

Научная статья

УДК 543.062

doi: 10.28983/asj.y2022i2pp54-59

К вопросу о загрязнении соевых бобов и шрота глифосатом

**Александр Валерьевич Сорокин, Александр Сергеевич Петров,
Илья Вадимович Батов, Денис Юрьевич Некрасов**

Всероссийский государственный Центр качества и стандартизации лекарственных средств для животных и кормов (ФГБУ «ВГНКИ»), г. Москва, Россия, e-mail: alex_sorokin@list.ru

Аннотация. Изложены данные исследований по определению остаточного содержания глифосата и его метаболита в сое и соевом шроте, импортируемых в РФ. В работе рассмотрены свойства популярного гербицида – глифосата, способы его применения и возникающие при этом риски. Уделено внимание проблемам нормирования остаточных количеств глифосата в сое и соевом шроте, а также методам контроля. Приведены данные, согласно которым среднее содержание глифосата в импортных соевых бобах находится на уровне 2,088 мг/кг; максимальное – 3,41 мг/кг. Среднее содержание глифосата в соевом шроте – 1,57 мг/кг; максимальное – 2,28 мг/кг. Установлено, что соевые бобы из Бразилии, Парагвая и Аргентины могут содержать глифосат и его метаболит в концентрациях, доходящих до 4,15 и 5,23 мг/кг соответственно. Соевый шрот, импортируемый в РФ из данных стран, может содержать глифосат на уровне 2,09 мг/кг. Подтверждено, что в процессе дальнейшей переработки сои и соевого шрота глифосат и его метаболит могут загрязнять корма для сельскохозяйственных животных. Максимально обнаруженное содержание глифосата в корме – 0,5 мг/кг, его метаболита – 1,26 мг/кг.

Ключевые слова: соя; глифосат; шрот; загрязнение; аминотетрафосфоновая кислота; нормирование.

Для цитирования: Сорокин А. В., Петров А. С., Батов И. В., Некрасов Д. Ю. К вопросу о загрязнении соевых бобов и шрота глифосатом // Аграрный научный журнал. 2023. № 2. С. 54–59. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2022i2pp54-59>.

AGRONOMY

Original article

On the issue of soybeans and soybean meal contamination with glyphosate

Alexander V. Sorokin, Alexander S. Petrov, Ilya V. Batov, Denis Yu. Nekrasov

The Russian State Center for Animal Feed and Drug Standardization and Quality, Moscow, Russia, e-mail: alex_sorokin@list.ru

Abstract. The data of residual content of glyphosate and its metabolite in soybean and soybean meal imported to the Russian Federation are presented. The properties of glyphosate, and methods of its application are shown; risks of its usage are described. The existing ways of glyphosate residual amounts regulation in soybean and soybean meal, described, as well as control methods. According to the research, the average content of glyphosate in imported soybeans is about 2.088 mg/kg, with maximum at 3.41 mg/kg. The average glyphosate concentration in soybean meal is 1.57 mg/kg; maximum – 2.28 mg / kg. It was found that soybeans from Brazil, Paraguay and Argentina are contaminated with glyphosate and its metabolite at concentrations up to 4.15 and 5.23 mg/kg, respectively. Soybean meal imported into the Russian Federation from these countries may contain glyphosate about 2.09 mg/kg level. It has been confirmed that during the further processing of soybean and soybean meal, glyphosate and its metabolite can contaminate animal feed. The maximum detected concentration of glyphosate in the feed is 0.5 mg/kg, and for glyphosate metabolite – 1.26 mg/kg.

Keywords: soybean; glyphosate; soybean meal; pollution; aminomethylphosphonic acid; rationing.

For citation: Sorokin A. V., Petrov A. S., Batov I. V., Nekrasov D. Yu. On the issue of soybeans and soybean meal contamination with glyphosate. Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal. 2023;(2):54–59. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2022i2pp54-59>.

Введение. Достаточное количество белка в рационе животных, является одним из важнейших факторов, влияющих на полноценное развитие всего организма. Соя (*Glycine max*), являясь отличным источником белка, витаминов, макро- и микроэлементов, прекрасно зарекомендовала себя в области производства кормов для сельскохозяйственных животных. Включение соевого белка в рацион может увеличить привесы, продуктивность, а также сократить затраты хозяйств на корма в целом. Таким обра-





зом, наращивание производства сои является перспективным направлением развития сельского хозяйства РФ. Однако следует понимать, что увеличение производства такой культуры может приводить к снижению безопасности сырья в результате роста применения агрохимикатов, гербицидов в частности. Без них добиться существенного роста урожайности сои сложно вследствие высокой конкуренции данной культуры с сорняками. Ежегодно под влиянием сорной растительности теряется до 35–50 % урожая, что является среднемировым показателем [4, 17]. Одним из наиболее популярных гербицидов, применяющихся при выращивании сои, является глифосат. Препараты с глифосатом находятся в свободной продаже, а их стоимость привлекательна. Глифосат получил популярность на волне производства и выращивания генно-модифицированных (ГМ) культур (чаще всего сои). Странами, обладающими наибольшими территориями, отданными под выращивание ГМ-соеи, являются США и страны Латинской Америки. Несмотря на развивающееся производство сои в РФ, данного сырья всё еще недостаточно для удовлетворения растущих потребностей сельского хозяйства. Соя, произведенная на территории Дальнего Востока, чаще экспортируется в другие страны, в то время как потребности западной части РФ компенсируются импортом ГМ-культуры из стран Латинской Америки (Бразилии, Аргентины, Парагвая) и ЕС. В РФ запрещено производство ГМ-культур, однако разрешен импорт таковых для дальнейшей переработки в пищевых и кормовых целях. Для этого в 2020 г. Роспотребнадзор зарегистрировал в качестве генно-модифицированных организмов для производства продовольственного сырья и пищевых продуктов 4 линии ГМ-соеи, одна из которых устойчива к глифосату (FG72). Немного ранее, в Сводный государственный реестр генно-инженерно-модифицированных организмов, было включено около 20 записей о регистрации Роспотребнадзором ГМ-соеи (раздел «модифицированная продукция»), линий 40-3-2, MON 89788, N87701 x MON89788, также устойчивых к глифосату. Благодаря данной устойчивости достигается максимальная эффективность от его применения, выражающаяся в приросте биомассы сои путем устранения конкуренции за питательные вещества с сорными растениями. Однако при этом ткани ГМ-соеи накапливают глифосат в больших количествах и передают вверх по пищевой цепочке [5]. Применение кормов на основе ГМ-соеи может приводить к попаданию остаточных количеств глифосата и его основного метаболита в ткани животных. Считается, что наибольшие концентрации данного загрязнителя можно встретить в субпродуктах животных [6]. На фоне того, что Международное Агентство по изучению рака (IARC) отнесло глифосат к группе веществ «потенциально канцерогенных для человека» (группа 2A) [11], целесообразно контролировать импортную ГМ-соею на предмет содержания остатков данного гербицида и его метаболита, чтобы избежать загрязнения пищевой цепи.

Целью данной работы являлась оценка степени загрязнения импортируемого в РФ сырья для обоснования необходимости введения норматива на содержание глифосата в соевом шроте и возможного снижения норматива, указанного в СанПиН 1.2.3685-21 для соевых бобов.

Способы применения глифосата и его свойства. Механизм действия глифосата основан на ингибировании одного из ферментов растений, связанного с биосинтезом. При попадании на растение глифосат проникает в клетки, блокирует синтез ряда жизненно необходимых соединений, и растение погибает [7, 20]. Наиболее известными препаратами, содержащими глифосат, являются «Раундап», «Глифор», «Торнадо», «Ураган» и их модификации [2]. Обработку территорий, предназначенных под посев традиционных сельскохозяйственных культур данными препаратами, проводят как в послеуборочный период (опрыскиванием вегетирующих сорных растений), так и в весенний период до посева целевых культур. В некоторых случаях допускается проводить обработку посевов за 2 недели до уборки урожая (десикация). Обработку полей с ГМ-культурами (устойчивыми к глифосату) проводят во время всего периода их роста и развития. В тканях растений глифосат способен преобразовываться в метаболит – аминотетрагидроптеридин-5-карбоксилат (АМФК). Также под воздействием бактерий происходит его метаболизация до саркозина [16].

Полулетальная доза глифосата (LD_{50}) для крыс – 4900 мг/кг, для кроликов – 3800 мг/кг, для крышки и перепелки – 4600 мг/кг. Средняя смертельная концентрация ($СК_{50}$) для различных пород рыб от 19,5 до 125 мг/л при экспозиции 24–48 ч; выявлена токсичность для крабов и устриц при концентрации 280–934 мг/л [1]. Считается, что токсичность АМФК схожа с глифосатом [8]. Избыточное применение глифосатсодержащих препаратов приводит к проявлению устойчивости у сорных растений, что несет риск их распространения и снижение эффективности от применения гербицидов в целом [10]. По состоянию на начало 2022 г. в базе данных устойчивых к гербицидам сорняков уже поименовано множество видов такой растительности [14]. Странами с наибольшим количеством записей о наличии на их территории устойчивых к гербицидам сорных растений являются страны-лидеры производства ГМ-культур.



Регулирование остаточного содержания и методы контроля. В ЕС для остаточных количеств глифосата в соевых бобах установлен максимально допустимый уровень (МДУ) – 20 мг/кг (Annexes Reg. 396/2005 Annex II, ШВ; Reg. (EU) No 293/2013 от 06.04.13 г.). В конце 2022 г. истек срок регистрации глифосата в ЕС, и решение о его дальнейшей судьбе, как и о состоянии нормативов, было перенесено на конец 2023 г. В США, согласно 45 FR 64911, Oct. 1, 1980 (параграф 180.364), для соевых бобов (семена) установлен МДУ – 20 мг/кг; для соевых бобов (фураж) – 100 мг/кг; для оболочки сои и стеблей – 120 и 200 мг/кг соответственно. В РФ остаточные количества глифосата в соевых бобах контролируются двумя нормативными документами: ТР ТС 015/2011 «О безопасности зерна» (не выше 0,15 мг/кг) и СанПиН 1.2.3685-21 (не выше 20 мг/кг). При контроле качества сельскохозяйственной продукции приоритет по типу НД в области нормирования отдается ТР ТС. Налицо значительное (более 100 раз) расхождение между установленными нормами, свидетельствующее о возможной имплементации норм ЕС и США через СанПиН 1.2.3685-21, принятых в ущерб сельскому хозяйству и пищевой безопасности РФ (Указ Президента РФ от 21.01.2020 № 20 «Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации»). Следует отметить, что в ЕС, США и РФ отсутствуют нормативы содержания АМФК в целом и глифосата в части соевого шрота. Ограничение по применению глифосатсодержащих препаратов многие страны стали вводить с 2017–2018 гг., после доклада IARC и судебного дела «Hardeman v. Monsanto Co»: Австралия [21], Бельгия [19], Дания [18], Франция [9], Германия [12] и др. [15].

Количественное определение глифосата возможно при использовании высокоэффективной жидкостной хроматографии, ионной хроматографии, либо хромато-масс-спектрометрии. В РФ известны и применяются следующие способы количественного определения глифосата в растительном сырье: МУК 4.1.1978-05, МУК 4.13513-17. Однако к методикам, являющимся подтверждающими и базирующимся на наиболее селективном методе – хромато-масс-спектрометрии, относятся 2: МИ-ВЛ-1-03-2018 (ФР.1.31.2019.34964) и МУ А-1/043 (ФР.1.39.2018.29642). Преимущество последней заключается в применении методологии «изотопного разбавления»; построении градуировочной зависимости перед стадией экстракции (добавками аликвот рабочих растворов в образцы, заведомо не содержащие глифосат); проведением стадии дериватизации с двойной очисткой экстракта. Предел количественного определения МУ А-1/043 полностью удовлетворяет требованиям ТР ТС 015/2011.

Методика исследований. Анализ сои и соевого шрота проводили в рамках мониторинга импортируемого сырья в 2021 г. Образцы тщательно измельчали и проводили процедуру пробоподготовки и анализа согласно МУ А-1/043. Градуировочные зависимости строились в каждой серии, состоящей из 20 образцов. В целях контроля качества проводимого исследования совместно с образцами анализировали по 2 образца с добавками известного количества глифосата (контрольные образцы). В ходе исследования были достигнуты высокие значения коэффициента корреляции ($r = 0.999$) градуировочных зависимостей, которые описывались линейной регрессией. Полученные значения контрольных образцов не расходились с истинным более чем на 10–15 %.

Результаты исследований. Глифосат и АМФК регулярно обнаруживали в ходе мониторинга безопасности сырья, в соевом шроте и соевых бобах. Среди проанализированных образцов глифосат находили в 36 % случаях, АМФК – 33 %. Распределение обнаружений данных соединений по диа-



Рис. 1. Распределение обнаружений глифосата (ГФ) и АМФК

пазонам измеренных концентраций представлено на рис. 1. Получить четкую корреляцию линейного вида между их содержанием в образцах генеральной совокупности не удастся. Вероятно, это связано с индивидуальными особенностями объектов исследования.

При исключении явных выбросов из генеральной совокупности, методом расчета квартилей, и сохранении её на уровне 92 %, средние значения содержания глифосата и АМФК в соевом шроте составляли 1,575 и 1,571 мг/кг соответственно. Минимальные значения глифосата и АМФК – 0,57 и 0,42 мг/кг; максимальные – 2,28 и 2,64 мг/кг, соответственно 69 % обнаружений глифосата в соевом

шроте находились в диапазоне 1,25–1,87 мг/кг (в пределах σ), рис. 2. В среднем отношение содержания метаболита к исходному соединению в шроте – 1,03.



Рис. 2. Распределение содержания глифосата (ГФ) в образцах соевого шрота

При исключении явных выбросов из генеральной совокупности по соевым бобам методом расчета квартилей и сохранения её на уровне 89,7 % средние значения содержания глифосата и АМФК составляли 2,088 и 1,546 мг/кг соответственно. Минимальные значения глифосата и АМФК – 0,56 и 0,75 мг/кг; максимальные – 3,41 и 2,24 мг/кг соответственно, 68,5 % обнаружений глифосата в соевых бобах находились в диапазоне 1,32–2,84 мг/кг (в пределах σ), рис. 3. В среднем отношение содержания метаболита к исходному соединению в бобах сои равно 0,828.

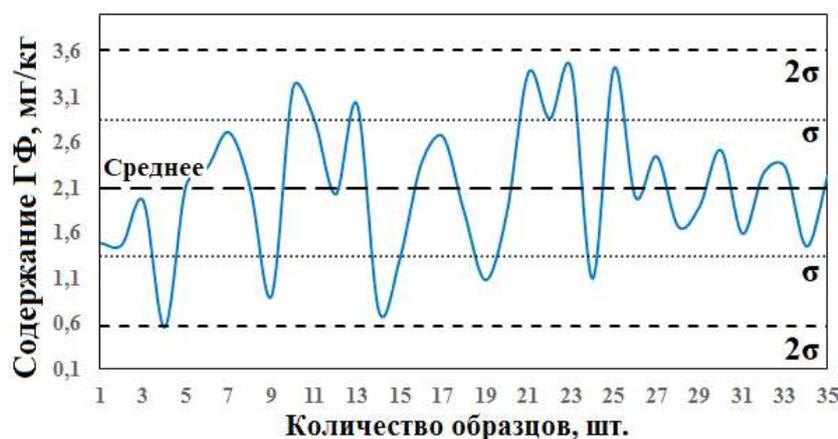


Рис. 3. Распределение содержания глифосата (ГФ) в образцах соевых бобов

Соевые бобы и шрот импортировались в РФ из ЕС, Бразилии, Аргентины, Парагвая и Канады. Соевые бобы из ЕС редко содержали глифосат и АМФК (11 % обнаружений на уровне не больше 1,8 мг/кг), по сравнению с образцами из Латинской Америки. Один образец канадского происхождения содержал остаточные количества глифосата и АМФК на уровне 0,56 и 0,83 мг/кг соответственно. Соевые бобы из Парагвая в 82,5 % случаев были загрязнены глифосатом и АМФК. Содержание глифосата/АМФК в таких образцах было следующее: минимальное – 1,09/0,42; среднее – 1,86/1,31; максимальное – 3,56/4,17 мг/кг. Образцы бразильского происхождения были загрязнены в 80,7 % случаев. Содержание глифосата/АМФК в таких образцах было следующее: минимальное – 0,42/0,41; среднее – 1,65/1,26; максимальное – 4,15/5,23 мг/кг. Среди 6 образцов соевых бобов из Аргентины один содержал глифосат на уровне 0,5 мг/кг. Соевый шрот из Аргентины содержал глифосат и его метаболит в 78 % случаев: минимальное содержание – 0,98/0,75; среднее – 0,99/1,12; максимальное – 1,5/2,65 мг/кг. Соевый шрот из Бразилии был загрязнен в 74 % случаев. Содержание глифосата/АМФК в образцах данного шрота было следующее: минимальное – 1,4/1,06; среднее – 1,3/1,0; максимальное – 2,09/2,1 мг/кг.

В последнее время на рынке производства кормов сформировалась тенденция к замещению традиционного животного источника белка растительным. И хотя такие перемены позволяют снизить себестоимость кормов, сохранив питательную ценность, они могут повлечь за собой риски загрязнения животноводческой продукции. Проведенный скрининг небольшой партии разнородных кормов для продуктивных животных показал, что готовые корма могут содержать глифосат и АМФК до 0,5 и 1,26 мг/кг



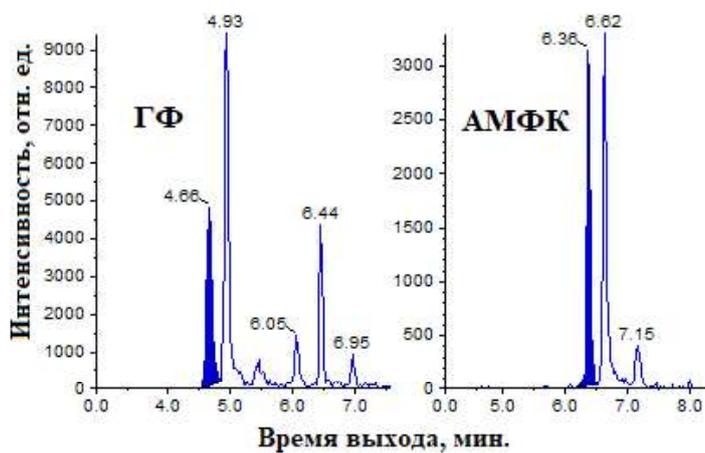


Рис. 4. Пример обнаружения глифосата (ГФ) и АМФК в образце корма

результатов исследований соевых бобов по ТР ТС 015/2011 (0,15 мг/кг) является существенным препятствием на пути их экспорта из стран Латинской Америки в РФ. Однако данное обстоятельство, само по себе, не может являться причиной пересмотра данных МДУ в сторону их смягчения. Согласно базе данных [13], в Бразилии зарегистрировано 19 линий ГМ-сои, 8 из которых не связаны с устойчивостью к глифосату. Две из них (НВ4 и MON87751) не обладают устойчивостью к каким бы то ни было гербицидам вообще. В Парагвае (зарегистрировано 3 линии) глифосат не используется для выращивания линии CV127, а в Аргентине (всего зарегистрировано 18 линий) для линий НВ4, MON87701 и CV127. Таким образом, перечисленные ГМ-линии сои могут являться перспективными как в плане экспорта в РФ, так и для целей предварительного «разбавления» сырья, содержащего глифосат. Полученные в ходе мониторинга безопасности сырья данные, установленные в ЕС, США и СанПиН 1.2.3685-21 МДУ, необоснованно завышены и не имеют никакого отношения к практике контроля остаточных количеств глифосата в соевых бобах. В то же время окончание срока утверждения глифосата в качестве активного вещества в ЕС, а также неоднозначная позиция ряда стран в отношении данного соединения могут являться предпосылками для пересмотра норматива СанПиН 1.2.3685-21 в сторону его ужесточения, до уровня ТР ТС. При пересмотре следует учитывать не только токсичность данного соединения, но и результаты фактических обнаружений, полученных в ходе мониторинга безопасности сырья. Следует понимать, что низкое значение МДУ необходимо для поддержания высокого уровня пищевой безопасности в РФ и сохранения страной позиции выгодополучателя на мировой арене.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жариков М.Г. Изучение влияния глифосатсодержащих гербицидов на агроценоз (обоснование методологии) // *Агрохимия*. 2008. № 8. С. 81–89.
2. Кузнецова Е.М., Чмиль В.Д. Глифосат: поведение в окружающей среде и уровни остатков // *Современные проблемы токсикологии*. 2010. № 1. С. 87–95.
3. Сорокин А., Некрасов Д., Батов И., Петров А., Киш Л. Глифосат в сырье растительного происхождения и кормах // *Комбикорма*. 2022. № 3. С. 58–60.
4. Спиридонов Ю.Я., Ларина Г.Е., Шестаков В.Г. Методическое руководство по изучению гербицидов, применяемых в растениеводстве. М., 2009. 252 с.
5. Arregui M.C. Monitoring glyphosate residues in transgenic glyphosate-resistant soybean // *Pest Manag Sci.*, 2003. Vol. 60, P. 163–166. DOI: 10.1002/ps.775.
6. Bai S.H., Ogbourne S.M. Glyphosate: environmental contamination, toxicity and potential risks to human health via food contamination // *Environ Sci Pollut Res.*, 2016, Vol. 23, P. 18988–19001. DOI: 10.1007/s11356-016-7425-3.
7. Carlisle S.M. Glyphosate in the environment // *Water Air Soil Pollut.*, 1988, Vol. 39, P. 409–420.
8. Dobson S., Solomon K. Ecotoxicological risk assessment for Roundup (R) Herbicide // *Rev Environ Contam Toxicol*, 2000, Vol. 167, P. 35–120.
9. French Scientific Report finds banning Glyphosate use harms no-till sustainable agriculture. Paris. 2020. Report FR2020-0016. URL: <https://www.fas.usda.gov/data/france-french-scientific-report-finds-banning-glyphosate-use-harms-no-till-sustainable> (дата обращения: 15.09.2022).
10. Funke T., Han H., Healy-Fried M.L. et al. Molecular basis for the herbicide resistance of Roundup Ready crops // *Bioshem.*, 2006, Vol. 103, P. 13010–13015. DOI: 10.1073/pnas.0603638103.
11. Guyton K.Z., Loomis D., Grosse Y., et al. Carcinogenicity of tetrachlorvinphos, parathion, malathion, diazinon, and glyphosate // *The Lancet Oncology*, 2015, Vol. 16, P. 490–491. DOI:10.1016/S1470-2045(15)70134-8.
12. German Cabinet Approves Legislation to Ban Glyphosate from 2024. Berlin. 2021 URL: <https://www.reuters.com/article/us-germany-farming-lawmaking-idUSKBN2AA1GF> (дата обращения: 15.09.2022).
13. GM Approval Database. Текст: электронный // International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications (ISAAA). URL: <https://www.isaaa.org/gmapprovaldatabase/> (дата обращения: 10.05.2022).

14. Heap I. Current Status of the International Herbicide-Resistant Weed Database // The International Herbicide-Resistant Weed Database. URL: www.weedscience.org (дата обращения: 10.05.2022).
15. Novotny E. Glyphosate, Roundup and the Failures of Regulatory Assessment // *Toxics*. 2022. Vol. 10. № 321. P. 1–14. DOI:10.3390/toxics10060321.
16. Pérez Rodríguez M., Melo C., Jiménez E., et al. Glyphosate Bioremediation through the Sarcosine Oxidase Pathway Mediated by *Lysinibacillus sphaericus* in Soils Cultivated with Potatoes // *Agriculture*. 2019. Vol. 9. № 217. DOI: 10.3390/agriculture9100217.
17. Soltani N., Dille J., Burke I., Everman W., et al. Perspectives on Potential Soybean Yield Losses from Weeds in North America // *Weed Technology*. 2017. Vol. 31. P. 1–7. DOI: 10.1017/wet.2016.2.
18. Sonne C., Adams D.H., Alstrup A. K.O. et al. Denmark passes total ban of leaded ammunition // *Science*. 2022. Vol. 377. № 6610. P. 1054–1055. DOI: 10.1126/science.ade315.
19. Superior Health Council. Glyphosate and glyphosate-containing formulations. Brussels: SHC; 2020. Report 9561. URL: https://www.health.belgium.be/sites/default/files/uploads/fields/fpshealth_theme_file/20200303_shc-9561_glyphosate_vweb.pdf (дата обращения: 15.09.2022).
20. Tu M., Hurd C., Robinson R., Randall J.M. Glyphosate Weed Control Methods Handbook. The Nature Conservancy, 2001. URL: <https://www.invasive.org/gist/products/handbook/methods-handbook.pdf> (дата обращения (15.09.2022)).
21. Walsh A., Kingwell R. Economic implications of the loss of glyphosate and paraquat on Australian mixed enterprise farms // *Agricultural Systems*. 2021. Vol. 193. № 103207. DOI: 10.1016/j.agsy.2021.103207.

REFERENCES

1. Zharikov M.G. Study of the study of glyphosate-containing herbicides on agrocenosis (substantiation of the methodology). *Agrochemistry*. 2008; 8: 81–89 (in Russ.).
2. Kuznetsova E.M., Chmil V.D. Glyphosate: environmental behavior and residue levels *Modern problems of toxicology*. 2010; 1: 87–95 (in Russ.).
3. Sorokin A., Nekrasov D., Batov I., Petrov A., Kish L. Glyphosate in raw materials of plant origin and feed. *Compound feed*. 2022; 3: 58–60 (in Russ.).
4. Spiridonov Yu.Ya., Larina G.E., Shestakov V.G. Methodological guide to the study of herbicides used in crop production. Moscow, 2009; 252 (in Russ.).
5. Arregui M.C. Monitoring glyphosate residues in transgenic glyphosate-resistant soybean. *Pest Manag Sci*. 2003; 60: 163–166. DOI: 10.1002/ps.775.
6. Bai S.H., Ogbourne S.M. Glyphosate: environmental contamination, toxicity and potential risks to human health via food contamination. *Environ Sci Pollut Res*. 2016; 23: 18988–19001. DOI: 10.1007/s11356-016-7425-3
7. Carlisle S.M. Glyphosate in the environment. *Water Air Soil Pollut*. 1988; 39: 409–420.
8. Dobson S., Solomon K. Ecotoxicological risk assessment for Roundup (R) Herbicide. *Rev Environ Contam Toxicol*. 2000; 167: 35–120.
9. French Scientific Report finds banning Glyphosate use harms no-till sustainable agriculture. Paris. 2020. Report FR2020-0016. URL: <https://www.fas.usda.gov/data/france-french-scientific-report-finds-banning-glyphosate-use-harms-no-till-sustainable> (access date: 15.09.2022).
10. Funke T., Han H., Healy-Fried M.L. et al. Molecular basis for the herbicide resistance of Roundup Ready crops. *Biochem*. 2006; 103: 13010–13015. DOI: 10.1073/pnas.0603638103.
11. Guyton K.Z., Loomis D., Grosse Y., et al. Carcinogenicity of tetrachlorvinphos, parathion, malathion, diazinon, and glyphosate. *The Lancet Oncology*. 2015; 16: 490–491. DOI:10.1016/S1470-2045(15)70134-8.
12. German Cabinet Approves Legislation to Ban Glyphosate from 2024. Berlin. 2021. URL: <https://www.reuters.com/article/us-germany-farming-lawmaking-idUSKBN2AA1GF> (access date: 15.09.2022).
13. GM Approval Database. Text: electronic // International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications (ISAAA). URL: <https://www.isaaa.org/gmapprovaldatabase/> (access date: 10.05.2022).
14. Heap I. Current Status of the International Herbicide-Resistant Weed Database // The International Herbicide-Resistant Weed Database. URL: www.weedscience.org (access date: 10.05.2022).
15. Novotny E. Glyphosate, Roundup and the Failures of Regulatory Assessment *Toxics*. 2022; 10: 321. DOI:10.3390/toxics10060321.
16. Pérez Rodríguez M., Melo C., Jiménez E. et al. Glyphosate Bioremediation through the Sarcosine Oxidase Pathway Mediated by *Lysinibacillus sphaericus* in Soils Cultivated with Potatoes. *Agriculture*. 2019; 9: 217. DOI:10.3390/agriculture9100217.
17. Soltani N., Dille J., Burke I., Everman W. et al. Perspectives on Potential Soybean Yield Losses from Weeds in North America. *Weed Technology*. 2017; 31: 1–7. DOI:10.1017/wet.2016.2.
18. Sonne C., Adams D.H., Alstrup A.K.O. et al. Denmark passes total ban of leaded ammunition. *Science*. 2022; 377: 6610. DOI:10.1126/science.ade315.
19. Superior Health Council. Glyphosate and glyphosate-containing formulations. Brussels: SHC; 2020. Report 9561. URL: https://www.health.belgium.be/sites/default/files/uploads/fields/fpshealth_theme_file/20200303_shc-9561_glyphosate_vweb.pdf (access date: 15.09.2022).
20. Tu M., Hurd C., Robinson R., Randall J.M. Glyphosate Weed Control Methods Handbook. The Nature Conservancy, 2001. URL: <https://www.invasive.org/gist/products/handbook/methods-handbook.pdf> (access date: 15.09.2022).
21. Walsh A., Kingwell R. Economic implications of the loss of glyphosate and paraquat on Australian mixed enterprise farms. *Agricultural Systems*. 2021; 193: 103207. DOI:10.1016/j.agsy.2021.103207.

*Статья поступила в редакцию 21.09.2022; одобрена после рецензирования 17.11.2022; принята к публикации 29.11.2022.
The article was submitted 21.09.2022; approved after reviewing 17.11.2022; accepted for publication 29.11.2022.*

