

УДК 631.1

DOI 10.48612/vch/b86p-xr76-hgam

**СИСТЕМА «ПОЧВА – РАСТЕНИЕ» ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД****Н. В. Щипцова, Н. В. Мардарьева, Р. Н. Иванова***Чувашский государственный аграрный университет**428003, г. Чебоксары, Российская Федерация*

**Аннотация.** Быстрый рост населения и, как следствие, увеличение отходов стали предметом беспокойства во всем мире. Общее количество произведенных осадков сточных вод растет из года в год из-за роста урбанизации, и вопрос использования осадков сточных вод остается актуальным из-за их большого количества. В данной статье представлены результаты исследований содержания химических элементов в системе «почва – растение» при внесении в почву различных доз осадков сточных вод. Будучи богатым органическими и неорганическими питательными веществами для растений, осадок сточных вод может заменить удобрение, но наличие потенциально токсичных металлов часто ограничивает его использование. В работе приведены теоретические расчеты максимально возможной одноразовой дозы осадков сточных вод в почву по лимитирующему показателю концентрации тяжелых металлов, установлено их закономерное возрастание, но превышений ориентировочно допустимых концентраций не выявлено. Тяжелые металлы являются одним из важных факторов, влияющих на окончательную утилизацию осадка сточных вод. Рассчитали коэффициенты концентрации химических веществ, дали оценку степени загрязнения почвы тяжелыми металлами. Установлено, что почвы относятся к категории допустимого загрязнения, с возможностью использования под любые сельскохозяйственные. В биомассе корнеплодов исследовали содержание сухого вещества, золы, макроэлементов и тяжелых металлов, выявили, что при использовании осадков сточных вод в качестве удобрения содержание сухого вещества и калия, при увеличении дозы осадков сточных вод, несколько уменьшается, а содержание золы, кальция, магния и фосфора – возрастает, и динамика миграции тяжелых металлов в биомассу растений коррелирует с повышением их концентрации в почве. При этом установили, что в фотосинтезирующей части накопление химических элементов происходит интенсивнее, но превышений нормативных показателей в исследованных пробах не выявили.

**Ключевые слова:** сельское хозяйство, макроэлементы, корнеплоды, коэффициент концентрации химических веществ, тяжелые металлы, осадок сточных вод.

**Введение.** С ростом численности населения в окружающей среде накапливается огромное количество отходов производства и потребления, и их утилизация, в том числе осадков городских сточных вод, является одной из актуальных экологических проблем.

Наличие в сточных водах потенциально токсичных элементов еще больше усложняет их очистку и управление твердыми побочными продуктами. Тяжелые металлы (ТМ) являются одним из важных факторов, влияющих на окончательную утилизацию осадка сточных вод (ОСВ), и их образование при биологической очистке является серьезной проблемой, которую необходимо решить. Характеристика ОСВ зависит от качества сточных вод и типа применяемых процессов очистки. Будучи богатым органическими и неорганическими питательными веществами для растений, осадок сточных вод может заменить удобрение, но наличие потенциально токсичных металлов часто ограничивает его использование. Сегодня разработаны различные методы их утилизации и одним из методов является метод использования их на низкоплодородных почвах в качестве комплексного органо-минерального удобрения сельскохозяйственных культур [6], [9], [10], [11].

Использование в сельском хозяйстве осадков сточных вод с городских очистных сооружений экономически выгодно при условии сохранения агрономического качества почвы и отсутствия загрязнения, в частности, тяжелыми металлами.

Деградированные земли России, в том числе и Чувашской Республики, нуждаются в нетрадиционной мелиорации для решения неблагоприятных агрохимических, водно-физических свойств почвы и проблем восполнения содержания гумуса [4]. В последнее время вопрос использования осадков городских сточных вод в целях повышения плодородия почв особенно актуален, так как применение традиционных органических и минеральных удобрений в сельском хозяйстве резко сократилось [2], [5].

Анализ результатов исследований по сельскохозяйственной утилизации осадков сточных вод свидетельствуют о том, что к вопросу их применения в качестве удобрения необходимо подходить дифференцированно, так как каждая партия осадков сточных вод по своему химическому составу индивидуальна [1], [3], [7].

**Материалы и методы исследований.** Экспериментальная часть работы проводилась в условиях Чебоксарского района на типично-серых лесных тяжелосуглинистых почвах, агрохимическая характеристика которых типична для почв Чувашской Республики [8].

Объектами исследований явились осадки сточных вод, серые лесные тяжелосуглинистые почвы, биомасса моркови и столовой свеклы. В объектах исследований определяли содержание цинка, меди, свинца, кадмия, ртути, мышьяка, золы, кальция, магния, фосфора и калия.

Осадки сточных вод со шламовых площадок отбирали согласно федеративным природоохранным нормативным документам 12.1:2.2:2.3:3.2-03: «Методические рекомендации отбора проб почв, грунтов, донных отложений, илов, осадков сточных вод, шламов промышленных сточных вод, отходов производства и потребления» методом точечных проб.

Для изучения накопления химических элементов в системе «почва – растение» заложили пять вариантов делянок площадью 2,5 м<sup>2</sup> в 4 повторностях в соответствии с предъявляемыми требованиями. Осадки сточных вод натуральной влажности вносили в определенных дозах: вариант – контрольный (без ОСВ); 1 вариант – в дозе 30 т/га; 2 вариант – 60 т/га; 3 вариант – 120 т/га и 4 вариант – 240 т/га. После внесения ОСВ на делянках всех вариантов были проведены все предпосевные мероприятия с последующим отбором проб почвы для лабораторных исследований на содержание тяжелых металлов согласно Межгосударственному стандарту 17.4.4.02-84 «Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа».

Далее на подготовленные делянки посеяли семена моркови сорта Лосиноостровская-13 и столовой свеклы сорта Бордо, посев провели семенами одной и той же репродукции с учетом всех предъявляемых требований. За период вегетации растений проведены все необходимые агротехнические мероприятия.

Пробы корнеплодов и ботвы отбирались с делянок вручную в первой декаде сентября в один день с последующим их анализом на показатели влажности, зольности, макроэлементов и тяжелых металлов общепринятыми методами.

**Результаты исследований и их обсуждение.** В Чувашской Республике (ЧР) осадки сточных вод производятся на Государственном унитарном предприятии ЧР «Биологические очистные сооружения».

Осадки сточных вод, используемые в опытах, несколько лет хранились на иловой площадке, и заросли сорными травами. Отлежавшиеся в течение 5 лет ОСВ представляли собой темно-серую землистую массу, имеющую рассыпчатую комковатую и мелкокомковатую структуру, с отдельными глыбистыми частицами размером до 6-7 см. Влажность ОСВ составляла 44,5%, содержание органического вещества в сухом веществе – 38,5%, общего азота – 1,34%, фосфора – 0,55%, кальция – 5,14%, магния – 1,27%, калия – 0,08%. В ОСВ отмечается сравнительно низкое содержание очень важного для роста и развития растений химического элемента калия. Массовая доля содержание тяжелых металлов в сухом веществе ОСВ составляло: цинка – 0,0878%, меди – 0,0645%, свинца – 0,0018%, кадмия – 0,00046%, ртути – 0,000018%, мышьяка – менее 0,00001%.

Теоретический расчет возможно допустимой максимальной дозы внесения ОСВ в почву основан на том, что суммарное содержание тяжелых металлов (в почве и ОСВ) не должно превышать ПДК, т.е. должно соблюдаться неравенство:  $\Phi + Д \leq \text{ПДК}$ , где  $\Phi$  – фоновое содержание ТМ в почве, мг/кг;  $Д$  – дополнительная доза ТМ, внесенного с ОСВ, мг/кг; ПДК – предельно допустимая концентрация ТМ в почве, мг/кг. Масса пахотного слоя почвы условно принята за 3000 т/га [2]. Доза внесения ОСВ (Досв) рассчитывается по следующей формуле:

$$\text{Досв (т/га)} = \frac{(\text{ПДК мг/кг} - \Phi \text{ мг/кг}) \times 3000 \text{ т/га}}{C(\text{мг/кг})} \quad (1)$$

где  $C$  – концентрация определяемого элемента в ОСВ, мг/кг.

Результаты расчетов приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Теоретические расчеты максимально возможной одноразовой дозы ОСВ в почву по лимитирующему показателю концентрации ТМ

Исходные данные	Zn	Cu	Pb	Cd	Hg	As
Содержание ТМ в ОСВ, мг/кг	487	358	10,45	2,57	0,1	0,01
Фоновое содержание в почве, мг/кг	45	30	72	0,21	0,03	1,4
ПДК ТМ в почве, мг/кг	300	100	100	5	5	50
Разовая доза ОСВ, т/га	1571	587	8038	5591	149100	14580000

По данным таблицы 1 видно, что максимально возможное одноразовое внесение ОСВ в почву до достижения ПДК лимитирует медь, и составляет 587 т/га.

Содержание химических элементов в почвенных пробах пахотного слоя почвы разных вариантов опыта сравнивались между собой. Анализ динамики накопления химических элементов в серой лесной тяжелосуглинистой почве при однократном внесении в качестве удобрения осадков сточных вод влажностью 44,5% в дозах 30, 60, 120 и 240 т/га выявило закономерное их возрастание, но превышений ориентировочно допустимых концентраций не выявлено.

Для оценки степени загрязнения почвы тяжелыми металлами были рассчитаны коэффициенты концентрации химических веществ с использованием фонового значения элемента с последующим определением суммарного показателя загрязнения.

Данные коэффициентов концентрации и суммарного показателя загрязнения почвы тяжелыми металлами почвы приведены на рисунке 1.

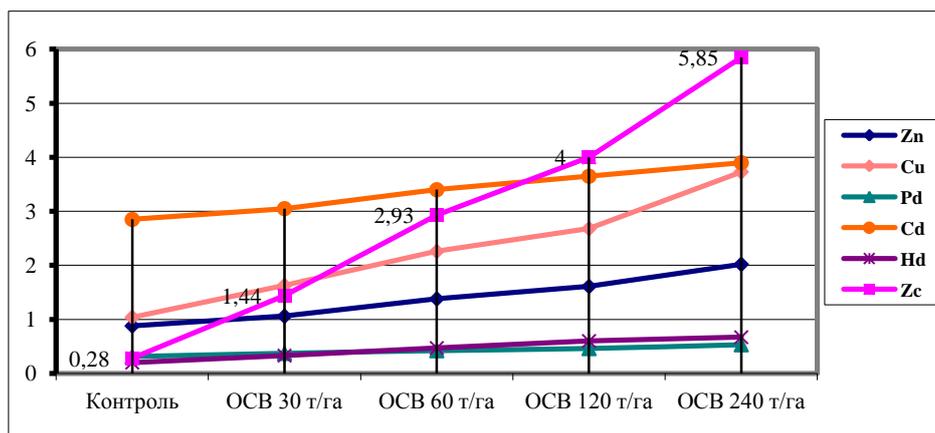


Рис. 1. Коэффициентов концентрации ТМ и суммарного показателя загрязнения тяжелыми металлами почвы

Анализ полученных данных свидетельствует о том, что наивысший суммарный показатель загрязнения почвы тяжелыми металлами «Zc» наблюдался при использовании ОСВ в максимальной дозе, который показал среднее значение равное 5,85. По уровню «Zc» почвы отнесены к категории допустимого загрязнения с возможностью использования под любые сельскохозяйственные культуры.

Кроме техногенного загрязнения почвенного покрова существенное влияние на содержание тяжелых металлов в нем оказывает их биогенная аккумуляция, благодаря выносу с урожаем биомассы растений.

При исследовании содержания мышьяка и ртути в биомассе растений показатели аналитического прибора находились ниже его чувствительности. Содержание тяжелых металлов в биомассе моркови и столовой свеклы приведены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2 – Содержание тяжелых металлов в корнеплодах и листьях моркови, мг/кг

ТМ	Варианты опытов					МДУ для кормов
	1	2	3	4	5	
Zn	$4,18 \pm 0,03^*$ $6,52 \pm 0,03^{**}$	$5,31 \pm 0,05$ $9,75 \pm 0,05$	$5,75 \pm 0,01$ $9,90 \pm 0,10$	$6,40 \pm 0,10$ $11,40 \pm 0,10$	$6,75 \pm 0,05$ $14,45 \pm 0,05$	100,0
Cu	$1,24 \pm 0,01$ $1,49 \pm 0,02$	$1,28 \pm 0,01$ $1,54 \pm 0,01$	$1,41 \pm 0,01$ $1,76 \pm 0,01$	$2,27 \pm 0,01$ $1,86 \pm 0,01$	$2,99 \pm 0,01$ $2,48 \pm 0,02$	50,0
Pb	$0,096 \pm 0,05$ $0,098 \pm 0,01$	$0,099 \pm 0,010$ $0,153 \pm 0,03$	$0,105 \pm 0,05$ $0,225 \pm 0,05$	$0,131 \pm 0,0$ $0,241 \pm 0,001$	$0,149 \pm 0,01$ $0,245 \pm 0,005$	5,0
Cd	$0,010 \pm 0,00$ $0,007 \pm 0,001$	$0,010 \pm 0,001$ $0,010 \pm 0,001$	$0,011 \pm 0,001$ $0,012 \pm 0,001$	$0,012 \pm 0,001$ $0,014 \pm 0,001$	$0,013 \pm 0,001$ $0,017 \pm 0,001$	0,3

\* – корнеплоды, \*\* – ботва.

Сравнительный анализ цинка в корнеплодах моркови и свеклы свидетельствует о том, что его максимальное содержание отмечено в четвертых опытных вариантах корнеплодов и составляла в моркови  $6,75 \pm 0,05$  мг/кг, а в свекле –  $9,3 \pm 0,05$  мг/кг, что выше в 1,38 раза по сравнению с его содержанием в моркови. Содержание меди в опытных образцах моркови составляло 1,28-2,99 мг/кг, а свеклы – 1,14-1,74 мг/кг, что также свидетельствует о максимальном содержании элемента в четвертых опытных вариантах и превышении его содержания в моркови в 1,72 раза по сравнению со свеклой. В моркови максимальное содержание свинца составляло  $0,149 \pm 0,01$  мг/кг, а в свекле –  $0,175 \pm 0,01$  мг/кг, что выше в 1,17 раза. Содержание кадмия в моркови и свекле максимально составляло  $0,013 \pm 0,001$  мг/кг в варианте с максимальным внесением в почву осадка сточных вод.

Таблица 3 – Содержание тяжелых металлов в корнеплодах и листьях столовой свеклы, мг/кг

ТМ	Варианты опытов					МДУ для кормов
	1	2	3	4	5	
Zn	$4,4 \pm 0,10^*$ $15,1 \pm 0,10^{**}$	$5,8 \pm 0,05$ $15,6 \pm 0,10$	$6,7 \pm 0,05$ $16,8 \pm 0,05$	$8,8 \pm 0,05$ $17,6 \pm 0,10$	$9,3 \pm 0,05$ $18,4 \pm 0,10$	100,0
Cu	$1,11 \pm 0,01$ $1,63 \pm 0,03$	$1,14 \pm 0,01$ $1,68 \pm 0,02$	$1,21 \pm 0,01$ $2,1 \pm 0,01$	$1,34 \pm 0,01$ $2,26 \pm 0,01$	$1,74 \pm 0,01$ $3,51 \pm 0,01$	50,0
Pb	$0,092 \pm 0,01$ $0,110 \pm 0,05$	$0,094 \pm 0,01$ $0,160 \pm 0,05$	$0,10 \pm 0,002$ $0,183 \pm 0,03$	$0,130 \pm 0,01$ $0,219 \pm 0,02$	$0,175 \pm 0,05$ $0,231 \pm 0,01$	5,0
Cd	$0,010 \pm 0,008$ $0,010 \pm 0,005$	$0,010 \pm 0,008$ $0,010 \pm 0,008$	$0,012 \pm 0,008$ $0,013 \pm 0,009$	$0,013 \pm 0,001$ $0,018 \pm 0,010$	$0,013 \pm 0,001$ $0,018 \pm 0,010$	0,3

\* – корнеплоды, \*\* – ботва.

Сравнительный анализ содержания тяжелых металлов в листьях корнеплодов свидетельствует о том, что максимальное содержание цинка в листьях моркови установили в дозе  $14,45 \pm 0,05$  мг/кг, свеклы –  $18,4 \pm 0,10$ , что выше в 1,27 раза, чем в листьях моркови. Максимальное содержание меди в листьях свеклы также превышает в 1,42 раза, чем моркови. Анализ свинца свидетельствует о том, что в листьях моркови его максимальное содержание составляло  $0,245 \pm 0,005$  мг/кг, что в 1,06 раза выше, чем в листьях столовой свеклы. Содержание кадмия в листьях свеклы составляло  $0,018 \pm 0,010$  мг/кг, что незначительно превышало содержания его в листьях моркови.

Исследование биомассы столовой свеклы опытных вариантов свидетельствует о том, что в листьях концентрация химических элементов выше, чем в корнеплодах. За счет того, что органические лиганды увеличивают уровень биодоступности и происходит переход в более подвижную форму, наблюдается большее накопление ТМ в листовой части.

Выявили, что содержание тяжелых металлов в биомассе корнеплодов по сравнению с контрольными показателями достоверно увеличилось с повышением внесенной дозы ОСВ, но превышений нормативных показателей не выявили.

Также был проведен анализ органолептических показателей качества корнеплодов моркови и выявлено, что в сравнении с контрольным вариантом, в вариантах с дозами ОСВ 120 и 240 т/га мякоть моркови была более грубой и безвкусной.

Изучение химического состава корнеплодов моркови показало, использование ОСВ в качестве удобрения повлияло и на содержание в продукции сухого вещества, золы и химических элементов (табл. 4).

Таблица 4 – Химический состав корнеплодов моркови

№ п.п	Варианты	Влажность, %	Содержится в сухом веществе корнеплодов, %				
			Зола	Ca	Mg	P	K
1	Контроль	87,4	0,52	0,03	0,01	0,03	0,23
2	ОСВ 30 т/га	88,1	0,57	0,03	0,01	0,03	0,24
3	ОСВ 60 т/га	87,9	0,57	0,03	0,01	0,03	0,23
4	ОСВ 120 т/га	88,2	0,60	0,04	0,02	0,04	0,22
5	ОСВ 240 т/га	88,5	0,75	0,05	0,03	0,05	0,21

Данные химического анализа, изложенные в таблице 4, показывают, что содержание сухого вещества при увеличении дозы ОСВ несколько уменьшается, однако возрастает содержание золы с 0,52% в контрольном варианте до 0,75% в варианте с использованием 240 т/га ОСВ. В корнеплодах с увеличением дозы применения ОСВ содержание кальция, магния и фосфора устойчиво возрастает, а калия – уменьшается. Увеличение отношений кальция и магния к калию свидетельствует об ухудшении, как столовых качеств, так и длительности хранения корнеплодов моркови. Именно калий отвечает за накопление сахаров в корнеплодах и обеспечивает тургор клеток.

Содержание фосфора в моркови в вариантах с использованием ОСВ повысилось, что повышает его кормовую ценность в мясном животноводстве.

**Выводы.** Анализ полученных данных свидетельствует о том, что при однократном внесении в почву в качестве удобрения осадков сточных вод влажностью 44,5% в количестве 30, 60, 120 и 240 т/га валовое содержание тяжелых металлов в системе «почва – растение» закономерно возрастало, но превышений ориентировочно-допустимых концентраций не установили.

Миграция тяжелых металлов в системе «почва – растение» характеризуется повышением их валового содержания в почве и биомассе растений, большая концентрация наблюдается в листьях.

Выявлено, что использование ОСВ в качестве удобрения повлияло на содержание в продукции сухого вещества, золы, химических элементов и с увеличением дозы применения ОСВ содержание кальция, магния и фосфора устойчиво возрастает, а калия – уменьшается, что свидетельствует об ухудшении, как столовых качеств, так и длительности хранения корнеплодов моркови.

### Литература

1. Васильев, О. А. Химический состав осадков сточных вод г. Чебоксары и влияние его на содержание тяжелых металлов в почвах Чувашской Республики / О. А. Васильев // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н. И. Вавилова. – 2006. – № 1. – С. 9-13.
2. Васильев, О. А. Современный этап развития ноосферы: научно обоснованный возврат в биологический круговорот осадков городских сточных вод / О. А. Васильев, Л. Н. Михайлов. – Чебоксары : Пегас, 2007. – 205 с. – ISBN 5-91225-005-9.
3. Влияние осадка сточных вод на урожайность сена овса при биологической рекультивации полигона твердых коммунальных отходов / Ю. В. Чепрунова, А. В. Тиньгаев, Р. П. Воробьева [и др.] // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2019. – № 12(182). – С. 50-56.
4. Изменение агрохимических свойств солонцовых почв при внесении осадков сточных вод / В. В. Зуев, Е. П. Денисов, В. В. Маевский, И. С. Полетаев // Аграрный научный журнал. – 2017. – № 12. – С. 28-31.

5. Касынкина, О. М. Влияние осадков городских сточных вод на продуктивность яровой тритикале / О. М. Касынкина, Е. Н. Кузин // Нива Поволжья. – 2019. – № 3(52). – С. 106-110.
6. Мерзлая, Г. Е. Решение проблемы утилизации осадков городских сточных вод / Г. Е. Мерзлая, Р. А. Афанасьев // Химическая безопасность. – 2017. – Т. 1, № 1. – С. 158-167. – DOI 10.25514/CHS.2017.1.11441.
7. Щипцова, Н. В. Использование осадков городских сточных вод в качестве удобрения / Н. В. Щипцова, Г. А. Ларионов, Н. В. Мардарьева // Вестник Чувашского государственного аграрного университета. – 2022. – № 1(20). – С. 32-37. – DOI 10.48612/vch/5653-nu3k-tu1a.
8. The effectiveness of the use of alternative fertilizers in the conditions of the Chuvash Republic / O. A. Vasilyev, A. N. Ilyin, I. N. Nursov [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science : International AgroScience Conference, AgroScience 2019, Cheboksary, 01–02 июня 2019 года. Vol. 433. – Cheboksary: Institute of Physics Publishing, 2020. – P. 012050. – DOI 10.1088/1755-1315/433/1/012050.
9. Assessing metal contamination and speciation in sewage sludge: implications for soil application and environmental risk / J. Feng, Ia. T. Burke, X. Chen, D. I. Stewart // Reviews in Environmental Science and Biotechnology. – 2023. – Vol. 22, No. 4. – P. 1037-1058. – DOI 10.1007/s11157-023-09675-y.
10. Sewage sludge derived biochar and its potential for sustainable environment in circular economy: Advantages and challenges / R. Khan, S. Shukla, M. Kumar [et al.] // Chemical Engineering Journal. – 2023. – Vol. 471. – P. 144495. – DOI 10.1016/j.cej.2023.144495.
11. Effect of Sewage Sludge on Heavy Metals Accumulation in Soil and Wheat, Mung Bean and Quinoa Crops / S. A. Salim, S. A. Alkubaisy, I. K. H. Al-Hadiethy, I. A. Abed // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Erbil, Kurdistan, 24–25 марта 2021 года. – Erbil, Kurdistan, 2021. – P. 012013. – DOI 10.1088/1755-1315/761/1/012013.

#### **Сведения об авторах**

1. **Щипцова Надежда Варсонофьевна**, кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры биотехнологий и переработки сельскохозяйственной продукции, Чувашский государственный аграрный университет, 428003, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, 29, Чувашская Республика, Россия; e-mail: snipnavars@mail.ru, тел.+7-927-995-07-11.
2. **Мардарьева Наталия Валерьевна**, кандидат биологических наук, доцент, заведующий кафедрой биотехнологий и переработки сельскохозяйственной продукции, Чувашский государственный аграрный университет, 428003, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, 29, Чувашская Республика, Россия; e-mail: volga480@yandex.ru, тел. +7-927-841-12-21.
3. **Иванова Раиса Николаевна**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры биотехнологий и переработки сельскохозяйственной продукции, Чувашский государственный аграрный университет, 428003, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, 29, Чувашская Республика, Россия; e-mail: raisanikolaevn@mail.ru, тел. +7-917-661-29-10.

#### **«SOIL – PLANT» SYSTEM WHEN USING SEWAGE SLUDGE**

N. V. Schiptsova, N. V. Mardareva, R. N. Ivanova  
Chuvash State Agrarian University  
428003, Cheboksary, Russian Federation

**Abstract.** Rapid population growth and the resulting increase in waste has become a matter of concern throughout the world. The total amount of sewage sludge produced is increasing from year to year due to increasing urbanization, and the issue of using sewage sludge remains relevant due to its large quantity. This article presents the results of studies of the content of chemical elements in the «soil – plant» system when different doses of sewage sludge are added to the soil. Rich in organic and inorganic plant nutrients, sewage sludge can replace fertilizer, but the presence of potentially toxic metals often limits its use. The paper presents theoretical calculations of the maximum possible one-time dose of sewage sludge into the soil according to the limiting indicator of the concentration of heavy metals, their natural increase is established, but no excess of approximately permissible concentrations has been identified. Heavy metals are one of the important factors affecting the final disposal of sewage sludge. The concentration coefficients of chemical substances were calculated and the degree of soil contamination with heavy metals was assessed. It has been established that the soils belong to the category of permissible pollution, with the possibility of being used for any agricultural purpose. In the biomass of root crops, the content of dry matter, ash, macroelements and heavy metals was studied; it was revealed that when sewage sludge is used as a fertilizer, the content of dry matter and potassium, with an increase in the dose of sewage sludge, decreases slightly, and the content of ash, calcium, magnesium and phosphorus increases, and the dynamics of migration of heavy metals into plant biomass correlates with an increase in their concentration in the soil. At the same time, it was established that in the photosynthetic part the accumulation of chemical elements occurs more intensely, but excesses of standard indicators were not detected in the studied samples.

**Keywords:** agriculture, macroelements, root crops, chemical concentration coefficient, heavy metals, sewage sludge.

#### References

1. Vasiliev, O. A. Chemical composition of sewage sludge in the city of Cheboksary and its influence on the content of heavy metals in the soils of the Chuvash Republic / O. A. Vasiliev // Bulletin of the Saratov State Agrarian University named after. N.I. Vavilova. – 2006. – No. 1. – P. 9-13.
2. Vasiliev, O. A. The current stage of development of the noosphere: a scientifically based return to the biological cycle of urban wastewater sediments / O. A. Vasiliev, L. N. Mikhailov. – Cheboksary: Pegasus, 2007. – 205 p. – ISBN 5-91225-005-9.
3. The influence of sewage sludge on the yield of oat hay during biological reclamation of a solid municipal waste landfill / Yu. V. Cheprunova, A. V. Tingaev, R. P. Vorobyova [etc.] // Bulletin of the Altai State Agrarian University. – 2019. – No. 12(182). – P. 50-56.
4. Changes in the agrochemical properties of solonchic soils when applying sewage sludge / V.V. Zuev, E.P. Denisov, V.V. Mayevsky, I.S. Poletaev // Agricultural Scientific Journal. – 2017. – No. 12. – P. 28-31.
5. Kasynkina, O. M. The influence of urban wastewater sediments on the productivity of spring triticale / O. M. Kasynkina, E. N. Kuzin // Niva Povolzhya. – 2019. – No. 3(52). – pp. 106-110.
6. Merzlaya, G. E. Solution to the problem of recycling urban wastewater sludge / G. E. Merzlaya, R. A. Afanasyev // Chemical safety. – 2017. – T. 1, No. 1. – P. 158-167. – DOI 10.25514/CHS.2017.1.11441.
7. Schiptsova, N.V. Use of urban wastewater sludge as a fertilizer / N.V. Schiptsova, G.A. Larionov, N.V. Mardaryeva // Bulletin of the Chuvash State Agrarian University. – 2022. – No. 1(20). – pp. 32-37. – DOI 10.48612/vch/5653-nu3k-tula.
8. The effectiveness of the use of alternative fertilizers in the conditions of the Chuvash Republic / O. A. Vasilyev, A. N. Ilyin, I. N. Nursov [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science : International AgroScience Conference, AgroScience 2019, Cheboksary, 01–02 июня 2019 года. Vol. 433. – Cheboksary: Institute of Physics Publishing, 2020. – P. 012050. – DOI 10.1088/1755-1315/433/1/012050.
9. Assessing metal contamination and speciation in sewage sludge: implications for soil application and environmental risk / J. Feng, Ia. T. Burke, X. Chen, D. I. Stewart // Reviews in Environmental Science and Biotechnology. – 2023. – Vol. 22, No. 4. – P. 1037-1058. – DOI 10.1007/s11157-023-09675-y. – EDN WQLLYI.
10. Sewage sludge derived biochar and its potential for sustainable environment in circular economy: Advantages and challenges / R. Khan, S. Shukla, M. Kumar [et al.] // Chemical Engineering Journal. – 2023. – Vol. 471. – P. 144495. – DOI 10.1016/j.cej.2023.144495.
11. Effect of Sewage Sludge on Heavy Metals Accumulation in Soil and Wheat, Mung Bean and Quinoa Crops / S. A. Salim, S. A. Alkubaisy, I. K. H. Al-Hadiethy, I. A. Abed // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Erbil, Kurdistan, 24–25 марта 2021 года. – Erbil, Kurdistan, 2021. – P. 012013. – DOI 10.1088/1755-1315/761/1/012013.

#### Information about authors

1. **Schiptsova Nadezhda Varsonofievna**, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Biotechnology and Agricultural Products Processing, Chuvash State Agrarian University, 428003, Cheboksary, K. Marx str., 29, Chuvash Republic, Russia; e-mail: snipnavars@mail.ru, тел. +7-927-995-07-11.
2. **Mardareva Natalia Valerievna**, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Biotechnology and Agricultural Products Processing, Chuvash State Agrarian University, 428003, Cheboksary, K. Marx str., 29, Chuvash Republic, Russia; e-mail: volga480@yandex.ru, тел. +7-927-841-12-21.
3. **Ivanova Raisa Nikolaevna**, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Biotechnology and Agricultural Products Processing, Chuvash State Agrarian University, 428003, Cheboksary, K. Marx str., 29, Chuvash Republic, Russia; e-mail: raisanikolaevn@mail.ru, тел. +7-917-661-29-10.