

# Использование фильтрационного осадка Ульяновского сахарного завода при производстве экологически безопасной продукции растениеводства

Е. А. ЧЕРКАСОВ, К. Ч. ХИСАМОВА, И. В. РАЗЕНКОВ

Станция агрохимической службы «Ульяновская», ул. Маяковского, 35, Ульяновск, 432025, Российская Федерация

**Резюме.** Исследования проводили с целью изучения эффективности применения фильтрационного осадка Ульяновского сахарного завода в качестве сорбента для снижения загрязнения почв и продукции растениеводства тяжелыми металлами. Работу выполняли в Ульяновской области в 2017–2021 гг. Почва опытного участка – чернозём выщелоченный тяжело-суглинистый со следующими характеристиками: содержание гумуса – 6,9 % (по Тюрину); подвижного фосфора и калия (по Чирикову) – соответственно 95 и 128 мг/кг; Нг – 6,65 мг-экв/100 г;  $pH_{KCl}$  – 5,22; степень насыщенности основаниями – 87,4 %. Схема опыта предполагала изучение следующих вариантов: без мелиорантов (контроль);  $CaCO_3$  в дозе 6,1 т/га;  $CaCO_3$  в дозе 4,5 т/га. Повторность четырехкратная. Содержание тяжелых металлов в почвах Ульяновской области в среднем не превышает предельно допустимые концентрации. Тем не менее, накопление некоторых элементов, прежде всего, кадмия, в отдельных культурах может выходить за пределы норм. Последнее обусловлено биологическими особенностями растений и высокой подвижностью элемента. Применение фильтрационного осадка АО «Ульяновский сахарный завод» в дозе 4,5 т/га позволило снизить содержание тяжелых металлов в почве на 10...50 %, в дозе 6,1 т/га – на 23...57 %. Поступление тяжелых металлов в растительную продукцию уменьшалось уже в первый год внесения фильтрационного осадка: в зерне ячменя – на 10...19 %, в зерне озимой пшеницы – на 10...15 %, в зерне яровой пшеницы – на 13...19 %, в семенах подсолнечника – на 10...18 %. В среднем за годы исследований снижение содержания тяжелых металлов в произведенной продукции составило 16 %. Уровень подвижности и поступления тяжелых металлов зависел от дозы внесенного известкового материала.

**Ключевые слова:** почва, тяжелые металлы, яровая пшеница (*Triticum aestivum* L.), известкование, подсолнечник (*Helianthus annuus* L.).

**Сведения об авторах:** Е. А. Черкасов, кандидат сельскохозяйственных наук, директор; К. Ч. Хисамова, кандидат сельскохозяйственных наук, зам. начальника (e-mail: sharafutdinova90@mail.ru); И. В. Разенков, главный агрохимик.

**Для цитирования:** Черкасов Е. А., Хисамова К. Ч., Разенков И. В. Использование фильтрационного осадка Ульяновского сахарного завода при производстве экологически безопасной продукции растениеводства // Достижения науки и техники АПК. 2023. Т. 37. № 11. С. 24–28. doi: 10.53859/02352451\_2023\_37\_11\_24

## Use of filtration sludge from the Ulyanovsk sugar plant in the production of environmentally friendly crop products

E. A. Cherkasov, K. Ch. Hisamova, I. V. Razenkov

Station of Agrochemical Service «Ulyanovskaya», ul. Mayakovskogo, 35, Ulyanovsk, 432025, Russian Federation

**Abstract.** The research aimed to study the effectiveness of using filtration sludge from the Ulyanovsk sugar plant as a sorbent to reduce contamination of soils and crop products with heavy metals. The work was carried out in the Ulyanovsk region in 2017–2021. The soil of the experimental plot was leached heavy loamy chernozem with the following characteristics: humus content – 6.9% (according to Tyurin); mobile phosphorus and potassium (according to Chirikov) – 95 and 128 mg/kg, respectively; Ng – 6.65 mEq/100 g;  $pH_{KCl}$  – 5.22; degree of base saturation – 87.4%. The experimental design involved studying the following options: without ameliorants (control);  $CaCO_3$  at a dose of 6.1 t/ha;  $CaCO_3$  at a dose of 4.5 t/ha. Replication was quadruple. The content of heavy metals in the soils of the Ulyanovsk region on average did not exceed the maximum permissible concentrations. However, the accumulation of some elements, primarily cadmium, in some crops may exceed normal limits. The latter is due to the biological characteristics of plants and the high mobility of the element. The use of filtration sludge from Ulyanovsk Sugar Plant JSC at a dose of 4.5 t/ha made it possible to reduce the content of heavy metals in the soil by 10–50%, at a dose of 6.1 t/ha – by 23–57%. The intake of heavy metals in plant products decreased already in the first year of applying filtration sludge: in barley grain – by 10–19%, in winter wheat grain – by 10–15%, in spring wheat grain – by 13–19%, in sunflower seeds – by 10–18%. On average, over the years of research, the reduction in the content of heavy metals in manufactured products was 16%. The level of mobility and intake of heavy metals depended on the dose of lime material introduced.

**Keywords:** soil; heavy metals; spring wheat (*Triticum aestivum* L.); liming; sunflower (*Helianthus annuus* L.).

**Author Details:** E.A. Cherkasov, Cand. Sc. (Agr.), director; K. Ch. Hisamova, Cand. Sc. (Agr.), deputy head of the department (e-mail: sharafutdinova90@mail.ru); I. V. Razenkov, head agrochemist.

**For citation:** Cherkasov EA, Hisamova KCh, Razenkov IV [Use of filtration sludge from the Ulyanovsk sugar plant in the production of environmentally friendly crop products]. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2023;37(11):24–8. Russian. doi: 10.53859/02352451\_2023\_37\_11\_24

Производство экологически безопасной сельскохозяйственной продукции – приоритетная задача во всем мире и, несомненно, в нашей стране. Есть ряд агротехнических приемов, направленных на ее решение, в том числе снижение уровня использования пестицидов с реализацией мероприятий по защите растений посредством правильного чередования культур в севообороте, обработки почвы, грамотного применения удобрений и др. Однако избежать загрязнения сельскохозяйственной продукции в условиях глобального антропогенного воздействия на агроэкосистемы не удастся [1, 2].

Одним из основных факторов, загрязняющих окружающую среду, выступают тяжелые металлы (ТМ) [3]. Выбросы техногенных веществ, с высоким содержанием тяжёлых металлов, аккумулируются, прежде всего, в почвах. Кроме того, ТМ попадают в почву в составе ядохимикатов, биоцидов, стимуляторов роста растений, структурообразователей, изготовленных из различных отходов нетрадиционных удобрений. Накапливаясь в почве в больших количествах, ТМ способны изменять многие ее свойства, вплоть до утраты почвенного плодородия.

Для ведения экологически безопасного сельскохозяйственного производства нужно знать степень

токсичности элемента, пути его поступления в почву, условия миграции в ней, усвояемость растениями [4, 5, 6].

Кадмий обладает мутагенными и канцерогенными свойствами и представляет генетическую опасность. Допустимое потребление его в человеческий организм составляет 490 мг в неделю и в большей части мира его поступление в продукты питания, по мнению ученых, приближается к ПДК. Свинец относится к классу высокой опасности, не представляет полезных свойств для организма растений и животных, подавляя нервную систему, мозговую деятельность, работу почек [7]. Опасной дозой потребления для человека считается суточная доза в размере 3,5 мг. Аккумуляция свинца может происходить как из почвы, через корневую систему, так и из воздуха через так называемое листовое поглощение. Основным источником поступления органического, более опасной формы, свинца служит автомобильный транспорт. Опасность органического свинца состоит в том, что он быстро трансформируется в подвижные формы, которые намного лучше усваиваются растениями.

Цинк, медь и никель – эти элементы выполняют двойственную роль. С одной стороны, они обязательны для всех живых организмов, так как входят в состав ферментов [8, 9]. С другой, они высокотоксичны, и кроме того, высокая концентрация этих элементов усиливает негативный эффект от других загрязнителей.

Токсичность тяжелых металлов связана с их физико-химическими свойствами, со способностью к образованию прочных соединений с рядом функциональных групп на поверхности и внутри клеток, стимуляцией образования активных форм кислорода и др. [10]. Загрязнение растений тяжелыми металлами внешне проявляется в замедлении их роста и развития, изменении цвета и увядании листьев, уродливости и недоразвитости корневой системы [11].

Решение проблемы в значительной степени возможно посредством применения при возделывании сельскохозяйственных культур известковых материалов. В последнее время известкование рассматривается, в том числе и как средство устранения или смягчения не только излишней почвенной кислотности

сти, но и многих неблагоприятных агрохимических и физико-химических свойств почв [12, 13].

Цель исследований – изучить эффективность применения фильтрационного осадка Ульяновского сахарного завода в качестве сорбента для снижения загрязнения почв и продукции растениеводства тяжелыми металлами.

**Условия, материалы и методы.** Исследования проводили на территории землепользования ООО «Хлебороб» муниципального образования Ульяновский район Ульяновской области.

Почва опытного поля – чернозем выщелоченный тяжелосуглинистый, характеризующийся содержанием гумуса по Тюрину (в модификации ЦИНАО) – 6,9 %; подвижного фосфора ( $P_2O_5$ , по Чирикову) – 95 мг/кг; подвижного калия ( $K_2O$ , по Чирикову) – 128 мг/кг;  $pH_{KCl}$  – 5,22, Нг – 6,65 мг-экв/100 г, суммой поглощенных оснований – 46,08 мг-экв/100 г, подвижной серы – 5,6 мг/кг; обменного  $Ca^{2+}$  – 22,0 мг-экв/100 г; обменного  $Mg^{2+}$  – 4,87 мг-экв/100 г; подвижной  $Cu$  – 5,2 мг/кг; подвижного  $Mn$  – 20,8 мг/кг; подвижного  $Zn$  – 0,42 мг/кг. Содержание солей тяжелых металлов в валовой форме ни по одному элементу не превышает ПДК.

Мелкоделяночный опыт закладывали в 3-х вариантах и 4-х повторениях осенью 2016 г. по следующей схеме: без удобрений и мелиоранта (контроль); фильтрационный осадок ( $CaCO_3$ ) в дозе, рассчитанной по гидролитической кислотности (Нг) – 6,1 т/га; фильтрационный осадок ( $CaCO_3$ ) в дозе, рассчитанной по обменной кислотности (pH) – 4,5 т/га. Общая площадь одной опытной делянки составляла 88 м<sup>2</sup>, учетная – 54 м<sup>2</sup>. Общая площадь участка под опытом – 1056 м<sup>2</sup>.

В качестве известкового материала использовали фильтрационный осадок АО «Ульяновский сахарный завод», расстояние перевозки мелиоранта – 50 км. Фильтрационный осадок образуется при очистке свекловичного сока путём добавления к нему известкового раствора. Фильтрационный осадок, полученный на заводе в качестве отхода свеклосахарного производства, имеет высокую влажность – до 40...60 %. Однако при хранении на специальных картах-отстойниках влажность его значительно снижается (до 17...20 %). По мере снижения влажности в нём возрастает относи-

Таблица 1. Содержание валовых форм тяжелых металлов в почвах Ульяновской области, мг/кг

| Район            | Cu   | Zn    | Ni   | Pb   | Cd   |
|------------------|------|-------|------|------|------|
| Базаросызганский | 8,5  | 21,2  | 23,7 | 6,9  | 0,25 |
| Барышский        | 10,2 | 30,1  | 20,2 | 5,1  | 0,20 |
| Вешкаймский      | 11,8 | 46,2  | 22,2 | 7,8  | 0,27 |
| Инзенский        | 15,7 | 24,7  | 17,4 | 5,2  | 0,28 |
| Карсунский       | 12,6 | 50,6  | 22,5 | 9,6  | 0,28 |
| Кузоватовский    | 12,1 | 38,8  | 26,5 | 6,4  | 0,24 |
| Маинский         | 9,2  | 39,3  | 16,4 | 6,4  | 0,28 |
| Мелекесский      | 15,2 | 31,7  | 32,9 | 9,0  | 0,20 |
| Николаевский     | 12,2 | 40,6  | 22,6 | 7,1  | 0,25 |
| Новомалыклинский | 11,8 | 36,7  | 25,2 | 5,5  | 0,22 |
| Новоспасский     | 13,7 | 45,0  | 32,1 | 8,5  | 0,30 |
| Павловский       | 10,3 | 43,4  | 27,9 | 7,9  | 0,26 |
| Радищевский      | 11,0 | 34,5  | 37,6 | 8,6  | 0,28 |
| Сенгилеевский    | 11,4 | 29,8  | 27,1 | 7,0  | 0,26 |
| Старомаинский    | 10,9 | 36,2  | 28,3 | 6,3  | 0,24 |
| Старокулатинский | 8,9  | 27,6  | 22,3 | 4,4  | 0,42 |
| Сурский          | 7,8  | 26,8  | 9,3  | 6,3  | 0,23 |
| Теренгульский    | 9,6  | 34,5  | 24,9 | 7,8  | 0,21 |
| Ульяновский      | 12,1 | 39,8  | 28,1 | 9,2  | 0,29 |
| Цильнинский      | 12,7 | 51,1  | 33,4 | 7,9  | 0,30 |
| Чердаклинский    | 14,7 | 48,6  | 31,7 | 8,1  | 0,23 |
| ПДК              | 55,0 | 100,0 | 85,0 | 55,0 | 3,0  |

Таблица 2. Содержание подвижной формы тяжелых металлов в почве опытного участка по вариантам в зависимости от внесения фильтрационного осадка, мг/кг

| Вариант                      | Год исследований |      |      |      |      |
|------------------------------|------------------|------|------|------|------|
|                              | 2017             | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 |
| <b>Pb</b>                    |                  |      |      |      |      |
| Контроль                     | 0,44             | 0,43 | 0,41 | 0,42 | 0,45 |
| CaCO <sub>3</sub> (4,5 т/га) | 0,37             | 0,32 | 0,31 | 0,34 | 0,36 |
| CaCO <sub>3</sub> (6,1 т/га) | 0,33             | 0,24 | 0,22 | 0,29 | 0,32 |
| HCP <sub>05</sub>            | 0,05             | 0,05 | 0,06 | 0,04 | 0,05 |
| <b>Cd</b>                    |                  |      |      |      |      |
| Контроль                     | 0,05             | 0,04 | 0,04 | 0,03 | 0,04 |
| CaCO <sub>3</sub> (4,5 т/га) | 0,04             | 0,03 | 0,02 | 0,02 | 0,03 |
| CaCO <sub>3</sub> (6,1 т/га) | 0,02             | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| HCP <sub>05</sub>            | 0,01             | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| <b>Cu</b>                    |                  |      |      |      |      |
| Контроль                     | 0,07             | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,05 |
| CaCO <sub>3</sub> (4,5 т/га) | 0,04             | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 |
| CaCO <sub>3</sub> (6,1 т/га) | 0,03             | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 |
| HCP <sub>05</sub>            | 0,02             | 0,02 | 0,02 | 0,01 | 0,02 |
| <b>Zn</b>                    |                  |      |      |      |      |
| Контроль                     | 0,40             | 0,37 | 0,37 | 0,35 | 0,36 |
| CaCO <sub>3</sub> (4,5 т/га) | 0,32             | 0,30 | 0,31 | 0,30 | 0,32 |
| CaCO <sub>3</sub> (6,1 т/га) | 0,30             | 0,27 | 0,28 | 0,26 | 0,29 |
| HCP <sub>05</sub>            | 0,03             | 0,05 | 0,03 | 0,05 | 0,03 |
| <b>Ni</b>                    |                  |      |      |      |      |
| Контроль                     | 0,54             | 0,52 | 0,53 | 0,48 | 0,50 |
| CaCO <sub>3</sub> (4,5 т/га) | 0,49             | 0,47 | 0,45 | 0,44 | 0,41 |
| CaCO <sub>3</sub> (6,1 т/га) | 0,41             | 0,41 | 0,40 | 0,38 | 0,37 |
| HCP <sub>05</sub>            | 0,04             | 0,04 | 0,05 | 0,04 | 0,05 |

тельное содержание органических и минеральных веществ. В пересчёте на сухое вещество в нём может содержаться до 70...80 % углекислого кальция и углекислого магния, 0,2...0,4 % азота, 0,15...0,5 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 0,3...0,5 % K<sub>2</sub>O, других макро- и микроэлементов, до 10...20 % органических веществ. В фильтрационном осадке АО «Ульяновский сахарный завод», использованном при проведении опытов, содержание CaCO<sub>3</sub> + MgCO<sub>3</sub> составляло 43,8 %, органического вещества – 12,6 %, подвижной серы (S) – 74 мг/кг, валовых количеств азота (N) – 0,17 %, фосфора (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) – 0,41 %, калия (K<sub>2</sub>O) – 0,43 %; подвижных форм Zn – 6,6 мг/кг, Cu – 1,1 мг/кг, Mn – 43,3 мг/кг. Фильтрационный осадок находился на хранении более трех лет.

Фильтрационный осадок вносили осенью 2016 г. вручную, равномерно распределяя по поверхности почвы, заделку осуществляли дисковыми боронами (БДМ 4х4) на глубину 14...16 см.

За годы исследований на опытном участке возделывали яровой ячмень сорта Камашевский (2017), озимую пшеницу сорта Марафон (2018), яровую пшеницу сорта Бурлак (2019, 2020), гибрид подсолнечника Саванна (2021).

Закладку и проведение полевого опыта, выполнение лабораторных исследований и наблюдений осуществляли по общепринятым методикам и ГОСТам. Все анализы почвенных и растительных образцов выполняли в аккредитованной агрохимической лаборатории ФГБУ «САС «Ульяновская», имеющей аттестат аккредитации (№ RA.RU. 510251) в соответствии с методическими указаниями и инструкциями научных учреждений и организаций МСХ РФ, в том числе: определение валовых форм тяжелых металлов почве (\*РД 52.18.191-2018), определение подвижных форм тяжелых металлов в почве (\*РД 52.18.289-1990), определение тяжелых металлов в растениях – по ГОСТ 30178-1996. Для мониторинга экологического состояния почвенного покрова на территории Ульяновской области во всех районах

области в период с 2006 по 2022 гг. проводили почвенные изыскания на содержание валовых и подвижных форм тяжелых металлов.

**Результаты и обсуждение.** Валовое содержание тяжелых металлов в почвах Ульяновской области ни по одному элементу (Cu, Zn, Ni, Pb, Cd) не превышало их предельно-допустимые концентрации (табл. 1).

По содержанию кадмия превышения ПДК не обнаружено, наибольшее содержание валовой формы этого элемента выявлено в Старокулатинском районе, последнее обусловлено тем, что почвы района имеют щелочную среду, а кадмий накапливается в щелочных почвах [14, 15].

Больше всего валового цинка содержится в почвах Цильнинского и Карсунского районов. Этот элемент один из наиболее необходимых для растений, так как входит в состав ферментов, но в то же время обладает высокой токсичностью, а также синергическим действием, усиливая эффект других загрязнителей, таких как кадмий [16]. Превышение ПДК в Ульяновской области не обнаружено, валовое содержание цинка в почвах не вызывает опасений.

В среднем самое высокое содержание никеля выявлено в Новоспасском и Цильнинском районах (32,1 и 33,4 мг/кг соответственно при ПДК 85,0 мг/кг), свинца – в Карсунском (9,6 мг/кг), Ульяновском (9,2 мг/кг), Мелекесском (9,0 мг/кг) и Чердаклинском (8,1 мг/кг при ПДК 55 мг/кг) районах, кадмия – в Старокулатинском (0,42 мг/кг), Новоспасском и Цильнинском районах (0,30 мг/кг при ПДК 3,0 мг/кг).

Связывание ТМ в почве при известковании происходит в процессе их осаждения в виде карбонатов, увеличения специфической и неспецифической адсорбции при повышении значений pH, и поглощения в микробной биомассе при активизации микроорганизмов в условиях близкой к нейтральной или нейтральной реакции среды [17]. При этом уменьшение поглощения растениями ТМ обусловлено

Таблица 3. Содержание тяжелых металлов в основной и побочной продукции сельскохозяйственных культур в зависимости от внесения фильтрационного осадка

| Вариант                         | Cu    |        | Zn    |        | Ni    |        | Pb    |        | Cd    |        |
|---------------------------------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|
|                                 | зерно | солома | зерно | солома | зерно | солома | зерно | солома | зерно | солома |
| <b>Ячмень (2017 г.)</b>         |       |        |       |        |       |        |       |        |       |        |
| Контроль                        | 3,80  | 1,26   | 17,14 | 6,26   | 0,34  | 0,30   | 0,46  | 0,41   | 0,02  | 0,02   |
| CaCO <sub>3</sub> (4,5 т/га)    | 3,40  | 1,55   | 15,59 | 6,73   | 0,28  | 0,28   | 0,32  | 0,38   | 0,02  | 0,02   |
| CaCO <sub>3</sub> (6,1 т/га)    | 3,40  | 1,16   | 16,34 | 6,18   | 0,25  | 0,28   | 0,36  | 0,34   | 0,01  | 0,01   |
| HCP <sub>05</sub>               | 0,12  | 0,08   | 0,45  | 0,09   | 0,08  | 0,02   | 0,10  | 0,06   | 0,01  | 0,01   |
| <b>Озимая пшеница (2018 г.)</b> |       |        |       |        |       |        |       |        |       |        |
| Контроль                        | 1,88  | 1,60   | 21,60 | 18,40  | 0,22  | 0,75   | 0,28  | 0,41   | 0,06  | 0,06   |
| CaCO <sub>3</sub> (4,5 т/га)    | 1,71  | 1,53   | 20,00 | 17,80  | 0,19  | 0,64   | 0,24  | 0,38   | 0,05  | 0,06   |
| CaCO <sub>3</sub> (6,1 т/га)    | 1,63  | 1,52   | 19,40 | 18,10  | 0,18  | 0,55   | 0,19  | 0,37   | 0,05  | 0,04   |
| HCP <sub>05</sub>               | 0,22  | 0,08   | 0,62  | 0,32   | 0,03  | 0,08   | 0,06  | 0,05   | 0,01  | 0,01   |
| <b>Яровая пшеница (2019 г.)</b> |       |        |       |        |       |        |       |        |       |        |
| Контроль                        | 2,40  | 1,53   | 12,10 | 4,08   | 0,40  | 0,75   | 1,30  | 0,41   | 0,04  | 0,08   |
| CaCO <sub>3</sub> (4,5 т/га)    | 2,60  | 1,73   | 11,40 | 4,28   | 0,70  | 0,64   | 2,00  | 0,29   | 0,05  | 0,06   |
| CaCO <sub>3</sub> (6,1 т/га)    | 2,40  | 1,54   | 11,10 | 4,25   | 0,70  | 0,55   | 1,70  | 0,40   | 0,04  | 0,06   |
| HCP <sub>05</sub>               | 0,15  | 0,18   | 0,70  | 0,04   | 0,10  | 0,17   | 0,28  | 0,11   | 0,01  | 0,02   |
| <b>Яровая пшеница (2020 г.)</b> |       |        |       |        |       |        |       |        |       |        |
| Контроль                        | 2,35  | 1,47   | 11,85 | 3,35   | 0,45  | 0,70   | 1,37  | 0,40   | 0,06  | 0,07   |
| CaCO <sub>3</sub> (4,5 т/га)    | 2,52  | 1,65   | 11,48 | 3,26   | 0,40  | 0,52   | 1,35  | 0,29   | 0,05  | 0,04   |
| CaCO <sub>3</sub> (6,1 т/га)    | 2,32  | 1,45   | 11,15 | 3,18   | 0,17  | 0,44   | 1,24  | 0,35   | 0,04  | 0,04   |
| HCP <sub>05</sub>               | 0,14  | 0,15   | 0,28  | 0,09   | 0,22  | 0,08   | 0,13  | 0,05   | 0,01  | 0,02   |
| <b>Подсолнечник (2021 г.)</b>   |       |        |       |        |       |        |       |        |       |        |
| Контроль                        | 6,63  | 4,91   | 20,34 | 20,22  | 0,76  | 0,42   | 0,64  | 0,58   | 0,19  | 0,13   |
| CaCO <sub>3</sub> (4,5 т/га)    | 5,41  | 4,77   | 19,56 | 21,07  | 0,79  | 0,38   | 0,66  | 0,60   | 0,22  | 0,14   |
| CaCO <sub>3</sub> (6,1 т/га)    | 5,60  | 3,95   | 21,61 | 22,50  | 0,75  | 0,37   | 0,66  | 0,59   | 0,22  | 0,13   |
| HCP <sub>05</sub>               | 0,18  | 0,67   | 0,75  | 0,85   | 0,02  | 0,04   | 0,02  | 0,01   | 0,01  | 0,01   |
| ПДК                             | 30,0  | 30,0   | 50,0  | 50,0   | 3,0   | 3,0    | 5,0   | 5,0    | 0,3   | 0,3    |

как их закреплением в почвах, так и конкуренцией с кальцием. Исследования по изучению влияния фильтрационного осадка на содержание тяжелых металлов в почвах, убедительно показали его роль в этом качестве (табл. 2).

В период наблюдений (2017–2021 гг.) прослеживалось снижение содержания подвижных соединений ТМ в почве в зависимости от дозы внесения фильтрационного осадка. Прежде всего, это касается таких токсичных элементов, как свинец и кадмий, которые относятся к 1-му классу опасности. В вариантах с внесением фильтрационного осадка в дозах по CaCO<sub>3</sub> 4,5 и 6,1 т/га содержание свинца уменьшалось на 17,5 % и 47,5 %, кадмия – на 50 % и 55 %, меди – на 46,0 % и 57,1 %, цинка – на 18,4 % и 26,3 %, никеля – на 16,3 % и 23,6 % соответственно дозам.

То есть, известкование почвы выступает действенным приемом снижения подвижности тяжелых металлов в почвах: по отдельным металлам подвижность их уменьшается на 50 % и более. Последнее обеспечивает получение экологически более безопасной сельскохозяйственной продукции (табл. 3). В результате внесения фильтрационного осадка в дозах 4,5 т/га и 6,1 т/га уже в первый год содержание меди в зерне ячменя уменьшилось, в сравнении с контролем, на 10,5 %, никеля – на 17 и 19 %. В зерне озимой пшеницы отмечено снижение меди на 10 % в варианте внесения CaCO<sub>3</sub> в дозе 4,5 т/га и на 13 % при внесении CaCO<sub>3</sub> в дозе 6,1 т/га. Также отмечено уменьшение в этих вариантах содержания цинка, никеля и свинца на 10...15 %. На третий и четвертый год внесения фильтрационного осадка установлено снижение в зерне и побочной продукции яровой

пшеницы цинка – на 16...18 %, никеля – на 17...19 %, свинца – на 13...17 %. В семенах и корзинках подсолнечника снижение содержания ТМ в варианте внесения CaCO<sub>3</sub> в дозе 4,5 т/га достигало 10...16 %, в дозе 6,1 т/га – 12...18 %.

Как видно из приведенных данных снижение подвижности и поступления тяжелых металлов зависит от дозы известкового материала: чем выше доза, тем больше снижается подвижность токсичных тяжелых металлов и поступление их в сельскохозяйственную продукцию.

**Выводы.** Валовое содержание тяжелых металлов в почвах Ульяновской области ни по одному из изученных элементов (Cu, Zn, Ni, Pb, Cd), не превышает предельно-допустимые концентрации, определяемые СанПиН РФ. В среднем более высокое содержание никеля установлено в почвах Новоспасского и Цильнинского районов (32,1 и 33,4 мг/кг соответственно при ПДК 85,0 мг/кг), свинца – в Карсунском, Ульяновском, Мелекесском и Чердаклинском районах (9,6 мг/кг, 9,2 мг/кг, 9,0 мг/кг, 8,1 мг/кг соответственно при ПДК 55 мг/кг), кадмия – в Старокулатинском (0,42 мг/кг), Новоспасском и Цильнинском районах (0,30 мг/кг при ПДК 3,0 мг/кг).

Внесение фильтрационного осадка в качестве мелиоранта позволяет снизить содержание подвижных форм ТМ в почве в зависимости от дозы на 10...57 %.

Известкование почв фильтрационным осадком – эффективный прием производства экологически более безопасной продукции растениеводства, обеспечивающий снижение поступления тяжелых металлов на 10 % и более.

#### Литература.

1. Известкование кислых почв: прошлое и настоящее / Р. Б. Нурлыгаянов, Ф. Ф. Гиниятова, А. Ф. Зайнагабдинов и др. // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2021. № 1 (57). С. 34–41.
2. Кишлян Н. В., Мельникова Н. В., Рожмина Т. А. Механизмы адаптации льна-долгунца к повышенной кислотности почвы (обзор) // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020. Т. 181. № 4. С. 205–212.

3. Лукманов А. А., Минуллин Р. М. Известкование кислых почв в Республике Татарстан местными известковыми удобрениями // *Агрохимический Вестник*. 2017. № 5. С. 37–41.
4. Куликова А. Х., Тойгильдин А. Л., Цаповская О. Н. Питательный режим и биологическая активность почвы в зависимости от загрязнения медью и роль диатомита как детоксиканта // *Аграрная наука*. 2022. № 1. С. 72–77.
5. Влияние внесения биоугля на минеральный азот почвы, потоки N<sub>2</sub>O и NH<sub>3</sub> из агротемногумусовых подбелов / М. А. Бовсун, О. В. Нестерова, В. А. Семаль и др. // *Вестник Томского государственного университета. Биология*. 2023. № 62. С. 6–28.
6. Изменение показателей ППК и гумусового состояния чернозема выщелоченного при многолетнем внесении удобрений и известковании / Е. С. Гасанова, А. Н. Кожокина, Н. Г. Мязин и др. // *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2018. № 4 (59). С. 13–21.
7. Продуктивность полевого севооборота при различных системах удобрения и известковании / А. Н. Налиухин, О. А. Власова, А. В. Ерегин и др. // *Плодородие*. 2020. № 4 (115). С. 30–34.
8. Черкасов Е. А., Куликова А. Х., Лобачев Д. А. Эффективность фильтрационного осадка ульяновского сахарного завода в качестве мелиоранта кислых почв // *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2019. № 4 (48). С. 61–65.
9. Лукманов А. А., Хузина Г. К. Эффективность известкования черноземов Республики Татарстан // *Агрохимический вестник*. 2020. № 1. С. 3–7.
10. Изменение окислительных процессов в проростках сои под действием тяжелых металлов / В. Т. Синегосовская, О. А. Терехова, С. И. Лаврентьева и др. // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2019. № 6. С. 27–30.
11. Применение фильтрационного осадка сахарного завода для известкования черноземов Ульяновской области / Е. А. Черкасов, Д. А. Лобачев, Б. К. Саматов и др. // *Достижения науки и техники АПК*. 2021. № 12. С. 29–32.
12. Некрасов Р. В., Овчаренко М. М., Аканова Н. И. Агроэкологические основы химической мелиорации почв // *Земледелие*. 2019. № 4. С. 3–7.
13. Козлов А. В., Куликова А. Х., Уромова И. П. Подвижность силикатов, показатели плодородия дерново-подзолистой почвы, биоаккумуляция кремния и продуктивность сельскохозяйственных культур под действием цеолита // *Сельскохозяйственная биология*. 2021. Т. 56. № 1. С. 183–198.
14. Содержание и распределение Mn, Fe, Ni, Cu, Zn и Pb в автоморфных почвах Полистовского заповедника / Г. В. Нестерчук (Шипкова), Т. М. Минкина, Ю. А. Федоров и др. // *Вестник Томского государственного университета. Биология*. 2019. № 46. С. 6–25.
15. Влияние внесения биоугля на урожайность сельскохозяйственных культур / М. А. Бовсун, О. В. Нестерова, В. А. Семаль и др. // *Вестник Томского государственного университета. Биология*. 2023. № 61. С. 6–26.
16. Устойчивость микробиологической активности дерново-подзолистой почвы в условиях применения диатомита и цеолита / А. В. Козлов, А. Х. Куликова, О. В. Селицкая и др. // *Вестник Томского государственного университета. Биология*. 2019. № 46. С. 26–47.
17. Дубровина И. А. Изменение содержания общего углерода, азота и фосфора в почвах таежной зоны при сельскохозяйственном использовании // *Вестник томского государственного университета. Биология*. 2018. № 41. С. 27–41.

## References

1. Nurlıyganov RB, Giniyatova FF, Zainagabdinov AF, et al. [Liming of acidic soils: Past and present]. *Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2021;(1):34-41. Russian.
2. Kishlyan NV, Mel'nikova NV, Rozhmina TA. [Mechanisms of fiber flax adaptation to increased soil acidity (review)]. *Trudy po prikladnoi botanike, genetike i seleksii*. 2020;181(4):205-12. Russian.
3. Lukmanov AA, Minullin RM. [Liming of acidic soils in the Republic of Tatarstan with local lime fertilizers]. *Agrokhimicheskii Vestnik*. 2017;(5):37-41. Russian.
4. Kulikova AKh, Toigil'din AL, Tsapovskaya ON. [Nutrient regime and biological activity of soil depending on copper contamination and the role of diatomite as a detoxifier]. *Agrarnaya nauka*. 2022;(1):72-7. Russian.
5. Bovsun MA, Nesterova OV, Semal' VA, et al. [Effect of biochar application on soil mineral nitrogen, N<sub>2</sub>O and NH<sub>3</sub> fluxes from agro-dark humus soils]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya*. 2023;(62):6-28. Russian.
6. Gasanova ES, Kozhokina AN, Myazin NG, et al. [Changes in the soil adsorption complex indicators and humus status of leached chernozem during long-term application of fertilizers and liming]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2018;(4):13-21. Russian.
7. Naliukhin AN, Vlasova OA, Eregina AV, et al. [Productivity of field crop rotation with different fertilization systems and liming]. *Plodородie*. 2020;(4):30-4. Russian.
8. Cherkasov EA, Kulikova AKh, Lobachev DA. [Efficiency of filtration sludge from the Ulyanovsk sugar factory as an ameliorant for acidic soils]. *Vestnik Ulyanovskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaystvennoi akademii*. 2019;(4):61-5. Russian.
9. Lukmanov AA, Khuzina GK. [Efficiency of liming of chernozems in the Republic of Tatarstan]. *Agrokhimicheskii vestnik*. 2020;(1):3-7. Russian.
10. Sinegovskaya VT, Terekhova OA, Lavrent'eva SI, et al. [Changes in oxidative processes in soybean seedlings under the influence of heavy metals]. *Rossiiskaya sel'skokhozyaystvennaya nauka*. 2019;(6):27-30. Russian.
11. Cherkasov EA, Lobachev DA, Samatov BK, et al. [Application of filtration sludge from a sugar factory for liming of chernozems in the Ulyanovsk region]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2021;(12):29-32. Russian.
12. Nekrasov RV, Ovcharenko MM, Akanova NI. [Agroecological foundations of chemical soil reclamation]. *Zemledelie*. 2019;(4):3-7. Russian.
13. Kozlov AV, Kulikova AKh, Uromova IP. [Mobility of silicates, indicators of fertility of soddy-podzolic soil, bioaccumulation of silicon and crop productivity under the influence of zeolite]. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya*. 2021;56(1):183-98. Russian.
14. Nesterchuk (Shipkova) GV, Minkina TM, Fedorov YuA, et al. [Content and distribution of Mn, Fe, Ni, Cu, Zn and Pb in automorphic soils of the Polistovsky Nature Reserve]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya*. 2019;(46):6-25. Russian.
15. Bovsun MA, Nesterova OV, Semal' VA, et al. [Effect of biochar application on crop yields]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya*. 2023;(61):6-26. Russian.
16. Kozlov AV, Kulikova AKh, Selietskaya OV, et al. [Stability of microbiological activity of sod-podzolic soil under diatomite and zeolite application]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya*. 2019;(46):26-47. Russian.
17. Dubrovina IA. [Changes in the content of total carbon, nitrogen and phosphorus in soils of the taiga zone during agricultural use]. *Vestnik tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya*. 2018;(41):27-41. Russian.