и пищей [16]. Пять основных подходов к нормированию качества почв успешно адаптируются другими странами с учетом местных особенностей. Существует большое число удачных примеров применения зарубежного опыта для развития или модернизации в стране собственной системы экологического нормирования качества почв [4, 6, 9, 11, 15, 18, 45, 48].

В ряде стран, включая Россию, при разработке нормативов используют дифференцированный подход, выделяя почвы с контрастными характеристиками: по гранулометрическому составу, гумусированности (в основном для органических поллютантов) и реже – величине рН. Но чаще нормативы качества почв дифференцируют в зависимости от функционального зонирования территории и назначения земель, оставляя без внимания свойства почв. При нормировании качества почв в городах по содержанию веществ наиболее часто выделяют селитебную, рекреационную и индустриальную зоны (табл. 3).

Цель работы – обобщение зарубежного опыта в области оценки качества городских почв по содержанию химических элементов. Из анализа исключили детальную характеристику нормативов по землям сельскохозяйственного назначения, так как для большинства из рассмотренных стран она описана [8, 42], сконцентрировавшись именно на городских территориях. При этом основной фокус нашей работы – анализ реально применяемых, законодательно утвержденных подходов в области оценки качества почв по содержанию неорганических поллютантов, так как в научной литературе существует множество предложений, еще не вошедших в практику, по оценке степени загрязнения объектов окружающей среды [3, 12, 14, 24].

СИСТЕМЫ НОРМИРОВАНИЯ

Канада. Периодически обновляемые (в отношении неорганических поллютантов последний раз в 2018 г.) директивы качества почв (Soil Quality Guidelines, SQG²) по валовому содержанию ХЭ, введенные впервые в 1991 г., дифференцированы

² Для некоторых органических загрязнителей SQG для каждой функциональной зоны рассчитаны отдельно для почв легкого и тяжелого гранулометрического состава.

Таблица 2. Показатели, используемые в странах мира с наиболее развитыми подходами нормирования качества почв

Страна	Объект охраны		Показатели вредности			Оценка риска		Научный базис							
	экосистема	человек	транслокационный	миграционно-водный	миграционно-воздушный	негативное воздействие	развитие рака	местный фон		универсальность				пересматриваемость	диета
								справочная величина	основа для норматива	для функциональных зон	почвенно-специфичный	смешанные эффекты	оценка место-специфичного риска		
Нидерланды	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	+	-	+
Россия	+	+	+	+	+	-	-	+	-	-	+	+	-	-	+
США	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+	-	+
Германия	-	+	+	+	-	+	+	-	-	+	-	-	+	-	+
Канада	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	-	-	+	+	+

по назначению земель (табл. S1) и нацелены на сохранение здоровья населения, живых организмов и почвенно-микробиологических процессов (нитрификация, азотфиксация, почвенное дыхание, разложение органического вещества) от негативных последствий.

В системе канадского нормирования в городах выделяют три функциональные зоны. Селитебно-парковые территории включают жилую и рекреационную зоны без охраняемых природных территорий. Коммерческие земли используются для размещения объектов торговли, складов, офисов, гостиниц, кафе и т. д. Индустриальная зона включает в себя размещение объектов промышленности с ограниченным доступом.

Нормативы разработаны на основе данных о токсичности ХЭ для почвенной фауны, их миграции в почве и трофических цепях, включая человека. В Канаде существуют как федеральные, так и региональные нормативы для отдельных штатов [9].

США. В США около 30 лет существует многоуровневая система нормирования содержания ХЭ в почве, включающая в себя общие рекомендации и нормативы федерального уровня, разрабатываемые агентством по защите окружающей среды (EPA), а также локальные законы штатов для принятия конкретных решений на местах. Для селитебных и индустриальных зон применяются региональные отборочные (Regional screening levels, RSL) и управленческие уровни для изъятия почвы (Regional removal management levels, RMLs; табл. S2).

RSL используется для идентификации загрязнителей и территорий, в пределах которых регулирование осуществляется федеральными властями. RML применяют для определения терри-

торий, на которых могут быть осуществлены мероприятия по изъятию загрязненных почв [5, 25]. Оба норматива основаны на оценке риска с использованием индекса наибольшей опасности (ТНQ) и индекса опасности (НQ). Американские скрининговые значения для почв, в основном, соответствуют уровню риска 10^{-6} для канцерогенных веществ и $HQ = 1$ для неканцерогенных. ТНQ применяют для расчета концентрации, ниже которой маловероятно, что в чувствительной популяции будут наблюдаться негативные последствия при полиэлементном загрязнении. В таком случае для канцерогенных веществ риск предполагается на уровне $10^{-6} - 10^{-4}$, а неканцерогенный риск должен прибавляться только для веществ со сходной конечной точкой токсичности (toxic endpoint) и механизмом действия.

Страны ЕС³. Германия. В Германии в 1999 г. утверждены федеральные нормативы содержания тяжелых металлов и металлоидов (ТММ) в почвах – триггерные, действенные и предостерегающие для четырех функциональных зон (сельскохозяйственная (в том числе отдельные сельскохозяйственная и садовая, а также зеленые земли), селитебная, рекреационно-парковая (включая отдельные нормативы для детских площадок) и индустриальная), полученные по трем оценкам воздействия: пути миграции веществ в системах “почва–человек” и “почва – растение” (по-отдельности в контексте качества получаемой продукции или замедления роста растений) и приемлемой дополнительной нагрузки на почвы разного гранулометрического состава.

Для селитебной и индустриальной зон разработаны только триггерные значения (табл. S3),

³ Раздел написан по материалам [18], если не указано иное.

Таблица 3. Дифференциация нормативов качества почв по валовому содержанию химических элементов в странах мира в зависимости от функционального зонирования городов

Страна	Функциональная зона						Источник
	селитебная	зеленая	рекреационная	коммерческая	индустриальная	транспортная	
Австралия	++	–	+		+	–	[15, 23, 31, 40]
Австрия		+		–	–	–	[18]
Бельгии (в целом и включая Фландрию и Брюссель)	++	+	+	–	++	–	[18]
Бельгия (Валлония)	+	–	+	–		+	[18]
Германия	+		++	–	+	–	[18]
Испания*	+	–	–	–	+	–	[18]
Италия		+	–		+	–	[18]
Канада		+	–	+	+	–	[19]
Новая Зеландия	+		+	+	–	–	[15]
Польша			+			+	[18, 47]
США	+	–	–	–	+	–	[25]
ЮАР	++	–	–		+	–	[22, 28]

* Нормируются только органические вещества. Количество плюсов соответствует числу разработанных стандартов.

превышение которых является основанием для проведения мониторинга и последующей оценки опасности загрязнения. Уполномоченная организация определяет, соответствует ли загрязненный участок критериям для проведения мероприятий по ремедиации с учетом типа почв, подвижности токсиканта и других условий [18].

Итоговое триггерное значение (Т) для детских площадок, селитебной зоны и парков – это минимальное значение, рассчитанное по заглатыванию или вдыханию вещества по формулам (1)–(4), где (1) – заглатывание неканцерогенных веществ, (2) – заглатывание канцерогенных веществ, (3) – вдыхание неканцерогенных веществ, (4) – вдыхание канцерогенных веществ (табл. S4):

$$T = \frac{Dtb \times (f - 0.8)}{\Pi}, \quad (1)$$

$$T = \frac{Dtb \times f \times 8.75}{\Pi}, \quad (2)$$

$$T = \frac{Dtb \times f}{\Pi \times fa}, \quad (3)$$

$$T = \frac{Dtb \times f \times 8.75}{\Pi \times fa}, \quad (4)$$

где f – фактор, при котором возникает риск неблагоприятных последствий для чувствительной человеческой популяции (5 для канцерогенных веществ и от 1.4 до 10.0 для неканцерогенных), Π – ежедневное поступление вещества в организм человека, fa – аккумуляционный фактор (5 – для неорганических веществ, 10 – для органических), Dtb – значение, эквивалентное уровню, при котором не наблюдаются негативные эффекты в чув-

ствительной людской популяции, и установленное по токсикологическим данным как толерантная доза для организма (tolerable body dose). Обычно Dtb рассчитывают, основываясь на минимальном уровне, при котором наблюдаются отрицательные эффекты у животных, с использованием поправочных коэффициентов от 1 до 10 в зависимости от степени неопределенности. Таким образом, триггерные значения в селитебной, парково-рекреационной и индустриальной зонах отличаются от аналогичных уровней в почвах детских площадок для одного и того же ХЭ в 2, 5 и 5.5–13 раз соответственно.

В формуле (5) при расчете Т для индустриальной зоны учитывается концентрация пыли в воздухе (0.325 мг/м^3) и риск возникновения неблагоприятных последствий посредством использования коэффициента Z для канцерогенных ($Z = 5.6$) и неканцерогенных веществ ($Z = 14.6$), расчет которого основан на времени нахождения в зоне с использованием поправочного множителя (табл. S4):

$$T = \frac{Dtb \times f \times Z}{0.325 \times fa}. \quad (5)$$

Австрия. В Австрии принципы интегрированной защиты окружающей среды введены в Конституцию в 1984 г. как базис для защиты среды обитания человека с целью сохранения чистого воздуха, поверхностных вод и почв, а также предотвращения шумового загрязнения. Отборочные значения для почв (Soil Screening Value, SSV), используемые для оценки риска на загрязненных территориях, предложены экспертной группой по итогам анализа 15 национальных и ре-

гиональных показателей в странах ЕС, а не рассчитаны на основе тех или иных моделей. В стране разработано две группы нормативов: Human health screening values и Ecological screening values. Первая группа нормативов (табл. S5) основана на предположении о заглывании поллютантов детьми. Вторая группа нормативов применяется для сельскохозяйственных территорий. Эти значения отражают возможность повышенного перехода поллютантов в растения с дополнительной оценкой вероятности биодоступности посредством проверки уровня содержания подвижных форм ТММ, извлекаемых из почвы NH_4NO_3 , с дифференциацией на две градации потенциального риска: 1 – получения низкокачественных продуктов питания и фуража, 2 – уменьшение интенсивности роста растений [18].

Бельгия. В Бельгии существуют нормативы, применяемые на территории всей страны и по отдельности⁴ в трех регионах, на которые разделена страна: Фламандский, Валлонский и Брюссельский столичный. На федеральном уровне нормативы разработаны для: 1 – специальных территорий (зеленые территории с высокой биологической ценностью, парки, лесные территории кладбищ, земли под лесами и лесными насаждениями, сельхозназначения и санитарно-защитных зон питьевого водоснабжения); 2 – селитебных территорий (собственно селитебная зона, смешанная, спортивно-рекреационная, включая открытые индустриальные, административного и публичного назначения); 3 – городской индустриальной зоны (транспортной активности: портовой, автомобильной и железнодорожной). Существуют также и другие SSV (табл. S6): background values (фоновые значения) и soil clean-up standards (SCS, стандарты по очистке). Первые значения для ТММ соответствуют 90% перцентилу содержания ТММ в верхнем слое почв Фламандского региона (без Брюсселя), а для большинства органических поллютантов – нижнему пределу обнаружения. SCS получены с использованием оценки риска негативных последствий для здоровья детей и взрослых без коррекции отличий биодоступности поллютанта, поступающего в организм различными путями, в функциональных зонах городов (селитебной, рекреационной, индустриальной), а также на землях сельскохозяйственного и природного землепользования с применением голландских, американских и канадских подходов, а также рекомендаций ЕС и ВОЗ.

Background values – это уровень, характерный для незагрязненных почв и используемый для целей ремедиации. Превышение SCS отражает уровень, при котором могут наблюдаться значимые

последствия для здоровья человека и окружающей среды и необходима ремедиация в случае нового загрязнения, появившегося после вступления в силу декрета 1995 г., введившего нормативы.

В Валонии также разработано две группы показателей (табл. S7), характеризующих фоновое состояние почв региона (Reference Value – RV) и разные уровни риска негативного воздействия (Trigger Value, TV, и Intervention Value, IV). Почва считается незагрязненной, если содержание вещества меньше RV, и вероятно не загрязненной в интервале значений RV–TV. В обоих случаях риск загрязнения считается приемлемым, и никаких действий не требуются. В случае превышения TV почва считается загрязненной, если не доказано, что это связано с особенностями геохимического фона. При этом действия экологической направленности предпринимаются только в случае нового загрязнения или по итогам заключения об их необходимости при историческом загрязнении, возникшем до 1995 г. Лишь в случае превышения IV действия обязательны.

Фокус-объектами Валонской системы нормирования качества почв являются человек (дети для земель природного, селитебного, рекреационного и коммерческого использования и взрослые – для индустриальных территорий), воды, почвенная микробиота, а также для земель сельскохозяйственного назначения – травоядные животные. Нормативы разработаны с применением голландских, американских и канадских подходов.

Испания. Испанские Generic Values of Reference (GVR⁵) для органических поллютантов, полученные с использованием оценки риска в трех вариантах (индустриального, жилого и природного) по наиболее худшему сценарию, обнародованы в королевском декрете 2005 г. Защита здоровья человека заложена во всех вариантах, а экосистем – только в природном варианте землепользования. В каждом варианте землепользования вред здоровью человека оценен по наиболее реалистичному сценарию и пути воздействия для наиболее чувствительных реципиентов. Экологический риск оценен с помощью химических анализов, прямых тестов на токсичность и трех главных реципиентов: почвенных, водных и наземных организмов.

Разработанные GVR – триггерные значения, так как их превышение влечет необходимость местоспецифичной оценки риска негативного воздействия. Почва признается загрязненной, если обнаруживается очень высокий уровень острой токсичности в прямых токсикологических тестах с почвенными образцами или вытяжками.

Италия. В 1999 г. вышел министерский декрет, касающийся загрязнения почв Италии примени-

⁴ Во Фламандском и столичном (находящимся территориально внутри первого) регионах в отношении ТММ применяются те же уровни, что и на территории всей страны.

⁵ Нормативы разработаны только в отношении органических поллютантов.

тельно к двум функциональным зонам: 1 – селитебной или общественной (зеленой) и 2 – индустриальной или коммерческой, хотя подобные директивы ранее существовали в отдельных итальянских регионах. В случае превышения⁶ норматива (табл. S8) территория считается загрязненной, и землевладелец обязан привести концентрацию загрязнителя до уровня природного фона.

Итальянские нормативы качества почв нацелены на защиту исключительно здоровья человека, оставляя без внимания значимый экологический риск. Для их разработки применялась концепция “наиболее худшего сценария”, от которой в настоящее время постепенно отходят в пользу более реалистичного [34].

Польша. В Польше регулирование в отношении загрязненных земель законодательно установлено в 2001 г. с принятием соответствующего закона. В случае загрязнения землевладелец обязан уменьшить содержание вещества до уровня ниже стандарта качества почв (Soil Quality Standards). Эти нормативы дифференцированы для трех групп земель в соответствии с их назначением и современным использованием. Кроме того, нормативы группы В и С разработаны для разных глубин и подразделяются в зависимости от насыщенной гидравлической проводимости почв (табл. S9). При этом научная основа, положенная в основу стандартов, неизвестна.

Группа А включает земли охраняемых территорий, оговоренных в специальных законах, группа В – земли сельскохозяйственного назначения (за исключением прудов и канав), лесов, лесных и кустарниковых насаждений, заброшенных (wasteland) и разрабатываемых земель, а также урбанизированных территорий за исключением индустриальных земель, территорий добычи сырья и земель транспортного назначения, которые вместе включены в группу С.

Австралия и Новая Зеландия. В 1992 г. утверждены нормативы [15], которые стали основной базой для оценки качества почв в Австралии и Новой Зеландии по содержанию потенциально токсичных веществ. В первой стране обоснованы оценочные уровни для здоровья человека (Health Investigation Levels, **ННЛ**; табл. S10), базирующиеся на фоновой почвенно-геохимической съемке четырех столиц за исключением Перта и фитотоксикологических экспериментах [23, 31].

Стандартная селитебная зона – территория с домом и приусадебным участком, на котором не выращивают птицу и получают урожай фруктов и овощей, составляющий ≤10% дневного рациона проживающих. К этой же зоне относят центры ежедневного ухода за детьми, детсады и начальные школы. Есть нормативы для селитебных тер-

риторий с минимальной возможностью контакта людей с почвой, благодаря высокоэтажной застройке с мощными улицами. **ННЛ** группы Е применимы для рекреационных территорий и средних школ. Земли коммерческого и индустриального назначения включают территории торговых, промышленных предприятий и т. п.

В Австралии помимо **ННЛ** существуют **EILs** (Environmental Investigation Levels) – временные экологические нормативы, – официально разрешено применение зарубежных показателей для субстанций, содержание которых в стране не регулируется [23], и есть региональные нормативы [40]. Аналогичный опыт существует в Чили [27] и Индии [29], где отсутствует развитая система нормирования качества почв по содержанию ХЭ.

Несмотря на схожесть подходов и единую исходную основу для нормативов и общность системы функционального зонирования [8], в Австралии и Новой Зеландии пороговые значения и список нормируемых ХЭ существенно отличаются [37]. В городах Новой Зеландии выделяются 3 зоны (табл. S11), для которых установлены безопасные для здоровья человека значения загрязнения почв (soil contaminant values) и указано, что безопасные для человека значения ряда ХЭ вредны для растений и должны быть оценены отдельно.

В **ЮАР** применяются Soil Screening Values. При превышении **SSV** прежде, чем принять решение о ремедиации территории и приступить к конкретным управленческим решениям, запускается многоэтапное обоснование необходимости местоспецифичной оценки риска негативного воздействия. Нормативы **SSV1** применимы для территории всей страны⁷. Использование же **SSV2** ограничивается определенными функциональными зонами при отсутствии водоемов-источников питьевого водоснабжения в радиусе до 1 км (табл. S12). **SSV2** рассчитан на основе риска для здоровья детей в неформальных и стандартных поселениях и для взрослых в коммерческих и индустриальных зонах [22, 28].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При нормировании качества почв городов в качестве фокус-объектов используют здоровье детей (преимущественно для селитебной и рекреационной зон), взрослых (для всех остальных функциональных зон) и экосистем (для лесопарковых, рекреационных и селитебных территорий). Чаще всего нормативы разрабатывают для селитебной, рекреационной и индустриальной зон как наиболее сильно отличающихся по вре-

⁷ Существуют **SSV** для анионов – хлоридов (12 г/кг), фторидов (0.03), сульфатов (4) и суммы нитратов и нитритов (0.12), действие которых распространяется на всю территорию страны и не зависит от назначения земель.

⁶ Допускается 10%-ное отклонение.

мени нахождения людей, вариантам взаимодействия с почвой и объектов, чье здоровье необходимо сохранить в первую очередь.

В фокусе российской системы оценки концентрации ХЭ в почвах находится здоровье человека и экосистем, а также получение сельхозпродукции надлежащего качества. В контексте городских экосистем зачастую последние два пункта не столь актуальны ввиду отсутствия агроценозов и высокой доли замощенных пространств (Ecranic Technosols). Базируясь на зарубежном опыте, российскую систему нормирования качества почв по содержанию ХЭ можно усовершенствовать, если:

– обосновать предельно допустимые концентрации для отдельных функциональных зон города (парковой, селитебной, транспортной, индустриальной и др.);

– сфокусироваться в разных функциональных зонах города только на актуальных объектах – здоровье экосистем (парковая и рекреационная зона), детей (рекреационная, территории детских садов, площадок и школ) или взрослых (селитебная, транспортная и индустриальная);

– обосновать систему нормативов разной жесткости с минимальными значениями для территорий лесных насаждений, парковых зон и детских площадок, повышенными в селитебной зоне и наиболее высокими в коммерческой, транспортной и индустриальной зонах;

– разработать последовательную систему управленческих решений и принимаемых мер в случае превышения соответствующих нормативов качества от выполнения местоспецифического мониторинга до введения штрафных санкций и обязательной рекультивации нарушенных земель;

– законодательно установить понятие исторического (старого) загрязнения, существовавшего до начала ведения определенного рода деятельности;

– ввести нормативы для разных геохимических обстановок (отдельно для кислых и щелочных почв с окислительной обстановкой, а также кислых и щелочных почв с глеевой и сероводородной) с учетом особенностей миграции ХЭ и их осаждения на геохимических барьерах, а также для материала, применяемого для создания поверхности клумб, газонов, включая придорожные территории;

– установить минимальный объем грунта, подлежащего ремедиации, а также глубин или почвенных горизонтов, на которые распространяется действие норматива.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Исследование выполнено в рамках проекта РГО № 17/2021-И и поддержано Междисциплинарной научно-образовательной школой МГУ им. М.В. Ломоносова “Будущее планеты и глобальные изменения окружающей среды”.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Таблица S1. Канадские нормативы содержания ТММ в городских почвах [19], мг/кг.

Таблица S2. Значения, используемые для оценки качества городских почв США [25].

Таблица S3. Триггерные уровни, используемые для нормирования валового содержания ТММ в почвах Германии [16], мг/кг.

Таблица S4. Входные параметры для расчета триггерных уровней в Германии [18].

Таблица S5. Значения для валового содержания ХЭ в слое почв 0–10 см территорий, где предполагается заглывание загрязнителей детьми (селитебные территории, спортивные площадки) [18], мг/кг.

Таблица S6. Экологические нормативы, используемые для нормирования качества почв Бельгии (в целом), Фландрии и Брюсселя [18], мг/кг.

Таблица S7. Значения, используемые в Валлонском регионе Бельгии для оценки качества почв по валовому содержанию ТММ [18], мг/кг.

Таблица S8. Директивные значения, используемые в Италии для нормирования качества почв по валовому содержанию ХЭ [18], мг/кг.

Таблица S9. Стандарты качества почв и грунтов, используемые в Польше для валового содержания ТММ [18], мг/кг.

Таблица S10. NILs, используемые для оценки качества почв в функциональных зонах поселений Австралии по валовому содержанию ХЭ [23], мг/кг.

Таблица S11. Уровни, используемые для оценки качества почв городов Новой Зеландии по валовому содержанию ТММ [37], мг/кг.

Таблица S12. Значения, используемые для оценки качества городских почв ЮАР по валовому содержанию ТММ [22, 28], мг/кг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барсегян А.Г., Гендугов В.М., Глазунов Г.П., Горбатов В.С., Горленко А.С., Воробейчик Е.Л., Евдокимова М.В. и др. Экологическое нормирование и управление качеством почв и земель. М.: НИИ-Природа, 2013. 373 с.
2. Водяницкий Ю.Н. Нормативы содержания тяжелых металлов и металлоидов в почвах // Почвоведение. 2012. № 3. С. 368–375.
3. Водяницкий Ю.Н., Яковлев А.С. Оценка загрязнения почвы по содержанию тяжелых металлов в профиле // Почвоведение. 2011. № 3. С. 329–335.
4. Коновалов А.Г., Рисник Д.В., Левич А.П., Фурсова П.В. Обзор подходов к оценке экологического состояния и нормированию качества почв // Биосфера. 2017. Т. 9. № 3. С. 214–229.

5. Корчагина К.В., Смагин А.В., Решетина Т.В. Оценка техногенного загрязнения городских почв на основе профильного распределения тяжелых металлов и плотности сложения // Почвоведение. 2014. № 8. С. 988–997.
6. Крятов И.А., Тонкопий Н.И., Водянова М.А., Ушакова О.В., Донерьян Л.Г., Евсеева И.С., Матвеева И.С., Ушаков Д.И. Гармонизация гигиенических нормативов для приоритетных загрязнений почвы с международными рекомендациями // Гигиена и санитария. 2015. № 7. С. 42–48.
7. Нестерова О.В., Трегубова В.Г., Семаль В.А. Использование нормативных документов для оценки степени загрязнения почв тяжелыми металлами // Почвоведение. 2014. № 11. С. 1375–1380.
8. Семенков И.Н., Королева Т.В. Международные системы нормирования содержания химических элементов в почвах: принципы и методы (обзор) // Почвоведение. 2019. № 10. С. 1259–1268. <https://doi.org/10.1134/S0032180X19100101>
9. Семенков И.Н., Королева Т.В., Шаранова А.В., Терская Е.В. Нормативы содержания химических элементов в почве: международный опыт и использование для Западной Сибири // География и природные ресурсы. 2020. № 1. С. 41–49. [https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2020-1\(41-49\)](https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2020-1(41-49))
10. Смагин А.В., Шоба С.А., Макаров О.А. Экологическая оценка почвенных ресурсов и технологии их воспроизводства (на примере г. Москвы). М.: Изд-во Моск. ун-та, 2008. 360 с.
11. Сысо А.И. Российские нормативы оценки качества почв и кормов: проблемы их использования // Экологический мониторинг окружающей среды: материалы междунар. шк. молодых ученых. Новосибирск: ИЦ НГАУ “Золотой колос”, 2016. Вып. 1. С. 153–168.
12. Терехова В.А., Пукальчик М.А., Яковлев А.С. “Триадный” подход к экологической оценке городских почв // Почвоведение. 2014. № 9. С. 1145–1152.
13. Чернова О.В., Бекецкая О.В. Допустимые и фоновые концентрации загрязняющих веществ в экологическом нормировании (тяжелые металлы и другие химические элементы) // Почвоведение. 2011. № 9. С. 1102–1113.
14. 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.
15. Australian and New Zealand Guidelines for the Assessment and Management of Contaminated Sites. 1992.
16. Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) vom 19. 2020. Bundesgesetzblatt I, 1554. 33 p. <https://www.gesetze-im-internet.de/bbodschv/BBodSchV.pdf>
17. Brand E., Bogte J., Baars B.-J., Janssen P., Tiesjema G., van Herwijnen R., van Vlaardingen P., Verbruggen E. Proposal for Intervention Values Soil and Groundwater for the 2nd, 3rd and 4th Series of Compounds. RIVM, 2012. 114 p.
18. Carlon C. Derivation methods of soil screening values in Europe. A review and evaluation of national procedures towards harmonization. Ispra: European Commission, 2007. 306 p.
19. Canadian Council for Ministers for the Environment. Canadian Environmental Quality Guidelines. 2018. <http://st-ts.ccme.ca/en/index.html>
20. Chen Sh., Wang M., Li Sh., Zhao Zh., E W. Overview on current criteria for heavy metals and its hint for the revision of soil environmental quality standards in China // J. Integrative Agriculture. 2018. V. 17. № 4. P. 765–774. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(17\)61892-6](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(17)61892-6)
21. Crommentuijn T., Sijm D., de Bruijn J., van den Hoop M., van Leeuwen K., van de Plassche E. Maximum permissible and negligible concentrations for metals and metalloids in the Netherlands, taking into account background concentrations // J. Environ. Management. 2000. V. 60. P. 121–143. <https://doi.org/10.1006/jema.2000.0354>
22. DEARSA: Framework for the management of contaminated land. Department: Environmental Affairs of the Republic of South Africa. 2010. 326 p.
23. Department of Environment and Conservation. Assessment levels for Soil, Sediment and Water. 2010. 56 p.
24. Dung T.T.T., Cappuyns V., Swennen R., Ky Phung N. From geochemical background determination to pollution assessment of heavy metals in sediments and soils // Rev. Environ. Sci. Bio/Technol. 2013. V. 12. P. 335–353. <https://doi.org/10.1007/s11157-013-9315-1>
25. Environmental Protection Agency. Risk Assessment. 2018. <https://www.epa.gov/risk>
26. Environmental Quality Standards for Soil Pollution. <http://www.env.go.jp/en/water/soil/sp.html>
27. Esquenazi E.L., Norambuena B.K., Bacigalupo Í.M., Estay M.G. Evaluation of soil intervention values in mine tailings in northern Chile // Peer J. 2018. V. 11. P. e5879. <https://doi.org/10.7717/peerj.5879>
28. Government notice. National norms and standards for the remediation of contaminated land and soil quality. Department of Environmental affairs. National Environmental management: Waste Act. Act no. 59 of 2008 // Governmente Gazette Staatskoerant. 2014. V. 587. № 37603. 8 p.
29. Govil P.K., Sorlie J.E., Murthy N.N., Sujatha D., Reddy G.L.N., Rudolph-Lund K., Krishna A.K., Rama Mohan K. Soil contamination of heavy metals in the Katedan Industrial Development Area, Hyderabad, India // Environmental Monitoring and Assessment. 2008. V. 140. P. 313–323. <https://doi.org/10.1007/s10661-007-9869-x>
30. Guidance for Developing Ecological Soil Screening Levels (Eco-SSLs). Review of Existing Soil Screening Benchmarks. 1999. 91 p.
31. Heemsbergen D., Warne M., McLaughlin M., Kookana R. The Australian methodology to derive ecological investigation levels in contaminated soils. 2009. 74 p.
32. Jariwala S., Redding L., Hewitt D. The severely under-recognized public health risk of strongyloidiasis in North American cities—A One Health approach // Zoonoses and Public Health. 2017. V. 64(8). P. 579–588. <https://doi.org/10.1111/zph.12371>
33. Jarva J. Geochemical baselines in the assessment of soil contamination in Finland. Espoo: Geological Survey of Finland, 2016. 52 p.
34. Lijzen J.P.A., Baars A.J., Otte P.F., Rikken M.G.J., Swartjes F.A., Verbruggen E.M.J., van Wezel A.P. Technical Evaluation of the Intervention Values for Soil //

- Sediment and Groundwater. RIVM Report 711701. 2001. 147 p.
35. *Keith A., Schmidt O., McMahon B.* Soil stewardship as a nexus between Ecosystem Services and One Health // *Ecosystem Services*. 2016. V. 17. P. 40–42. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2015.11.008>
 36. *Mackenzie J.S., Jeggo M.* The one health approach—why is it so important? // *Tropical Medicine and Infectious Disease*. 2019. V. 88(4). <https://doi.org/10.3390/tropicalmed4020088>
 37. Ministry for the Environment. Proposed National Environmental Standard for Assessing and Managing Contaminants in Soil to Protect Human Health—Evaluation under Section 32 of the Resource Management Act. Wellington: Ministry for the Environment, 2011. 44 p.
 38. National Environment Council – CONAMA. (2009). Resolution N 420 of December 28, 2009. <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>. (In Portuguese).
 39. National standard of the People’s Republic of China. Environmental quality standard for soils. Ministry of Environmental Protection, China. 1995. 4 p. (in Chinese).
 40. Roadworks—Contaminated Soil Management Procedure (including management of coastal acid sulphate soils, i.e. Coode Island silt). 2015. 51 p.
 41. *Rodríguez M., Lafarga J.* Soil Quality Criteria for Environmental Pollutants // *Encyclopedia of Environmental Health*. Elsevier, 2019. P. 736–752. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63951-6.00632-X>
 42. *Semenkov I., Koroleva T.* Heavy metals content in soils of Western Siberia in relation to international soil quality standards // *Geoderma Regional*. 2020. V. 21. P. e00283. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2020.e00283>
 43. Soil Remediation Circular. 2009. 57 p. www.esdat.net.
 44. *Udoguchi A., Gotoh S.* Japan’s environmental quality standards for soil // Fourth International KfK/TNO Conference on Contaminated Soil, 3–7 May. Berlin: Springer-Science + Business media, B.V., 1993. 1993. V. 1. P. 149–150. <https://doi.org/10.1007/978-94-011-2018-0>
 45. *Vácha R., Sáníka M., Skála J., Čechmánková J., Horváthová V.* Soil Contamination Health Risks in Czech Proposal of Soil Protection Legislation // *Environmental Health Risk—Hazardous Factors to Living Species*. 2016. <https://doi.org/10.5772/62456>
 46. *Wcislo E., Dlugosz L., Korcz M.* A human health risk assessment software for facilitating management of urban contaminated sites: a case study: the Massa Site, Tuscany, Italy, human and ecological risk assessment // *Int. J.* 2005. V. 11. № 5. P. 1005–1024. <https://doi.org/10.1080/10807030500257762>
 47. *Wcislo E.* Polish Soil Quality Standards Versus Risk-Based Soil Screening Levels for Metals and Arsenic // *Human and Ecological Risk Assessment: Int. J.* 2012. V. 18(3). P. 569–587. <https://doi.org/10.1080/10807039.2012.672888>
 48. *Yagming L., Chen T.* Twenty Years of Research and Development on Soil Pollution and Remediation in China. Singapore: Science Press & Springer Nature Singapore Pte Ltd, 2018. 818 p. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-6029-8>

Guideline Values for the Content of Chemical Elements in Soils of Functional Zones at Cities (Review)

I. N. Semenov^{1, *} and T. V. Koroleva¹

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

**e-mail: semenkov@geogr.msu.ru*

The Russian soil quality assessment system, where the guideline values for the content of heavy metals and metalloids derived for arable lands (mostly in terms of the general sanitary indicator of harmfulness) are applied to the soils of the residential area and the protected area of water supply sources, can be updated using international experience e.g., substantiation of generic values for functional zones in cities. Since, with a few exceptions, Russian soil quality guidelines are the same for all soils of the country. In order to assess the applicability of foreign approaches in Russian realities, we thoroughly analyzed the original and most developed legislation systems of the soil quality assessment in cities of Germany, Canada and the United States, as well as the systems of Australia, New Zealand, South Africa, and the countries of the European Union, where the values are the land use specific. In this paper, we summarized the principles of the soil quality assessment for the chemical element content, described the methodology used in different countries and the consequences of exceeding the values, and highlighted some clues for improving the Russian soil quality assessment system. The Russian system of the soil quality assessment can be improved and updated by substantiating: (i) for cities, land use differentiated standards depended only on the actual subjects of rationing — the health of ecosystems, children or adults; (ii) standards for different geochemical environments considering the peculiarities of migration of substances; (iii) standards for the soil materials used to construct lawns and roadside areas. In addition, we suggested: (i) to develop a comprehensive system of decision making in case the soil quality standards are exceeded; (ii) to legitimize the concept of historical pollution that existed before the business run in; (iii) to establish the minimum volume of soil, a depth or a set of soil horizons to be remediated or removed due to pollution.

Keywords: soil pollution, environmental policy, human health risk assessment, one health approach