

© СИНИЦКАЯ Т.А., ПЛЕТЕНЕВ П.А., 2022

Читать
онлайн
Read
online

Синицкая Т.А., Плетенев П.А.

Современные методические подходы к нормированию пестицидов в почве

ФБУН «Федеральный научный центр гигиены имени Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, 141014, Мытищи, Россия

В современном мире, находящемся на пороге численности в 8 млрд человек, вопрос продовольственной безопасности занимает одно из ведущих мест. В связи с ограниченным количеством сельскохозяйственных угодий необходимо увеличивать урожайность полей, что практически невозможно без применения химических средств защиты растений. Однако применение пестицидов несёт в себе огромные риски для здоровья населения. Внесение пестицидов при обработке сельскохозяйственных угодий может привести к попаданию этих веществ различными путями в организм человека. С внутрисочевенным и боковым стоками пестициды могут перемещаться в воды водоёмов и оттуда попасть в систему централизованного водопровода или же в воду, отбираемую из водоисточников жителями близлежащих к сельскохозяйственным полям поселений. Действующие вещества пестицидов, обладающие летучестью, могут испаряться с поверхности почвы и переноситься на большие расстояния. Помимо этого источником риска для здоровья населения является транслокация пестицидов из почвы в растения, что может в дальнейшем привести к попаданию в организм человека с продуктами питания действующих веществ в концентрациях, превышающих максимально допустимые уровни (МДУ). Стойкие пестициды могут накапливаться в почве и впоследствии привести к нарушению её функционирования. Все перечисленные выше обстоятельства свидетельствуют о том, что гигиеническая регламентация пестицидов является важнейшим аспектом обеспечения безопасности населения. Авторами настоящего исследования предлагается наряду с величиной ПДК (предельно допустимая концентрация) использовать устанавливаемые на её основе показатели: предельно допустимый уровень внесения (ПДУВ) и безопасное остаточное количество (БОК). Эти величины позволят повысить уровень защиты населения от потенциального вреда пестицидов, применяемых в практике сельского хозяйства, для конкретных почвенно-климатических зон.

Ключевые слова: почва; пестициды; нормирование; ПДК; предельно допустимый уровень внесения; безопасное остаточное количество

Соблюдение этических стандартов. Исследование не требует представления заключения комитета по биомедицинской этике или иных документов.

Для цитирования: Синицкая Т.А., Плетенев П.А. Современные методические подходы к нормированию пестицидов в почве. *Гигиена и санитария*. 2022; 101(10): 1240–1242. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-10-1240-1242> <https://elibrary.ru/uubezv>

Для корреспонденции: Плетенев Павел Александрович, канд. биол. наук, и. о. рук. отд. гигиенического нормирования и мониторинга химических веществ в почве ФБУН «ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, 141014, Мытищи. E-mail: nyov@yandex.ru

Участие авторов: все соавторы внесли равнозначный вклад в исследование и подготовку статьи к публикации.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Поступила: 26.08.2022 / Принята к печати: 3.10.2022 / Опубликовано: 23.10.2022

Tatyana A. Sinitskaya, Pavel A. Pletenev

Modern methodological approaches to the regulation of pesticides in soils

Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman of the Federal Service for Supervision in Protection of the Rights of Consumer and Man Wellbeing, Mytishchi, 141014, Russian Federation

In the modern world, which is on the threshold of eight billion people, the issue of food security takes one of the leading places. Due to the limited amount of agricultural land, it is necessary to increase the yield of the fields, which is almost impossible without the use of chemical plant protection products. In turn, the use of pesticides carries huge risks to public health. Application of pesticides in the cultivation of agricultural lands can lead to their transfer into the human body in different ways. Pesticides can be transported with subsurface and lateral runoff into water reservoirs, from where they can reach the centralized water supply or be withdrawn from water sources by residents of settlements close to agricultural fields. Pesticide active volatile ingredients can evaporate from the soil surface and move over long distances. In addition, translocation of pesticides from soil to plants is a source of public health risk, which may result in further transfer of active substances in concentrations exceeding maximum residue levels (MRL) into human foodstuffs. In the same time, persistent pesticides can accumulate in the soil and subsequently lead to disruption of soil functioning. Therefore, hygienic regulation of pesticides is the most important issue in ensuring public safety. In addition to MAC values, it is proposed to use values based on the MAC: maximum allowable application level (MAEL) and safe residual quantity (SRQ). These values would allow to increase the level of protection of the population from potential harms of pesticides used in agricultural practices for specific soil and climate zones.

Keywords: soil; pesticides; regulation; MAC; MAEL; SRQ

Compliance with ethical standards. This study does not require the conclusion of a biomedical ethics committee or other documents.

For citation: Sinitskaya T.A., Pletenev P.A. Modern methodological approaches to the regulation of pesticides in soils. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2022; 101(10): 1240–1242. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-10-1240-1242> <https://elibrary.ru/uubezv> (In Russian)

For correspondence: Pavel A. Pletenev, MD, PhD, Acting Head of the Department of Hygienic Regulation and Monitoring of Chemicals in Soil of the Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman of the Federal Service for Supervision in Protection of the Rights of Consumer and Man Wellbeing, Mytishchi, 141014, Russian Federation. E-mail: nyov@yandex.ru

Information about authors:

Sinitskaya T.A., <https://orcid.org/0000-0003-1344-3866> Pletenev P.A., <https://orcid.org/0000-0002-8814-3086>

Contribution. All co-authors made an equal contribution to the research and preparation of the article for publication.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgement. The study had no sponsorship.

Received: August 26, 2022 / Accepted: October 3, 2022 / Published: October 23, 2022

Почва по сравнению с другими объектами среды обитания служит местом максимального накопления пестицидов. В связи с тем, что почва является звеном биосферы, откуда начинаются и где заканчиваются многочисленные пути миграции по почво-водно-воздушным и пищевым цепям, возникает необходимость строгой регламентации содержания пестицидов в почве в качестве дополнительного критерия степени загрязнения сопредельных сред на допустимых уровнях [1].

Пестициды являются одним из основных экзогенных химических загрязнителей окружающей среды, которые в различной степени воздействуют на здоровье человека. Пестициды сознательно вносятся в агрофитоценозы для достижения хозяйственных целей. Данные химические вещества обладают выраженной биологической активностью, стойкостью и миграционной способностью в сопредельных средах (почва, вода, воздух, растения), способны циркулировать в биогеоценозах, что обуславливает их косвенное опосредованное влияние на состояние здоровья населения.

Внедрение новых химических средств защиты растений в практику сельского хозяйства возможно лишь после всестороннего токсиколого-гигиенического изучения и гигиенической регламентации, что является основой для предотвращения неблагоприятного влияния пестицидов на здоровье работающих и населения, а также на санитарное состояние окружающей среды.

Принципы гигиенического нормирования пестицидов в почве основаны на установлении таких безопасных количеств ксенобиотиков в исследуемой среде, при которых переход в сопредельные среды не превышает установленных гигиенических нормативов для этих сред (ПДК и МДУ). Такой подход исключает негативное влияние пестицидов на организм человека и среду обитания.

Обоснование ПДК действующих веществ пестицидов в почве проводится с учётом требований о проведении экспериментальных исследований в экстремальных почвенно-климатических условиях, способствующих максимальной миграции изучаемого вещества в контактирующие с почвой среды (вода, атмосферный воздух, растения), а также обеспечивающих наиболее интенсивное воздействие действующего вещества пестицида на процессы самоочищения и почвенный микробиоценоз. Соблюдение этих требований обеспечивает значительный коэффициент гигиенической прочности разработанных для почвы ПДК [2].

В свою очередь в естественном натурном эксперименте при существующем многообразии возможных комбинаций почвенно-климатических факторов невозможно создать абсолютно одинаковые условия. Такие стандартные условия можно создать лишь в лабораторном эксперименте, в связи с чем ПДК пестицидов в почве является единой величиной для любых почвенно-климатических условий.

Следовательно, ПДК пестицидов является условной для реальных типов почв, эталонной, отсчётной величиной, установленной в экстремальных, строго регламентированных почвенно-климатических лабораторных условиях. Это лишь единица масштаба, от которой ведут измерение степени опасности загрязнения почвы химическими веществами. В то же время для конкретных почвенно-климатических условий должна быть установлена региональная величина ПДК, обеспечивающая безопасное для здоровья людей содержание пестицидов. Последнее обусловлено тем, что на «поведение» пестицидов в почве (стабильность, фитоаккумуляция, миграцию в атмосферный воздух и источники водоснабжения) оказывают влияние многочисленные факторы почвы (содержание гумуса, рН и др.) и климатические условия. Поскольку таких комбинаций типов, подтипов, видов почвы и климатических условий может быть очень много (до нескольких тысяч), устанавливать экспериментально региональные ПДК практически невозможно и экономически нецелесообразно. Однако нельзя и не учитывать влияния различных почвенно-климатических условий на «поведение» химиче-

ских веществ в почве. Поэтому возникла необходимость изыскания простой методики определения поправочных коэффициентов запаса, умножив на которые единую ПДК почвы можно получить региональные ПДК. Эти коэффициенты именуется «предельно допустимый уровень внесения или поступления химического вещества в почву» (ПДУВ) и «безопасное остаточное количество химических веществ в почве» (БОК).

ПДУВ (кг/га) рассчитывается для конкретных почвенно-климатических условий на основе ПДК. ПДУВ определяют на 1-е сутки после внесения химического вещества в почву. Величина ПДУВ гарантирует накопление изучаемого пестицида в товарных частях растений к моменту сбора урожая в количествах, не превышающих максимально допустимого уровня (МДУ), и содержание в атмосферном воздухе к моменту выхода рабочих на поля и в воде водоисточников к моменту поступления фильтрата в подземные воды или поверхностного стока в водоёмы в концентрациях, не превышающих соответствующих ПДК. Определение ПДУВ очень важно для норм санитарного контроля, поскольку позволяет контролировать соблюдение норм расхода пестицидов и определять величину опасности загрязнения ксенобиотиками.

При определении ПДУВ в почве учитывают, что интегральными показателями, отражающими региональные почвенно-климатические условия, являются показатели стабильности (например, период полураспада DT_{50}) пестицидов в почве.

Методика определения ПДУВ в конкретных почвенно-климатических условиях основана на комплексе экспериментальных исследований по изучению функциональной зависимости стабильности ДДТ — наиболее стойкого органического загрязнителя [3] — от комплекса почвенно-климатических факторов (содержание гумуса, пористость почвы, рН, бактериальная обсеменённость и ферментативная активность почвы, количество осадков, продолжительность инсоляции, средняя и максимальная температура почвы за вегетационный период и др.). Функциональную зависимость между остаточными концентрациями и почвенно-климатическими факторами определяют на основании экспериментальных данных о стойкости пестицида в почве.

В общем виде формула расчёта ПДУВ (кг/га) выглядит следующим образом:

$$\text{ПДУВ} = \frac{\text{ПДК} \cdot 102 \cdot d}{F},$$

где ПДК — это определённая в лабораторных условиях предельно допустимая концентрация пестицида, мг/кг; d — плотность абсолютно сухой почвы, кг/дм³; F — аналитическая функция стабильности исследуемого пестицида.

Для определения ПДУВ любого пестицида применяют аналитическую функцию (F) стабильности ДДТ в различных климато-ландшафтных условиях и результаты экспериментального изучения стабильности (DT_{50}) данного пестицида в конкретных климато-ландшафтных условиях. Исходя из того, что ДДТ обладает максимальной среди органических пестицидов стабильностью, расчёт ПДУВ проводится сравнением стабильности (DT_{50}) ДДТ и изучаемого пестицида для данных региональных условий. При этом учитывается то обстоятельство, что DT_{50} является интегральным показателем, характеризующим особенности «поведения» пестицида в конкретных почвенно-климатических условиях.

Имея экспериментальные данные о DT_{50} изучаемого пестицида для данного типа почвы и данные о DT_{50} для ДДТ в этом же типе почвы, можно рассчитать величину поправочного коэффициента ПДУВ. Под поправочным коэффициентом ПДУВ ($K_{\text{ПДУВ}}$) подразумевают величину, которая показывает, во сколько раз ПДУВ данного пестицида для конкретных почвенно-климатических условий превышает ПДУВ ДДТ для тех же условий.

Величину $K_{\text{ПДУВ}}$ определяют по следующей формуле:

$$K_{\text{ПДУВ}} = \frac{DT50_{\text{ДДТ}} \cdot 100 \cdot 2d}{DT50_{\text{пестицида}} \cdot F_{\text{ДДТ}}},$$

где $DT50_{\text{ДДТ}}$ – период полураспада ДДТ в определённых климато-ландшафтных условиях в зависимости от типа почвы, сут; $DT50_{\text{пестицида}}$ – период полураспада пестицида в данных региональных условиях, определяется экспериментально, сут; d – плотность почвы, кг/дм³; $F_{\text{ДДТ}}$ – аналитическая функция стабильности ДДТ в различных климато-ландшафтных условиях.

Тогда ПДУВ изучаемого пестицида для конкретных условий определяют по формуле:

$$\text{ПДУВ}_{\text{пест}} = K_{\text{ПДУВ}} \cdot \text{ПДК}_{\text{пест}}.$$

Исходя из вышесказанного, имея данные по стойкости пестицидов в конкретных почвенно-климатических условиях и установленную в лабораторных условиях величину ПДК пестицида, для целей предупредительного санитарного надзора рассчитываются величины ПДУВ для применяемых пестицидов.

В то же время при осуществлении текущего санитарного надзора необходимо знать безопасное для здоровья населения содержание пестицидов не только в начальный период, но и в другие сроки. Наиболее важными с гигиенической точки зрения сроками являются следующие: 1 – время перед началом полевых работ; 2 – время выхода рабочих на поля; 3 – время перед повторным внесением химического вещества в почву.

Характеристики степени опасности загрязнения почвы пестицидами для здоровья людей в эти сроки следует определять с помощью величины БОК. БОК – это безопасное остаточное количество (мг/кг) пестицида в почве для конкретных почвенно-климатических условий в контрольный момент времени. Величину БОК рассчитывают на основе экспериментально установленной величины ПДК действующего вещества пестицида, его поведения в конкретных почвенно-климатических условиях и времени контроля. Поскольку контроль безопасных остаточных количеств пестицидов в почве должен проводиться в три срока, следует различать и определять фоновые безопасные количества (БОК_ф – фоновое), безопасные количества перед выходом рабочих на поля после применения пестицида (БОК_в – БОК выхода) и безопасные количества пестицида перед повторным внесением (БОК_п – БОК повторное).

Гигиеническое значение БОК_ф обусловлено тем, что оно характеризует фоновое содержание повторно применяемого вещества. Зная величину БОК_ф, можно сделать заключение о возможности превышения применяемой в конкретных региональных условиях нормы расхода пестицида над ПДУВ. Гигиеническое значение определения БОК_в состоит в том, что эта концентрация гарантирует безопасность для здоровья людей, вышедших на работу после применения пестицида. Наконец, определение концентрации вещества перед повторным его внесением в почву (БОК_п) позволяет выяснить, не будет ли региональная норма рас-

хода пестицида при повторном применении превышать ПДУВ.

Величину БОК определяют как допустимую остаточную концентрацию пестицида в региональных условиях в контрольный момент времени по формуле:

$$\text{БОК} = \frac{\text{ПДК} \cdot F(\text{Тк})}{100},$$

где $F(\text{Тк})$ – остаточные количества пестицида в почве в каждом из трёх контрольных моментов времени, %.

По аналогии с методикой расчёта ПДУВ величина БОК для пестицидов рассчитывается на основе экспериментально установленной ПДК пестицида в почве, аналитической зависимости стойкости ДДТ от почвенно-климатических факторов и поправочного коэффициента $K_{\text{БОК}}$ по формулам:

$$\text{БОК}_{\text{ф}} = \text{ПДК}_{\text{пест}} \cdot K_{\text{ф}},$$

$$\text{БОК}_{\text{в}} = \text{ПДК}_{\text{пест}} \cdot K_{\text{в}},$$

$$\text{БОК}_{\text{п}} = \text{ПДК}_{\text{пест}} \cdot K_{\text{п}},$$

где БОК_ф – БОК фоновое, мг/кг; БОК_в – БОК выхода, мг/кг; БОК_п – БОК повторное, мг/кг; $K_{\text{ф}}$, $K_{\text{в}}$, $K_{\text{п}}$ – поправочные коэффициенты; $\text{ПДК}_{\text{пест}}$ – предельно допустимая концентрация пестицида, мг/кг.

Поправочные коэффициенты рассчитываются по следующим формулам:

$$K_{\text{ф}} = \frac{DT50_{\text{ДДТ}} \cdot F_{\text{ДДТ}} (365 \text{ сут})}{DT50_{\text{пестицида}} \cdot 100},$$

$$K_{\text{в}} = \frac{DT50_{\text{ДДТ}} \cdot F_{\text{ДДТ}} (i \text{ сут})}{DT50_{\text{пестицида}} \cdot 100},$$

$$K_{\text{п}} = \frac{DT50_{\text{ДДТ}} \cdot F_{\text{ДДТ}} (j \text{ сут})}{DT50_{\text{пестицида}} \cdot 100},$$

где $K_{\text{ф}}$, $K_{\text{в}}$, $K_{\text{п}}$ – поправочные коэффициенты для расчёта БОК_ф, БОК_в, БОК_п соответственно; $DT50_{\text{ДДТ}}$ – период полураспада ДДТ в конкретных почвенно-климатических условиях, сут; $DT50_{\text{пест}}$ – период полураспада пестицида в конкретных почвенно-климатических условиях, определённый экспериментально, сут; $F_{\text{ДДТ}}$ – аналитическая функция стабильности ДДТ в конкретных почвенно-климатических условиях для контрольных моментов времени.

Заключение

Современное гигиеническое нормирование пестицидов в почве базируется на единой величине ПДК, которая устанавливается на основе проведения экспериментальных исследований в экстремальных почвенно-климатических лабораторных условиях. В дальнейшем на основе единой величины ПДК устанавливаются величины ПДУВ (предельно допустимый уровень внесения) и БОК (безопасные остаточные количества), учитывающие региональные особенности почв. Данные величины позволяют оценить безопасность для здоровья населения сельскохозяйственного применения пестицидов в условиях конкретных почвенно-климатических зон.

Литература

(п. 3 см. References)

1. Ракитский В.Н. Научные достижения отечественной гигиены и токсикологии пестицидов. *Здравоохранение Российской Федерации*. 2008; 52(1): 15–6.
2. Гончарук Е.И., Сидоренко Г.И. *Гигиеническое нормирование химических веществ в почве*. М.: Медицина; 1986.

References

1. Rakitskiy V.N. Scientific achievements of Russian hygiene and toxicology of pesticides. *Zdravookhranenie Rossiyskoy Federatsii*. 2008; 52(1): 15–6. (in Russian)
2. Goncharuk E.I., Sidorenko G.I. *Hygienic Regulation of Chemicals in the Soil [Gigienicheskoe normirovanie khimicheskikh veshchestv v pochve]*. Moscow: Meditsina; 1986. (in Russian)
3. Nunez-Delgado A., ed. *Sorbents Materials for Controlling Environmental Pollution: Current State and Trends*. Elsevier; 2021. <https://doi.org/10.1016/C2019-0-01212-5>