

УДК 631.416

НОРМИРОВАНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В ПОЧВАХ АГРОЦЕНОЗОВ С УЧЕТОМ ИХ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ

© 2022 г. Л. П. Воронина^{1,2,*}, К. Э. Поногайбо¹

¹Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровью
Федерального медико-биологического агентства
119121 Москва, Погодинская ул., 10, стр. 1, Россия

²Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова
119991 Москва, Ленинские горы, 1, стр. 12, Россия

*E-mail: LVoronina@cspmz.ru

Поступила в редакцию 06.04.2022 г.

После доработки 08.05.2022 г.

Принята к публикации 10.06.2022 г.

В связи с актуальностью совершенствования методического материала по санитарно-гигиеническому нормированию поллютантов в почве и часто возникающими дискуссиями по поводу использования существующих нормативов для почв агроценоза представлялось целесообразным выделить и определить основные позиции в существующем методическом подходе по определению ПДК поллютантов для почв сельскохозяйственного использования. Для того, чтобы установленные ПДК не противоречили нормальному функциональному предназначению агроценозов, необходимо руководствоваться не только принципом “не навреди” – не допуская присутствие высокой концентрации поллютанта, но и “не навреди” – строгим контролем, ограничивая тем самым присутствие необходимого количества питательных веществ для формирования качественной сельскохозяйственной продукции. Поиск источников, посвященных исследованиям по применению санитарно-гигиенических нормативов в почвах сельскохозяйственного использования, проводили в научной электронной библиотеке eLIBRARY.ru и в библиографических, реферативных базах данных Research Gate, Springer Link, Scopus, Science Direct, Web of Science. Данный аналитический обзор определяет ряд основных позиций, которые необходимо учитывать в гигиенических подходах нормирования химических веществ в почвах агроценозов.

Ключевые слова: агроценоз, методика нормирования, предельно-допустимая концентрация химических веществ, качество сельскохозяйственных почв.

DOI: 10.31857/S0002188122090125

СОЦИАЛЬНЫЕ ПРЕДПОСЫЛКИ

Деятельность человека в природе осуществляется в рамках сложной социально-экологической системы [1]. Особый интерес представляет связь сельскохозяйственных территорий (агроценозов – биогеоценозов, созданных человеком (искусственных экосистем), обладающих определенным видовым составом и определенными взаимоотношениями между компонентами окружающей среды. Их высокая продуктивность обеспечивается интенсивной технологией подбора высокоурожайных сортов растений, удобрений) и природных экосистем [2]. При изучении антропогенно-созданного ландшафта (агроценоза) стоит учитывать его характеристику по сравнению с незатронутой эффективной деятельностью человека территорией [3]. Экологические законы, поддерживающие биоразнообразие и сохранение, ограничивают рас-

ширение сельскохозяйственных площадей, что является одной из причин интенсификации сельского хозяйства и, на сегодня, поиска инновационных стратегий устойчивого (сбалансированного) аграрного природопользования [4]. Технологии интенсификации аграрного природопользования, увеличивающие эффективность и объемы сельскохозяйственного производства, истощают агроэкосистему и актуализируют в ней необходимость контроля и нормирования. Особое внимание общественности приурочено к качеству окружающей среды и безопасности пищевых продуктов [5], что является лимитирующим фактором в увеличении интенсификации аграрного природопользования.

На сегодняшний день особенности рыночных отношений в процессе землепользования привели к тому, что основное внимание уделяется социаль-

но-экономической ориентации, а экологические проблемы имеют второстепенное значение. Поэтому важность экологической составляющей в системе устойчивого использования земель агроценозов с каждым годом становится все более значимой. Оптимизация использования сельскохозяйственных земель предполагает как достижение параметров плодородия и продуктивности, так и нормализацию экологических аспектов, представленных конкретными качественными и количественными показателями, в частности, уровнем экологической устойчивости территории [6].

Для устойчивого функционирования агроценоза необходимо анализировать процессы, происходящие в каждой локальной экосистеме [7]. Такая сепарация продиктована разнообразием природных систем, которая может оптимально регулировать платежную политику, связанную с нормативными гигиеническими показателями агроценоза [8].

Экологическое равновесие и устойчивость агроценоза складываются из баланса противоположно направленных процессов: продукционно-го и деструкционно-го, гумификации и минерализации, выноса и поступления питательных веществ, уплотнения и разуплотнения почвы, формирования структуры и разрушения, эрозийных процессов и почвообразования и т.п. Причем все эти процессы может регулировать человек. В сельскохозяйственных ландшафтах необходимо задать такие параметры, в которых нагрузки, нарушающие экологические параметры, находились бы в рамках защитной емкости среды. Необходимо подчеркнуть, что для агроценоза основной принцип определения предельно-допустимых концентраций (ПДК) для почв, связанный с установлением способности почвы в зависимости от вида землепользования сохранять устойчивость при антропогенной нагрузке, декларируемый в ст. 3 ФЗ “Об охране окружающей среды” (Федеральный закон от 10.01.2002 № 7 (ред. от 05.02.2007) “Об охране окружающей среды”), не является единственно действующим. ПДК – такое содержание химических элементов в среде, которое в течение длительного времени не вызывает прямого или косвенного негативного влияния на здоровье человека, включая отдаленные последствия.

В качестве критерия в данном случае выступает и предел поступления этого вещества в растение (МДУ) – максимально допустимые уровни (или ДОК – допустимые остаточные концентрации) пестицида в пищевых и фуражных продуктах, в почве и других объектах, устанавливаемые

на основании результатов изучения токсичности препаратов для различных организмов.

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ КАК ОТРАЖЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Основные поллютанты, существующие в природе, определяются, нормируются и контролируются, что является общепланетарным исследовательским направлением в целях сохранения окружающей среды и здорового образа жизни на нашей планете. Регулированию качества почв посвящено много работ как отечественных, так и зарубежных авторов [9–13]. Изучение вопросов нормирования поллютантов в рамках контроля за почвенными свойствами сельскохозяйственных объектов можно отнести к целевому направлению в этих исследованиях, которое нуждается в индивидуальном подходе.

Общий подход предполагает установление экологических нормативов на основе поиска и раскрытия основных закономерностей между состоянием природной среды и антропогенным воздействием на среду, далее по установленным закономерностям в изменении системы “степень воздействия–состояние” в соответствии с областью исследования разрабатывают критерии и показатели норм качества.

Для изучения эколого-гигиенических характеристик почв в сельскохозяйственных ландшафтах используют все подходы, применяемые в области научно-методических изысканий экологического нормирования почв.

ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ СУММАРНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ В АГРОЦЕНОЗАХ

На сельскохозяйственных площадях ведут мониторинговые эколого-гигиенические исследования, контролируют основные токсиканты. Предельно-допустимые концентрации (ПДК) элементов и их соединений в среде являются санитарно-гигиеническим критерием качества окружающей среды. В основе принципа нормирования лежит методика, нацеленная не на выявление зон бедствия, а предупреждающая негативные антропогенные воздействия на окружающую среду и, таким образом, защищающая человека от их воздействия.

Существующие ПДК учитывают при расчете следующих коэффициентов загрязнения территории: коэффициент загрязнения K_0 (K_0 – фактическое содержание к ПДК) и коэффициент

концентрации химического вещества, учитывающий фоновое содержание элемента в почве (K_c – фактическое содержание к фоновому содержанию), который впоследствии используют для расчета суммарного показателя загрязнения (Z_c , МУ 2.1.7.730-99 Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест) [14]. При расчете суммарного показателя загрязнения (Z_c) необходимо обратить внимание, что должны суммироваться только коэффициенты K_i , превышающие фоновое значение ($K_i > 1$). В ряде документов данная позиция не отражена, в связи с чем при расчете Z_c может принимать отрицательные величины. Кроме того, увеличение количества коэффициентов может привести к снижению показателя Z_c , тем самым снижая расчетный уровень загрязнения [15].

При сравнении 2-х описанных выше подходов к расчету коэффициентов загрязнения можно заметить, что в первом случае оценка загрязнения обусловлена превышением фактического содержания загрязняющих почву компонентов над полученными в лабораторных условиях и утвержденными показателями ПДК. Во втором случае оценка загрязнения определенным компонентом основывается на анализе сопряженных геохимических и агрохимических результатов исследования окружающей среды. Для исследований в агроландшафте второй вариант является более актуальным, т.к. при анализе агроценоза стоит сконцентрировать внимание не только лишь на абсолютных величинах концентраций загрязнителей, но и на свойствах почвы.

При исследованиях сельскохозяйственных земель выбор фона вызывает трудности в связи с тем, что почвы в результате постоянного воздействия трансформируются и существенно отличаются от естественных ненарушенных почв. Именно поэтому при его выборе необходимо учитывать не только тип почвы, распространенной на участке до ее сельскохозяйственного освоения, но и кислотность, содержание гумуса, гранулометрический состав и прочие агрохимические характеристики в соответствии с существующими стандартными анализами, основная часть которых представлена в табл. 1, 2.

Данная информация позволяет наиболее точно подобрать фон и провести корректный сравнительный анализ для изучаемой территории. Стоит иметь в виду, что использование фоновых показателей позволяет проследить изменения в накоплении загрязняющих веществ в почвах и оценить направленность данного процесса при оценке экологического состояния сельскохозяйственных земель. В это же время гигиенические

нормативы, регламентирующие предельно допустимые уровни накопления в почвах загрязняющих веществ, позволяют определить степень опасности поступления избыточного количества поллютантов в почву и их негативное влияние на растения [16]. Опасность загрязнения тем больше, чем меньше буферная способность почвы, которая зависит от гранулометрического состава, содержания органического вещества, кислотности почвы и т.п. Но даже при продуманных учетных позициях в экологическом мониторинге не удастся учесть многие факторы, регулирующие токсичность почвы.

Индивидуальные условия (химическая и биологическая составляющие почвы, обеспечивающие плодородие и отражающие способность выполнять ее защитные функции), и особенности произрастания растений (физиологические особенности культуры, потребность влаги, питания, температурный режим и др.) усложняют решения вопросов унифицированного подхода в разработке ПДК.

РЯД ОСОБЕННОСТЕЙ, КОТОРЫЕ НЕОБХОДИМО УЧИТЫВАТЬ В НОРМИРОВАНИИ ПОЛЛЮТАНТОВ В АГРОЦЕНОЗЕ

Почвы сельскохозяйственных территорий нацелены на выращивание растений и, как следствие, внесения макро- и микроэлементов для поддержания и воспроизводства почвенного плодородия. Оптимальные показатели содержания элементов питания для растений в почве в ряде случаев могут достигать и превышать установленные величины ПДК. В перечень загрязняющих веществ, в отношении которых применяют меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды, вошли такие питательные макроэлементы, как азот (NO_3^-) и фосфор (P_2O_5), нормативная величина которых находится на “нормальном” уровне обеспеченности грунта элементами питания [17–19].

Ограничение содержания микроэлементов (меди, цинка, бора, молибдена, марганца и др.) в соответствии с соблюдением ПДК их в почве не всегда может быть приемлемо для агроценоза, т.к. их дефицит может привести к повышению заболеваемости растений и снижению урожайности сельскохозяйственных культур [20, 21]. Растительные культуры могут испытывать как недостаток, так и избыток микроэлементов. Их доступность зависит не от валового содержания в почве, а от содержания подвижных форм – это то, на что следует обращать особое внимание при целевом

Таблица 1. Нормативная база методов почвенных исследований

Показатель	Нормативно-техническая документация на методы исследований
Органическое вещество, %	ГОСТ 26213-91
Общий азот, %	ГОСТ 26107-84
pH, ед.	ГОСТ 26483-85
Гидролитическая кислотность, ммоль/100 г	ГОСТ 26212-91
Подвижный фосфор и обменный калий по методу Чирикова/по методу Мачигина, мг/кг	ГОСТ 26204-91/ГОСТ 26205-91
Обменный натрий, ммоль/100 г	ГОСТ 26950-86
Сумма поглощенных оснований, ммоль/100 г	ГОСТ 27821-88
Емкость катионного обмена, ммоль/100 г	ГОСТ 17.4.4.01-84
Валовой фосфор, %	ГОСТ 26261-84
Валовой калий, %	
Валовой цинк, мг/кг	МУ по определению ТМ в почвах сельскохозяйственных угодий и продукции растениеводства. МСХ, ЦИНАО, 1992 г.
Валовой кадмий, мг/кг	
Валовой свинец, мг/кг	
Валовой марганец, мг/кг	
Валовая медь, мг/кг	
Валовая ртуть, мг/кг	
Подвижный цинк, мг/кг	
Подвижная медь, мг/кг	
Подвижный марганец, мг/кг	
Подвижная сера, мг/кг	
Подвижный бор, мг/кг	ГОСТ Р 50688-94
Подвижное железо, мг/кг	ГОСТ 27395-87
Подвижный кобальт, мг/кг	ГОСТ Р 50683-94
Подвижный кадмий, мг/кг	МУ по определению тяжелых металлов в кормах и растениях и их подвижных соединений в почвах. М.: ЦИНАО, 1993 г.
Подвижный свинец, мг/кг	
Валовой мышьяк, мг/кг	МУ по определению тяжелых металлов в кормах и растениях и их подвижных соединений в почвах. М.: ЦИНАО, 1993 г.
Распределение структурных отдельностей по размерам	По методу Н.И. Саввинова
Гранулометрический состав	По методу Н.А. Качинского

для агроценоза гигиеническом нормировании [22, 23].

В ряде работ проведенная оценка содержания микроэлементов в почвах и растительной продукции с учетом качества продукции выявила отсутствие избытка тяжелых металлов в почвах и растениях и дефицит микроэлементов. Обнаружено, что вследствие буферности почв по отношению к тяжелым металлам и буферным механизмам растений поступление металлов в товарную часть растительной продукции, особенно в зерно и плоды, невелика, и она остается экологически безопасной даже на загрязненных почвах [20–28].

Во многих научных работах выполнен анализ нормирования элементов в почвах агроценозов. Например, А.И. Сысо (2008, 2017), рассматривая и сравнивая два подхода – биогеохимический и гигиенический, указывал на присутствующие противоречия. В основе медико-географического анализа территории лежит биогеохимический подход. Данный подход заключается в наблюдении за биогеохимическими провинциями, где избыток или недостаток определенных химических элементов обусловлен природными условиями. Благодаря наблюдению можно установить связь между качественной и количественной характе-

Таблица 2. Физико-химическая и санитарная характеристики пахотных почв, предусмотренные в почвенном паспорте

Физико-химическая характеристика	
Влажность горизонта во время отбора проб, %	
Структура почвы	
Гранулометрический состав почвы	
Объемная масса почвы, г/см ³	
Общая пористость почвы, %	
Содержание гумуса, %	
Содержание общего азота, %	
Соотношение углерод:азот (C:N)	
Кислотность почв (рН): рН солевой вытяжки, рН водного раствора	
Емкость катионного обмена	
Насыщенность основаниями, %	
Содержание карбоната кальция (CaCO ₃), %	
Электропроводимость насыщенного водного раствора по ГОСТ 26423	
Состав обменных катионов по ГОСТ 26487	
Содержание подвижного фосфора	
Содержание подвижного калия	
Состав и общее содержание солей в водной вытяжке по ГОСТ 26423–ГОСТ 26428	
Санитарное состояние почвы	
Показатели санитарного состояния почвы – в соответствии с ГОСТ 17.4.2.01	
Санитарно-бактериологические обязательные показатели	
1. лактозоположительные кишечные палочки (колиформы), индекс	
2. энтерококки (фекальные стрептококки), индекс	
3. патогенные микроорганизмы (по эпидпоказаниям), индекс	
Санитарно-гельминтологический показатель – яйца и личинки гельминтов (жизнеспособные), шт./кг	
Санитарно-химические обязательные показатели:	
1. канцерогенные вещества, мкг/кг	
2. радиоактивные вещества, Ки/кг	

ристикой почвы и состоянием живых организмов и здоровьем людей.

Санитарно-гигиенический подход основан на ограничении, связанном с содержанием в почве ряда элементов, однако для почв агроценоза наравне с опасностью избыточного поступления веществ в растительную и животную продукцию возникает проблема дефицита эссенциальных микроэлементов. Автор обращает внимание на прогрессирующее снижение плодородия почв и, в частности, связанного с обеспеченностью микроэлементами (B, Cu, Mo, Ni, Zn). В связи с этим существующий гигиенический подход по ограничению элементов, многие из которых являются микроэлементами для растений сельскохозяйственных угодий, ведет к снижению качества продукции. Автор также подчеркивает, что относительно высокий уровень валового содержания

того или иного элемента может быть обусловлен природными металлогеническими особенностями территорий, а не техногенным загрязнением почв. Необходимо иметь в виду, что для агроценоза из-за нахождения данного элемента в химически прочных соединениях он не представляет опасности, т.к. не поступает в растительную продукцию в избыточном количестве [24, 26, 27].

Для понимания процессов, происходящих в агроценозе, необходимо учитывать валовое содержание элементов и подвижные их формы. Валовое содержание определяется непосредственно в почвенных пробах после их кислотного разложения, подвижные формы микроэлементов извлекают экстрагентами (индивидуальные – по методу Пейве–Ринькиса или групповые, например, ацетатно-аммонийным буфером с рН 4.8 [27]). Концентрации большинства микроэлементов

тов в пробах измеряют атомно-эмиссионным и атомно-абсорбционным методами в соответствии с ГОСТами, представленными в табл. 1.

Важно отметить, что если при гигиенической оценке почв руководствоваться только превышениями ПДК, то как показали результаты исследований, чернозем может оказаться весьма неблагоприятной почвой. Установлено, что концентрация подвижных форм кобальта и других элементов (Cu, Ni, Cd, Pb) в разы больше, чем в серых лесных почвах. Целинные черноземы, как отмечают авторы, обладают большим запасом подвижных форм таких элементов, как свинец и марганец [23, 28].

Почвы агроценоза даже в рамках одного почвенного типа могут быть сформированы высокой и низкой культурой земледелия. В связи с чем они могут характеризоваться разной обеспеченностью элементами и при этом разной степенью устойчивости к загрязнителям разной этиологии (разная степень выраженности защитных функций, что отражает функционально-экологический подход) [29]. Для исследований по определению ПДК для агроценозов в стационарных опытах обязательно должны быть заложены варианты с высокой и низкой культурой земледелия. Нормируемая величина должна обеспечивать не превышение этого вещества в сельскохозяйственных культурах.

Учитываемый в санитарно-гигиеническом нормировании водно-миграционный показатель отражает массопоток элементов в системе почва–грунтовые воды. В связи с нестабильностью поведения поллютантов и зависимостью их миграции от многих факторов данный показатель не является преобладающим в подходах и принципах нормирования в агроценозе, однако может быть более актуален для сельскохозяйственных площадей, расположенных на низинных рельефах, пойменных почвах.

ТРАНСЛОКАЦИОННЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ ВРЕДНОСТИ ПРИ ПОСТУПЛЕНИИ ПОЛЛЮТАНТОВ В РАСТЕНИЯ

Для нормирования веществ в почве агроценоза обязательным и лимитирующим показателем вредности выступает транслокационный (транслокационный показатель вредности – характеризует способность токсичных веществ переходить из почвы в растение), и лишь в отдельных случаях, в зависимости от источника загрязнения (максимальное загрязнение органическими веществами) – общесанитарный (общесанитарный

показатель характеризует влияние химического вещества на самоочищающую способность почвы и ее биологическую активность).

В рамках ряда исследований установлены особенности поступления отдельных элементов в растения и их распределения по органам. Большинство микроэлементов характеризуется низкой доступностью для растений (за исключением бора) и тяжелых металлов (за исключением кадмия) [30]. В сельскохозяйственных растениях, зерне, овощной и плодово-ягодной продукции, кормовых культурах контролируют отсутствие превышения максимально допустимого уровня (МДУ) содержания тяжелых металлов, остаточных количеств пестицидов, нитрозаминов и других ксенобиотиков. Для сельскохозяйственных растений, произрастающих в биогеохимических аномальных зонах, разработан комплекс технологических мероприятий с рекомендациями культур и севооборотов. Знание и учет физиологических особенностей растений применим к ряду биофильных макро- и микроэлементов. В растениях часто встречается недостаток молибдена, кобальта, йода, повсеместно происходит снижение содержания меди и цинка до уровня, критически недостаточного для нормального развития растительности, что может в ближайшем будущем негативно сказаться на продуктивности и качестве сельскохозяйственной продукции. Миграция тяжелых металлов по органам растений может быть представлена следующим рядом: корни – стебли – листья – плоды – клубни – семена. Причем содержание тяжелых металлов в тканях корня может увеличиваться в 100 и более раз, что свидетельствует о защитных возможностях растений, обусловленных присутствием физиологических барьеров в их органах [24, 27, 28, 30].

Содержание химических веществ в почвах должно быть сведено к определению таких предельных концентраций, при которых гарантируется получение гигиенически пригодных и качественных растительных продуктов.

ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДЕГРАДАЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОЧВ

Важными этапами при оценке степени химического загрязнения с использованием нормативов в агроценозе являются определение степени деградации почв и потери их плодородия. Необходимо знать величину содержания органического вещества, биогенных элементов, реакцию среды, окислительно-восстановительных условий, структурного состояния, водного, воздушного и

температурного режимов, биологической активности почвы, фитосанитарного состояния почв [31, 32]. Перечень показателей уровня плодородия и методы их определения, к которым следует обратиться, представлены в паспорте почвы (табл. 2), который оформляется для используемых (эксплуатируемых) площадей (Паспорт почв. ГОСТ 17.4.2.03–86. Охрана природы. Почвы). Паспортизация полей производится для установления мероприятий по их охране, повышению плодородия и рациональному использованию.

Санитарно-гигиенические нормативы, применяемые на сельскохозяйственных площадях, должны учитывать циклы биогенных элементов и трансформацию органических веществ в агроценозе. К диагностическим признакам плодородных сельскохозяйственных почв, наряду с химической характеристикой, относится определение ряда биологических показателей. Снижение ферментативной активности почвы является одним из критериев для установления уровня ее деградации. Изменение структурной составляющей микроорганизмов в почве также является хорошим диагностическим признаком негативных изменений в окультуренных сельскохозяйственных почвах. Санитарно-гигиенические нормативы должны работать в рамках сохранения качества сельскохозяйственной продукции с учетом соблюдения экологических законов, обеспечивающих супрессивность (показатель почвенного здоровья, проявляемый в подавлении и/или элиминировании из почвенной фитопатосистемы отдельных видов фитопатогенов, обусловленный совокупным действием биологических, физико-химических и агрохимических свойств почвы) почв [33].

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ПОДХОДЫ К НОРМИРОВАНИЮ КАЧЕСТВА ПОЧВ

В природоохранной практике Евросоюза, США и Канады в настоящее время широко распространен подход, основанный на оценке экологических рисков для объектов окружающей среды (ООС) [34–36]. Оценка экологического риска – это процесс по определению вероятности негативного экологического последствия, которое может наступить в результате одного или нескольких совокупных негативных воздействий. Данный подход используют прежде всего для построения системы прогнозирования и предупреждения возникновения необратимых процессов в ООС, в том числе влияющих на здоровье человека.

Установление степени химического загрязнения (воздуха, воды и почвы) проводят с учетом

Таблица 3. Критерии экологического состояния объектов окружающей среды

Экологическое состояние	Показатель	Критерии оценки
Удовлетворительное	1	$C_i \leq \text{ПДК}_i$
Напряженное	2	$1 \text{ ПДК}_i < C_i \leq 10 \text{ ПДК}_i$
Критическое	3	$10 \text{ ПДК}_i < C_i \leq 30 \text{ ПДК}_i$
Кризисное	4	$30 \text{ ПДК}_i < C_i \leq 50 \text{ ПДК}_i$
Катастрофическое	5	$C_i > 50 \text{ ПДК}_i$

класса опасности и величин ПДК химических веществ. Таким образом, для количественного анализа опасности загрязнения (O) необходимо провести соответствующие измерения и оценку, включающую установленный перечень параметров:

$$O = \text{SUM}[C_i, \text{Date}, \text{District}, \text{ПДК}_i], \quad i \in N, \quad (1)$$

где C_i – величина концентрации, Date – дата измерения, District – анализируемый объект, ПДК_i – величина ПДК, N – количество измеряемых параметров.

В данной оценке может использоваться как индивидуальное, так и совокупное влияние химических, физических и биологических показателей. Вероятность наступления негативных явлений может быть представлена качественной и количественной оценкой. Оценка экологического риска включает несколько подготовительных этапов: характеристика риска, стадия постановки вопроса и планирование оценки риска. В основе количественного определения экологического риска лежит анализ кривых “доза–эффект” с применением вероятностного подхода. Для описания таких кривых предложено применять математическое моделирование и вычисление критических точек. В соответствии с полученными величинами экологическое состояние (\mathcal{E}) природных объектов классифицируют по-разному. Один из примеров классификации представлен в табл. 3 [37, 38].

Моделирование как альтернативный подход к нормированию отдельных веществ с учетом характеристик качества почв широко используется, что отражено в работах многих авторов. В частности, в работах [39, 40] представлена модель поведения поллютантов с учетом основных почвенных характеристик. Авторы наряду с моделью предлагают свой классификатор качества почв, отражающий их состояние (фоновое, переход-

ное, нарушенное), которое описывается суммарными показателями присутствующих в почве поллютантов, а совокупная характеристика приурочена к определенной категории (от I до IV). Критерием отнесения почвы к той или иной категории выступает параметр p , учитывающий нагрузку и состояние почв, т.е. являющийся функцией почвенного отклика R на нагрузку c ($p = f(R(c))$).

Использование моделирования для определения категории загрязнения почв агроценоза, возможно, представляется целесообразным, особенно в условиях необходимости учета суммарного действия поллютантов.

В почвенном нормировании необходимо предусмотреть присутствие биологического загрязнения агроценоза. В действующем СанПиН 1.2.3685-21 “Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания” загрязнение почв поллютантами оценивается с учетом опасности присутствия органических и неорганических веществ по классам опасности, а также учитывается степень микробиологического загрязнения почвы [41]. Общесанитарная позиция, которая является составной частью методического руководства по определению ПДК органических и неорганических веществ, требует отдельного рассмотрения.

Несомненно, все вышеперечисленные подходы могут быть рассмотрены и учтены в рамках нормирования поллютантов в агроценозе, но с учетом специфических составляющих и особенностей функционирования данной системы.

Критерии нормирования агроценозов теснейшим образом связаны со сбалансированностью почвенных процессов, устойчивостью почвенных характеристик и плодородием. В связи с чем, кроме интегрального индекса экологического состояния почвы (комплексный критерий качества — комплекс химических, физических и биологических методов), как указывают ряд авторов, следует учитывать показатель устойчивости органического вещества (сбалансированность потерь и воспроизводства органического вещества почвы) [42, 43].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Технологии интенсификации аграрного природопользования, увеличивающие эффективность и объемы сельскохозяйственного производства, оказывают двустороннее влияние. С одной стороны, происходит истощение агроэкосистемы, что приводит к дефициту элементов, с другой стороны, — загрязнение, что влияет на качество и безопасность продукции. Все это актуализирует необхо-

димость особого контроля и нормирования в агроценозах.

Подходы санитарно-гигиенического нормирования могут рассматриваться как с позиций масштабированности территорий (локальный, региональный, глобальный), так и с позиций вида химического/биологического воздействия.

Почвы сельскохозяйственных территорий нацелены на выращивание экологически безопасной растениеводческой и животноводческой продукции, на поддержание плодородия. Вместе с тем необходимо избежать загрязнения почв, которое может заставить прибегнуть к экстренным мерам для очистки территории и отказу от продукции. Экосистемный подход с гигиеническими предупреждающими мерами (нормирование и контроль), нацеленный на благополучие экосистем, их звеньев и компонентов, является основой благополучия и здоровья человека.

Содержание любого вещества в почвах не должно вызывать загрязнения выращиваемой на них растительной продукции выше установленного максимально допустимого уровня для растений (МДУ), что и служит критерием установления нормативов предельного содержания загрязняющих веществ в почвах сельскохозяйственных земель. Особый акцент следует сделать на формах нормируемых веществ.

При соблюдении условий потребностей растений для урожая и качества продукции должны быть учтены химические и биологические составляющие почвы, обеспечивающие плодородие, отражающие способность выполнять защитные функции, что важно как для экологического мониторинга, так и биогеохимической или гигиенической оценки. Почвы агроценоза даже в рамках одного почвенного типа могут быть сформированы высокой и низкой культурой земледелия. В связи с этим они могут характеризоваться разной степенью устойчивости к загрязнителям разной этиологии. В агроландшафте необходимо задать такие параметры сельскохозяйственному производству, в котором нагрузки, нарушающие экологические параметры, находились бы в рамках защитной емкости среды.

Гигиеническое нормирование агроценозов как функциональное зонирование территории имеет свою специфику и принципиальные различия, которые требуется рассмотреть, проанализировать и обязательно включить в методику нормирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Berkes F.* Rethinking community-based conservation // *Conserv. Biol.* 2004. V. 18. P. 621–630.
2. *Tscharntke T., Klein A.M., Kruess A.* Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity – ecosystem service management // *Ecol. Lett.* 2005. V. 8. P. 857–874.
3. *Fischer J., Brosi B., Daily G.C., Ehrlich P.R., Goldman R., Goldstein J., Lindenmayer D.B., Manning A.D., Mooney H.A., Pejchar L., Ranganathan J., Tallis H.* Should agricultural policies encourage land sparing or wildlife-friendly farming? // *Front Ecol. Environ.* 2008. V. 6 (7). P. 380–385. <https://doi.org/10.1890/070019>
4. *Stepanenko A.V.* Ekolohe-ekonomichni stratehiv systemi zabezpechennia ekolohichnoi bezpeky // *Nauk ta naukoznavstvo.* 2014. № 4. S. 77–89.
5. *Kupynets L.Ye.* Ekolohyzatsiia prodovolstvennoho kompleksa: teoriia, metodolohiia, mekhanyzm. Odesa: YPRON NAN Ukrain, 2010. 712 s.
6. *Dudych H., Dudych L.* Assessment of the ecological sustainability of agricultural land use in the territorial structure of region // *Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development.* 2018. V. 18. Iss. 4. P. 87–95.
7. *Hranovska L.M.* Teoretyko-metodolohichni aspekty upravlinnia rehionalnoi ekoloheekonomichnoi systemoi // *Zbalansovane pryrodokorystuvannia.* 2015. № 14. S. 31–37.
8. *Zhu C., Anlu Z., Kehao Z., Lingxiang H.* Can payment tools substitute for regulatory ones? Estimating the policy preference for agricultural land preservation // *Land Use Policy.* 2021. V. 100 № 104860. P. 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104860>
9. *Матвеев Ю.М., Попова И.В., Чернова О.В.* Проблемы нормирования содержания химических соединений в почвах // *Агрохимия.* 2001. № 12. С. 54–60.
10. *Трофимов С.Я., Аммосова Я.М., Орлов Д.С.* Влияние нефти на почвенный покров и проблема создания нормативной базы по влиянию нефтезагрязнения на почвы // *Вестн. Моск. ун-та. Сер. 17, почвоведение,* 2000. № 2. С. 30–34.
11. *Яковлев А.С., Евдокимова М.В.* Экологическое нормирование почв и управление их качеством // *Почвоведение.* 2011. № 5. С. 594–596.
12. *Heemsbergen D., Warne M., McLaughlin M., Kookena R.* The Australian methodology to derive ecological investigation levels in contaminated soils // *CSIRO Land Water Sci. Rep.* 2009. V. 43. № 09.
13. *Wesselink L.G., Notenboom J., Tiktak A.* The consequences of the European Soil Framework Directive for Dutch policy // *MNP report.* 500094003. 2006. 31 p.
14. *Глебова И.В., Гридасов Д.С., Тутова О.А.* Анализ экологического мониторинга территорий Курской области // *Экология.* 2012. № 1. С. 74–78.
15. *Кунаков К.О.* Принципиальные разногласия в законодательстве при оценке категорий загрязнения почв тяжелыми металлами на стадии инженерно-экологических изысканий для разработки проектной документации // *Инж.-экол. изыскания – нормативно-правовая база, соврем. методы и оборудование.* 2017. С. 16–19.
16. *Добровольский О.В., Чернова О.В., Семенюк Л.Г., Богатырев Г.В.* Принципы выбора эталонных объектов при создании Красной книги почв России // *Почвоведение.* 2006. № 4. С. 387–395.
17. ГОСТ Р 53381–2009. Почвы и грунты. Грунты питательные. Технические условия.
18. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 8 июля 2015 года № 1316-р “Об утверждении перечня загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды”. Характеристики загрязняющих веществ из раздела “III. Для почв”. УралНИИ “Экология”. Справ-к. 2017. 108 с.
19. *Коновалов А.Г., Рисник Д.В., Левич А.П., Фурсова П.В.* Обзор подходов к оценке экологического состояния и нормированию качества почв // *Междисципли. научн. и прикл. журн. “Биосфера”.* 2017. Т. 9. № 3. С. 214–229.
20. *Головатый С.Е.* Тяжелые металлы в агроэкосистемах. Минск: Институт почвовед. и агрохим., 2002. 140 с.
21. *Monnet F., Vaillant N., Vernay P., Coudret A., Sallanon H., Hitmi A.* Relationship between PSII activity, CO₂ fixation, and Zn Mn and Mg contents of *Lolium perenne* under zinc stress // *J. Plant Physiol.* 2001. V. 158. P. 1137–1144.
22. *Viehweger K., Geipel G.* Uranium accumulation and tolerance in *Arabidopsis halleri* under native versus hydroponic conditions // *Environ. Exp. Bot.* 2010. V. 69. P. 39–46.
23. *Левшаков Л.В.* Нормирование содержания тяжелых металлов в почве // *Вестн. Курск. ГСХА.* 2011. № 3 (3). С. 34–42.
24. *Ильин В.Б., Сысо А.И.* Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области. РАН СО, 2001. 226 с.
25. *Мотузова Г.В., Безуглова О.С.* Экологический мониторинг почв. М.: Академ. Проект, 2007. 237 с.
26. *Syso A.I.* Ecological and biogeochemical evaluation of elements content in soils and fodder grasses of the agricultural lands of Siberia // *J. Pharmaceut. Sci. Res.* 2017. Т. 9. № 4. С. 368–377.
27. *Сысо А.И., Ильин В.Б.* Эколого-агрохимическая оценка содержания микроэлементов в почвах и растительной продукции на юге Западной Сибири // *Пробл. агрохим. и экол.* 2008. № 2. С. 33–36.
28. *Головатый С.Е., Савченко С.В., Жуковский А.Г.* Научно-методические подходы к выявлению, оценке и учету загрязненных сельскохозяйственных земель // *Экол. вестн.* 2016. № 3 (37). С. 91–97.
29. *Воронина Л.П., Поногайбо К.Э., Савостикова О.Н.* Гигиена и санитария. 2022. Т. 101. № 3. С. 270–274.
30. *Битюцкий Н.П.* Минеральное питание растений. СПб., 2020. 562 с.
31. *Иванов А.Л., Кирюшин В.И., Гилев С.Д., Цымбаленко И.Н., Волынкин В.И., Степных Н.В.* Система адаптивно-ландшафтного земледелия Курганской области. Куртамыш: Куртамыш. типография, 2012. 493 с.
32. *Мыслыва Т.Н., Циавиа Ж.З., Шабрина Е.В.* Мониторинг земель сельскохозяйственного назначения в

- Республике Беларусь: проблемы и перспективы развития // Вестн. Белорус. ГАУ. 2017. № 2. С. 105–111.
33. Löbmann M.T., Vetukuri R.R., de Zinger L., Alsanius B.W., Grenville-Brigs L.J., Walter A.J. The occurrence of pathogen suppressive soils in Sweden in relation to soil biota, soil properties, and farming practices // *Appl. Soil Ecol.* 2016. V. 107. P. 57–65.
 34. Fairman R., Mead C.D., Williams W.P. Environmental risk assessment – approaches, experiences and information sources // *Monitoring and Assessment Research Centre, King's College, London, Copenhagen: EEA (European Environment Agency), 1998. 88 p.*
 35. Fishwick S. Soil screening values for use in UK ecological risk assessment. Bristol: Environment Agency, 2004. 281 p.
 36. Башкин В.Н., Припутина И.В. Управление экологическими рисками при эмиссии поллютантов. М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2010. 185 с.
 37. Музгалевский А.А., Карлин Л.Н. Экологические риски: теория и практика. СПб.: РГГМУ, ВВМ, 2011. 448 с.
 38. Алексеев В.В., Куракина Н.И., Желтов Е.В. ГИС комплексной оценки состояния окружающей природной среды // *Агр. Rev.* 2007. № 1 (40). P. 16–17.
 39. Экологическое нормирование и управление качеством почв и земель / Под ред. Шоба С.А., Яковлева А.С., Рыбальского Н.Г. М.: НИИ-Природа, 2013. 390 с.
 40. Барсегян А.Г., Гендугов В.М., Глазунов Г.П., Горбатов В.С., Горленко А.С., Воробейчик Е.Л. Экологическое нормирование и управление качеством почв и земель. М.: НИИ-Природа, 2013. 310 с.
 41. СанПиН 1.2.3685-21 “Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания”.
 42. Авраменко П.М., Лукин С.В. Агрохимическое и агроэкологическое состояние почв Белгородской области. Белгород, 2001. 40 с.
 43. Кирюшин В.И. Проблема экологизации земледелия в России (Белгородская модель) // *Достиж. науки и техн. АПК.* 2012. № 12. С. 3–9.

Rationing of Chemicals in the Soils of Agrocenoses, Taking into Account Their Functional Significance

L. P. Voronina^{a,b,#} and K. E. Ponogaybo^a

^aCenter for Strategic Planning and Management of Biomedical Health Risks of the Federal Biomedical Agency
Pogodinskaya ul. 10, p. 1, Moscow 119121, Russia

^bM.V. Lomonosov Moscow State University
Leninskie gory 1, p. 12, Moscow 119991, Russia

[#]E-mail: LVoronina@cspmz.ru

Due to the urgency of improving the methodological material on sanitary and hygienic regulation of pollutants in the soil and the frequent discussions about the use of existing standards for soils of agrocenosis, it seemed appropriate to identify and define the main positions in the existing methodological approach to determining the maximum permissible concentration (MPC) of pollutants for agricultural soils. In order for the established MPC not to contradict the normal functional purpose of agrocenoses, it is necessary to be guided not only by the principle of “do no harm” – preventing the presence of a high concentration of pollutants, but also “do no harm” – by strict control, thereby limiting the presence of the necessary amount of nutrients for the formation of high-quality agricultural products. The search for sources devoted to research on the application of sanitary and hygienic standards in soils of agricultural use was carried out in the scientific electronic library eLIBRARY.ru and in the bibliographic, abstract databases Research Gate, Springer Link, Scopus, Science Direct, Web of Science. This analytical review defines a number of basic positions that need to be taken into account in hygienic approaches to rationing chemicals in soils of agrocenoses.

Key words: agrocenosis, rationing methodology, maximum permissible concentration of chemicals, quality of agricultural soils.