

Применение удобрительных смесей на основе осадков сточных вод и цеолита в агроценозах масличных культур

© 2023. Д. В. Виноградов^{1,2}, д. б. н., зав. кафедрой,
М. П. Макарова¹, к. б. н., ст. преподаватель,
Т. В. Зубкова³, к. с.-х. н., зав. кафедрой,

¹Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева,
390044, Россия, г. Рязань, ул. Костычева, д. 1,

²Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,
119991, Россия, г. Москва, ул. Колмогорова, д. 1,

³Елецкий государственный университет им. И. А. Бунина,
399770, Россия, г. Елец, ул. Коммунаров, д. 28,

e-mail: vdvrzn@mail.ru, assistent_84@mail.ru, zubkovatanua@yandex.ru

В статье представлены результаты исследований, посвящённых изучению действия удобрительных смесей на основе осадка сточных вод (ОСВ) и цеолита в агроценозах масличных культур (ярового рапса сорта Ратник и подсолнечника сорта Посейдон 625). Применение удобрительных смесей на основе ОСВ и цеолита активизировало развитие листового аппарата и генеративных органов. В агроценозах ярового рапса количество стручков на одном растении увеличилось с 16,9 до 22,4 и количество семян с 196 до 326. В вариантах с удобрительными смесями урожай ярового рапса составлял 1,31–1,49 т/га с прибавкой к контролю 17,1–41,9%. При использовании удобрительных смесей в агроценозах подсолнечника с одной корзинки было получено 1194–1247 семян, что на 17,6–22,9% больше, чем в контроле. Урожайность маслосемян составила 2,37–2,68 т/га. Наибольшая продуктивность масличных культур отмечалась в варианте при внесении ОСВ и цеолита в соотношении 1 : 0,75. Важным агроэкологическим приёмом, снижающим негативное воздействие тяжёлых металлов, содержащихся в ОСВ, является применение цеолита – природного сорбента, обладающего высокой ёмкостью катионного обмена. Применение удобрительных смесей на основе ОСВ и цеолита привело к уменьшению накопления тяжёлых металлов в растительной продукции. Суммарный коэффициент загрязнения уменьшился на 0,11–0,41 ед. в вариантах с яровым рапсом, на 0,10–0,47 ед. – в вариантах с подсолнечником.

Ключевые слова: яровой рапс, подсолнечник, осадок сточных вод, цеолит.

The use of fertilizer mixtures based on sewage sludge and zeolite in oilseed agrocenoses

© 2023. D. V. Vinogradov^{1,2} ORCID: 0000-0003-2017-1491¹

M. P. Makarova¹ ORCID: 0000-0001-9007-5273²

T. V. Zubkova³ ORCID: 0000-0003-3525-488X³

¹Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev,
1, Kostycheva St., Ryazan, Russia, 390044,

²Lomonosov Moscow State University,
1, Kolmogorova St., Moscow, Russia, 119991,

³Yelets State University named after I. A. Bunin,
28, Kommunarov St., Yelets, Russia, 399770,

e-mail: vdvrzn@mail.ru, assistent_84@mail.ru, zubkovatanua@yandex.ru

The article presents the results of research devoted to the study of the effect of fertilizer mixtures based on sewage sludge and zeolite in agrocenoses of oil crops (spring rapeseed variety Ratnik and sunflower variety Poseidon 625). The use of fertilizer mixtures based on sewage sludge and zeolite has intensified the development of the leaf apparatus and generative organs. In spring rape agrocenoses, the number of pods per plant increased from 16.9 to 22.4 and the number of seeds from 196 to 326. In variants with fertilizer mixtures, the productivity of agrocenoses of spring rapeseed was 1.31–1.49 t/ha (plus 17.1–41.9% of the control). When using fertilizer mixtures in sunflower agrocenoses, 1194–1247 seeds were obtained from one basket, which is 17.6–22.9% more than in the control. The yield of oilseeds was 2.37–2.68 t/ha. The highest productivity of oilseeds was noted in the variant with the introduction of sewage sludge and zeolite in a ratio of 1 : 0.75. An important agroecological technique that reduces the negative impact of heavy metals

contained in sewage sludge is the use of zeolite, a natural sorbent with a high cation exchange capacity. The use of fertilizer mixtures based on sewage sludge and zeolite led to a decrease in the accumulation of heavy metals in plant products. The total pollution factor decreased by 0.11–0.41 units in variants with spring rape, by 0.10–0.47 units in variants with sunflower. As a result of the studies, conclusions were drawn about the possibility of using fertilizer mixtures consisting of sewage sludge and zeolite in agrocenoses of oilseeds (spring rapeseed and sunflower), provided that the obtained seeds are used for technical purposes.

Keywords: spring rapeseed, sunflower, sewage sludge, zeolite.

Вопросы утилизации осадков бытовых и промышленных сточных вод в настоящее время актуальны для всех регионов России. Хранение осадков сточных вод (ОСВ) на иловых площадках приводит к формированию крупных очагов загрязнения на территориях, прилегающих к очистным сооружениям, что является серьёзной экологической проблемой [1–3]. Отечественные и зарубежные авторы отмечают, что при условии незначительного содержания в ОСВ соединений тяжёлых металлов (ТМ) перспективным способом их утилизации является использование в качестве органоминеральных удобрений [4–8]. В настоящее время в России в качестве удобрений используют только 4–6% образующихся осадков. Для оптимизации параметров применения ОСВ в сельскохозяйственном производстве необходимо проведение многосторонней оценки эффективности и экологической безопасности действия осадка на компоненты агроценозов.

Одним из агроэкологических приёмов, позволяющих применять ОСВ в качестве удобрений, является их совместное использование с природным мелиорантом – цеолитом, обладающим высокой пористостью и ёмкостью катионного обмена [4, 9].

С целью снижения содержания различных поллютантов, поступающих в почву в результате антропогенного загрязнения, всё чаще используют методы фиторемедиации – выращивают специальные растения, поглощающие и аккумулирующие ионы ТМ. Так как уровень накопления ТМ в репродуктивных органах растений ниже, чем в вегетативных, использование в фиторемедиации сельскохозяйственных культур способствует отчуждению загрязняющих элементов с урожаем и снижению содержания их малоподвижных форм в почве [10–14].

В связи с возможностью производства растительных масел на технические цели выращивание масличных культур в качестве фитомелиоранта имеет важное практическое значение.

Цель исследований заключалась в оценке влияния удобрительных смесей на основе осадка сточных вод и цеолита на фотосинтези-

ческие параметры, продуктивность и элементы структуры урожая масличных культур, а также уровень химического загрязнения почв и получаемой продукции.

Объекты и методы исследований

Исследования проводили в 2008–2018 гг. на агротехнологической опытной станции ФГБОУ ВО РГАТУ, расположенной в Рязанском районе Рязанской области, в агроценозах ярового рапса (*Brassica napus*) сорта Ратник и подсолнечника (*Helianthus annuus*) сорта Посейдон 625 [15]. Площадь опытной делянки – 50 м², учётная площадь – 42 м², повторность – четырёхкратная.

Агрохимические свойства почв опытного участка: содержание гумуса (по Тюрину) – 3,6–3,8%, подвижного фосфора (по Кирсанову) – 169–174 мг/кг почвы, калия – 132–138 мг/кг почвы, обменная кислотность (вытяжка KCl) – 5,7–5,8.

В качестве основы для удобрительных смесей использовали ОСВ с очистных сооружений г. Рязани, соответствующие по агрохимическим, токсикологическим, санитарным параметрам ГОСТ Р 17.4.3.07-2001, и цеолит Хотынецкого месторождения Орловской области, характеризующийся щелочной реакцией среды (рН 8,3), высоким содержанием фосфора (1,93%) и калия (4,32%) (табл. 1) [16].

Варианты опыта: 1 – контроль (без удобрений); 2 – ОСВ (в дозе 9 т/га); 3 – удобрение-1 (1 ОСВ : 0,25 цеолит); 4 – удобрение-2 (1 ОСВ : 0,5 цеолит); 5 – удобрение-3 (1 ОСВ : 0,75 цеолит); 6 – удобрение-4 (1 ОСВ : 1 цеолит).

Агротехнические работы осуществляли в соответствии с зональными рекомендациями для Нечернозёмной зоны России. В опыте были проведены исследования морфологических и агробиологических особенностей роста и развития растений ярового рапса и подсолнечника по [17]. Площадь листовой поверхности определяли методом отпечатков в фазу цветения [18, 19]. Математическую обработку данных осуществляли по [20].

Таблица 1 / Table 1

Агрохимическая характеристика осадков сточных вод
Agrochemical characterization of sewage sludge

Показатель Indicator	Содержание в осадках сточных вод Content in sewage sludge	ГОСТ Р 17.4.3.07-2001 GOST R 17.4.3.07-2001
Влажность, % / Humidity, %	68,0±0,5	≤ 82,0
pH _{сол.} / pH _{sol.}	8,2±0,1	5,50–8,50
C _{опр.} , % на сухое вещество C _{орг.} , % dry matter	74,0±0,8	≥ 20,0
Азот общий, % на сухое вещество Nitrogen total, % dry matter	1,74±0,10	≥ 0,6
Фосфор общий, % на сухое вещество Phosphorus total, % dry matter	1,60±0,10	≥ 1,5
Калий общий, % на сухое вещество Potassium total, % dry matter	0,33±0,05	n/n n/n

Примечание: n/n – показатель не нормирован ГОСТ Р 17.4.3.07-2001.
Note: n/n – indicator is not standardized by GOST R 17.4.3.07-2001.

Результаты и обсуждение

В результате проведённых исследований было установлено, что применение изучаемых удобрительных смесей, а также ОСВ в чистом виде в агроценозах масличных культур способствовало более интенсивному развитию листового аппарата (рис.).

Наблюдения за динамикой образования листовой поверхности растений масличных культур показали медленный темп этого процесса в начале вегетации (4–5%). В фазу цветения площадь листьев достигла максимальных значений. На последующих этапах развития за счёт подсыхания нижних листьев данный показатель постепенно уменьшался.

Так, в фазу цветения максимальная площадь ассимиляционной поверхности достигла в агроценозах ярового рапса – 10,4–22,1 тыс. м²/га, в агроценозах подсолнечника – 15,6–31,5 тыс. м²/га. В зависимости от применяемого удобрения прибавка к контролю составила 56,7–112,5 и 48,1–101,9% соответственно.

Обобщающим показателем фотосинтетической деятельности растений, определяющим эффективность применяемых удобрений, является фотосинтетический потенциал. У ярового рапса он изменялся в зависимости от применяемых удобрительных смесей от 0,92 до 2,19 млн м²·сут/га, у подсолнечника – от 0,96 до 1,47 млн м²·сут/га.

Поскольку продолжительность фотосинтеза у листьев и величина их ассимиляционной поверхности определяют формирование генеративных органов, а, следовательно, и урожай, в опыте было изучено влияние применяемых

удобрений на элементы структуры урожая и продуктивность растений (табл. 2).

Так, в агроценозах ярового рапса в варианте с чистым осадком было сформировано 17,8 продуктивных стручков на одном растении, в вариантах с удобрительными смесями – по 18,5–22,4 стручков, что составило увеличение на 9,9–38,3% к контролю. В опытных вариантах было получено от 260 семян с одного растения при внесении ОСВ в чистом виде до 326 семян при внесении осадка и цеолита в соотношении 1 : 0,75. Масса 1000 семян составила 3,35–3,58 г.

В агроценозах ярового рапса в контрольном варианте была получена средняя урожайность 1,05 т/га. Применение удобрительных смесей на основе ОСВ и цеолита способствовало повышению продуктивности растений ярового рапса на 17,1–41,9%.

В вариантах с использованием удобрительных смесей под подсолнечник среднее количество семян с одной корзинки составило 1194–1247 штук, превысив контроль на 17,6–22,9%. Масса 1000 семян в опытных вариантах составила 49,9–52,0 г. Наибольший урожай маслосемян 2,68 т/га был получен при внесении осадка и цеолита в соотношении 1 : 0,75.

Применение ОСВ в чистом виде привело к незначительному увеличению содержания ТМ в почве опытного участка (табл. 3).

Коэффициенты концентрации поллютантов, представляющие собой отношение содержания химического элемента в опытном варианте к его содержанию в контроле, соответствовали минимальному уровню загрязнения (больше 1,0, но меньше 2,0). Суммарный коэффициент загрязнения в вариантах с чи-

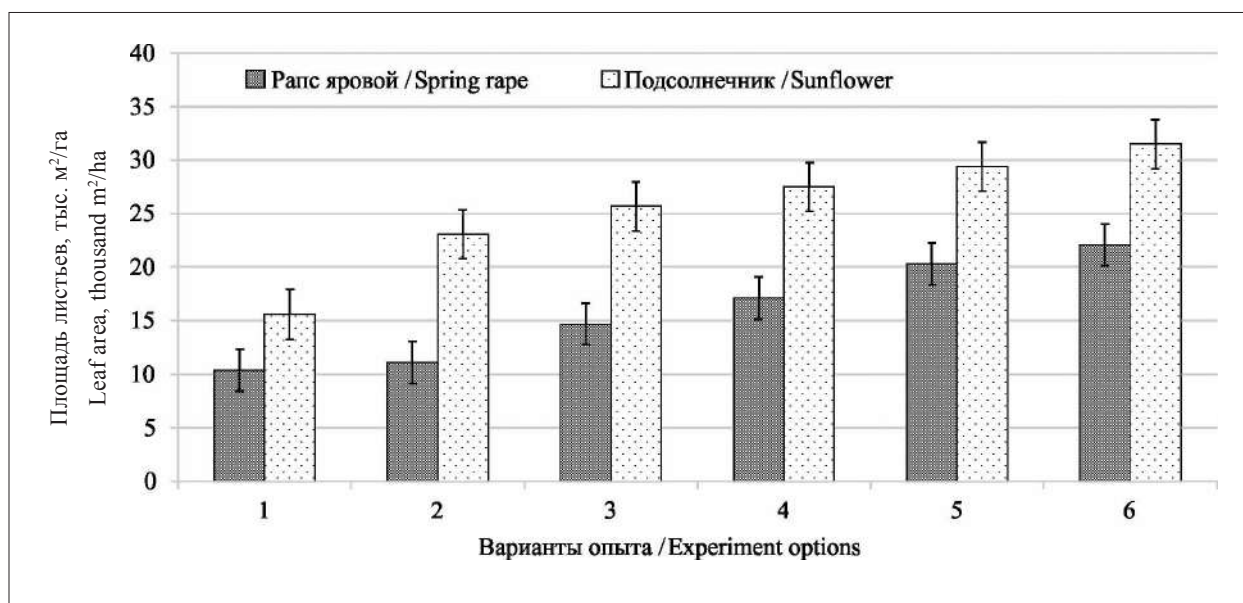


Рис. Влияние удобрительных смесей на основе ОСВ и цеолита на площадь ассимиляционной поверхности растений масличных культур. Условные обозначения: 1 – контроль (без удобрений), 2 – ОСВ (в дозе 9 т/га), 3 – удобрение-1 (1 ОСВ : 0,25 цеолит), 4 – удобрение-2 (1 ОСВ : 0,5 цеолит), 5 – удобрение-3 (1 ОСВ : 0,75 цеолит), 6 – удобрение-4 (1 ОСВ : 1 цеолит)

Fig. Influence of fertilizer mixtures based on sewage sludge and zeolite on the area of the assimilation surface of oilseed plants. Legend: 1 – control (no fertilizer), 2 – sewage sludge (at a dose of 9 t/ha), 3 – fertilizer-1 (1 sewage sludge : 0.25 zeolite), 4 – fertilizer-2 (1 sewage sludge : 0.5 zeolite), 5 – fertilizer-3 (1 sewage sludge : 0.75 zeolite), 6 – fertilizer-4 (1 sewage sludge : 1 zeolite)

Таблица 2 / Table 2

Влияние удобрительных смесей на основе ОСВ и цеолита на элементы структуры урожая и продуктивность масличных культур / Influence of fertilizer mixtures based on sewage sludge and zeolite on the elements of the crop structure and the productivity of oilseeds

Вариант Option	Количество семян, шт./растение Number of seeds on 1 plant, pieces	Масса 1000 семян, г The mass of 1000 seeds, g	Средняя урожайность, т/га Average productivity, t/ha
Рапс яровой / Spring rape			
Контроль / Control	200±40	3,35±0,29	1,05±0,12
ОСВ / Sewage sludge	260±31	3,43±0,25	1,23±0,07
Удобрение-1 / Fertilizer-1	277±36	3,46±0,23	1,31±0,11
Удобрение-2 / Fertilizer-2	290±40	3,51±0,26	1,39±0,15
Удобрение-3 / Fertilizer-3	330±40	3,58±0,24	1,49±0,10
Удобрение-4 / Fertilizer-4	285±36	3,58±0,23	1,41±0,08
Подсолнечник / Sunflower			
Контроль / Control	1015±13	45,2±0,23	2,16±0,06
ОСВ / Sewage sludge	1194±13	49,9±0,21	2,31±0,10
Удобрение-1 / Fertilizer-1	1209±11	51,4±0,18	2,37±0,08
Удобрение-2 / Fertilizer-2	1224±13	51,6±0,12	2,48±0,06
Удобрение-3 / Fertilizer-3	1247±8	52,0±0,20	2,68±0,07
Удобрение-4 / Fertilizer-4	1238±8	51,8±0,21	2,50±0,05

Таблица 3 / Table 3

Влияние удобрительных смесей на основе ОСВ и цеолита на уровень загрязнения почвы опытного участка / Influence of fertilizer mixtures based on sewage sludge and zeolite on the level of soil contamination in the experimental area

Вариант Option	Zn	Cu	Pb	Cd	Cr	Ni	Коэффициент Z_c Coefficient Z_c
Яровой рапс / Spring rapeseed							
Контроль Control	<u>25.9</u> 1,00	<u>16.4</u> 1,00	<u>10.1</u> 1,00	<u>0.25</u> 1,00	<u>16.3</u> 1,00	<u>7.1</u> 1,00	1,00
ОСВ Sewage sludge	<u>34.3</u> 1,32	<u>22.5</u> 1,37	<u>11.3</u> 1,12	<u>0.32</u> 1,28	<u>25.4</u> 1,56	<u>9.4</u> 1,32	2,97
Удобрение-1 Fertilizer-1	<u>33.0</u> 1,27	<u>21.9</u> 1,34	<u>11.1</u> 1,10	<u>0.31</u> 1,24	<u>24.9</u> 1,53	<u>9.2</u> 1,30	2,78
Удобрение-2 Fertilizer-2	<u>31.7</u> 1,22	<u>20.7</u> 1,26	<u>11.0</u> 1,09	<u>0.30</u> 1,20	<u>24.0</u> 1,47	<u>8.8</u> 1,24	2,48
Удобрение-3 Fertilizer-3	<u>30.9</u> 1,19	<u>19.5</u> 1,19	<u>10.8</u> 1,07	<u>0.28</u> 1,12	<u>22.7</u> 1,39	<u>8.5</u> 1,20	2,16
Удобрение-4 Fertilizer-4	<u>29.5</u> 1,14	<u>19.0</u> 1,16	<u>11.0</u> 1,09	<u>0.29</u> 1,16	<u>22.5</u> 1,38	<u>8.4</u> 1,18	2,11
Подсолнечник / Sunflower							
Контроль Control	<u>25.4</u> 1,00	<u>16.6</u> 1,00	<u>10.1</u> 1,00	<u>0.25</u> 1,00	<u>16.3</u> 1,00	<u>7.2</u> 1,00	1,00
ОСВ Sewage sludge	<u>35.0</u> 1,38	<u>20.5</u> 1,23	<u>10.9</u> 1,08	<u>0.30</u> 1,20	<u>25.7</u> 1,58	<u>9.6</u> 1,33	2,80
Удобрение-1 Fertilizer-1	<u>34.1</u> 1,34	<u>19.9</u> 1,20	<u>10.6</u> 1,05	<u>0.28</u> 1,12	<u>24.7</u> 1,52	<u>9.5</u> 1,32	2,55
Удобрение-2 Fertilizer-2	<u>33.7</u> 1,33	<u>18.7</u> 1,13	<u>10.5</u> 1,04	<u>0.28</u> 1,12	<u>24.7</u> 1,52	<u>8.8</u> 1,22	2,36
Удобрение-3 Fertilizer-3	<u>32.9</u> 1,30	<u>17.5</u> 1,05	<u>10.4</u> 1,03	<u>0.26</u> 1,04	<u>22.7</u> 1,39	<u>8.5</u> 1,18	1,99
Удобрение-4 Fertilizer-4	<u>30.5</u> 1,20	<u>16.9</u> 1,02	<u>10.3</u> 1,02	<u>0.26</u> 1,04	<u>22.5</u> 1,38	<u>8.4</u> 1,17	1,83

Примечание: в числителе – валовое содержание, мг/кг; в знаменателе – коэффициент концентрации (K_c).
Note: the numerator is gross content, mg/kg; the denominator is concentration factor (K_c).

стым осадком составил 2,97 ед. в агроценозах ярового рапса и 2,80 ед. в агроценозах подсолнечника. При внесении удобрительных смесей значение данного показателя снизилось до 2,11–2,78 ед. и 1,83–2,55 ед. соответственно в сельскохозяйственной культуре. Следует отметить, что содержание в почве соединений ТМ находилось в прямой зависимости от дозы мелиоранта в удобрительной смеси.

Проведённый химический анализ маслосемян ярового рапса показал, что добавление к осадку цеолита способствовало снижению содержания цинка и никеля на 8,8%, меди – на 11,5%, хрома – до уровня контроля. Коэффициенты концентрации ТМ составили в вариантах с удобрительными смесями 1,00–1,30, в варианте с ОСВ – 1,05–1,35 (табл. 4).

Наибольшие значения коэффициента концентрации в маслосеменах ярового рапса отмечали по меди, свинцу, цинку и никелю.

В среднем по данному показателю при применении ОСВ в чистом виде был выделен следующий убывающий ряд: $Cu > Zn, Ni > Pb > Cd > Cr$, при применении удобрительных смесей на основе ОСВ и цеолита: $Cu > Pb > Zn, Ni, Cd > Cr$. Коэффициент Z_c уменьшился с 1,89 ед. в варианте с чистым осадком до 1,48 ед. в варианте с максимальной дозой цеолита в удобрительной смеси.

Уровень загрязнения семян подсолнечника был несколько выше, чем семян ярового рапса – коэффициент Z_c составил 1,99 в варианте с ОСВ, 1,52–1,89 – в вариантах с удобрительными смесями.

Заключение

В работе изучено влияние удобрительных смесей, состоящих из ОСВ и цеолита, на биометрические и фотосинтетические показатели

Таблица 4 / Table 4

Влияние удобрительных смесей на основе ОСВ и цеолита на уровень загрязнения семян масличных культур / Influence of fertilizer mixtures based on sewage sludge and zeolite on the level of contamination of oilseeds

Вариант Option	Коэффициент концентрации (K_c) Concentration factor (K_c)						Коэффициент Z_c Coefficient Z_c
	Zn	Cu	Pb	Cd	Cr	Ni	
Яровой рапс / Spring rapeseed							
Контроль Control	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
ОСВ Sewage sludge	1,15	1,35	1,12	1,07	1,05	1,15	1,89
Удобрение-1 Fertilizer-1	1,12	1,30	1,12	1,07	1,05	1,12	1,78
Удобрение-2 Fertilizer-2	1,08	1,25	1,12	1,07	1,02	1,10	1,64
Удобрение-3 Fertilizer-3	1,05	1,22	1,12	1,07	1,00	1,05	1,51
Удобрение-4 Fertilizer-4	1,05	1,19	1,12	1,07	1,00	1,05	1,48
Подсолнечник / Sunflower							
Контроль Control	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
ОСВ Sewage sludge	1,08	1,47	1,24	1,05	1,03	1,12	1,99
Удобрение-1 Fertilizer-1	1,07	1,45	1,22	1,02	1,02	1,11	1,89
Удобрение-2 Fertilizer-2	1,05	1,41	1,20	1,02	1,01	1,08	1,77
Удобрение-3 Fertilizer-3	1,03	1,35	1,17	1,02	1,00	1,06	1,63
Удобрение-4 Fertilizer-4	1,02	1,31	1,15	1,01	1,00	1,03	1,52

растений наиболее распространённых в Рязанской области масличных культур: ярового рапса и подсолнечника. Установлено, что применение удобрительных смесей привело к увеличению площади листового аппарата, что положительно отразилось на продуктивности агроценозов масличных культур. Урожайность маслосемян ярового рапса превысила контроль на 0,26–0,44 т/га, подсолнечника – на 0,21–0,52 т/га. Наибольшее положительное действие оказала удобрительная смесь ОСВ и цеолита в соотношении 1 : 0,75.

При использовании ОСВ в качестве компонента удобрительных смесей в агроценозах масличных культур важным агроэкологическим приёмом, снижающим токсический эффект ТМ, содержащихся в ОСВ, является применение природного сорбента – цеолита, обладающего высокой ёмкостью катионного обмена. Суммарный коэффициент загрязнения Z_c уменьшился на 0,11–0,41 ед.

в вариантах с яровым рапсом, на 0,10–0,47 ед. в вариантах с подсолнечником. При этом максимальная доза мелиоранта была наиболее эффективной.

Таким образом, внесение ОСВ совместно с цеолитом позволило использовать отходы, содержащие большое количество биогенных элементов, в сельскохозяйственном производстве. При утилизации ОСВ в качестве альтернативного приёма фиторемедиации возможно выращивание масличных культур (ярового рапса, подсолнечника) при условии использования маслосемян на технические цели.

Литература

1. Kohnová S., Rončák P., Hlavčová K., Szolgay J., Rutkowska A. Future impacts of land use and climate change on extreme runoff values in selected catchments of Slovakia // *Meteorology Hydrology and Water Management*. 2019. V. 7. No. 1. P. 47–55.

2. Kuchar L., Tiukało A. Impact of environmental issues on research society and topic distribution in academic interest of Wrocław (Poland) – on the 5th anniversary of the environmental seminar on meteorology, hydrology and water management // *Meteorology Hydrology and Water Management*. 2018. V. 6. No. 2. P. 79–83.

3. Щур А.В., Виноградов Д.В., Валько В.П. Влияние различных уровней агроэкологических нагрузок на биохимические характеристики почвы // *Юг России: экология, развитие*. 2016. Т. 11. № 4. С. 139–148.

4. Виноградов Д.В., Василева В.М., Макарова М.П., Кочуров Б.И., Лупова Е.И. Агроэкологическое действие осадка сточных вод и его смесей с цеолитом на агроценозы масличных культур // *Теоретическая и прикладная экология*. 2019. № 3. С. 127–133.

5. Хабарова Т.В., Виноградов Д.В., Кочуров Б.И., Левин В.И., Бышов Н.В. Агроэкологическая эффективность использования осадка сточных вод и вермикомпостов в агроценозе овса посевного // *Юг России: экология, развитие*. 2018. Т. 13. № 2. С. 132–143.

6. Yang M., Shi L., Xu F.S., Lu J.W., Wang Y.H. Effects of B, Mo, Zn, and their interactions on seed yield of rapeseed // *Pedosphere*. 2009. V. 19. No. 1. P. 53–59.

7. Arab R., Yadavi A., Balouchi H., Khademhamzeh H. The effect of irrigation interval and iron and zinc foliar application on some morpho-physiological characteristics and yield of sunflower // *Electronic Journal of Crop Production*. 2018. V. 11. No. 2. P. 77–90.

8. Nouraein M., Bakhtiarzadeh R., Janmohammadi M., Mohammadzadeh M., Sabaghnia N. The effects of micronutrient and organic fertilizers on yield and growth characteristics of sunflower (*Helianthus annuus* L.) // *Helia*. 2019. V. 42. No. 71. P. 249–264.

9. Chipera S.J., John A.A. Geochemical stability of natural zeolites // *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*. 2001. V. 45. No. 1. P. 117–161.

10. Vasileva V., Lupova E. The yield of spring bird rape (*Brassica campestris* L.) varieties according to the level of mineral nutrition // *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2021. V. 27. No. 4. P. 744–750.

11. Woźniak E., Waszkowska E., Zimny T., Sowa S., Twardowski T. The rapeseed potential in Poland and Germany in the context of production, legislation, and intellectual property rights // *Front. Plant Sci*. 2019. V. 10. Article No. 1423.

12. Zubkova T., Motyleva S., Dubrovina O., Brindza J. The study of rapeseeds ash composition in the conditions of the agroecological experiment // *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*. 2021. No. 15. P. 156–161.

13. Vasileva V. Aboveground to root biomass ratios in pea and vetch after treatment with organic fertilizer // *Global Journal of Environmental Science and Management (GJESM)*. 2015. V. 1. No. 2. P. 145–148.

14. Vinogradov D.V., Makarova M.P., Kryuchkov M.M. The use of mineral fertilizers in sunflower crops in the conditions of Ryazan Region // *IOP Conf. Series: Earth and*

Environmental Science. Series “International Conference on World Technological Trends in Agrobusiness”. 2021. V. 624. Article No. 012077.

15. Методика проведения полевых агротехнических опытов с масличными культурам / Под ред. В.М. Лукомца. Краснодар: ФНЦ ВНИИМК, 2010. 327 с.

16. ГОСТ Р 17.4.3.07-2001. Охрана Природы. Почвы. Требования к свойствам осадков сточных вод при использовании их в качестве удобрений. М.: Стандартинформ, 2008. 5 с.

17. Методика Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур / Под ред. М.А. Федина. М.: В.и., 1983. 184 с.

18. Lesny J., Kuchar L., Panfil M., Vinogradov D., Draganska E. Characteristic decrease in the value of rapeseed evapotranspiration after its ripening // *Agronomy*. 2021. V. 11. Article No. 2523.

19. Bakulina G., Fedoskin V., Pikushina M., Kukhar V., Kot E. Factor analysis models in enterprise costs management // *International Journal of Circuits, Systems and Signal Processing*. 2020. V. 14. P. 232–240.

20. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

References

1. Kohnová S., Rončák P., Hlavčová K., Szolgay J., Rutkowska A. Future impacts of land use and climate change on extreme runoff values in selected catchments of Slovakia // *Meteorology Hydrology and Water Management*. 2019. V. 7. No. 1. P. 47–55. doi: 10.26491/mhwm/97254

2. Kuchar L., Tiukało A. Impact of environmental issues on research society and topic distribution in academic interest of Wrocław (Poland) – on the 5th anniversary of the environmental seminar on meteorology, hydrology and water management // *Meteorology Hydrology and Water Management*. 2018. V. 6. No. 2. P. 79–83. doi: 10.26491/mhwm/92467

3. Shchur A.V., Vinogradov D.V., Valckho V.P. Effect of different levels agroecological loads on biochemical characteristics of soil // *South of Russia: Ecology, Development*. 2016. V. 11. No. 4. P. 139–148 (in Russian). doi: 10.18470/1992-1098-2016-4-139-148

4. Vinogradov D.V., Vasileva V.M., Makarova M.P., Kochurov B.I., Lupova E.I. Agroecological effect of sewage sludge and its mixtures with zeolite on agrocenoses of oilseeds // *Theoretical and Applied Ecology*. 2019. No. 3. P. 122–128 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2019-3-127-133

5. Khabarova T.V., Vinogradov D.V., Kochurov B.I., Levin V.I., Byshov N.V. Agroecological efficiency of sewage sludge and vermicompost in agrocenoses of cultivated oat // *South of Russia: Ecology, Development*. 2018. V. 13. No. 2. P. 132–143 (in Russian). doi: 10.18470/1992-1098-2018-2-132-143

6. Yang M., Shi L., Xu F.S., Lu J.W., Wang Y.H. Effects of B, Mo, Zn, and their interactions on seed yield of rapeseed // *Pedosphere*. 2009. V. 19. No. 1. P. 53–59. doi: 10.1016/S1002-0160(08)60083-1
7. Arab R., Yadavi A., Balouchi H., Khademhamzeh H. The effect of irrigation interval and iron and zinc foliar application on some morpho-physiological characteristics and yield of sunflower // *Electronic Journal of Crop Production*. 2018. V. 11. No. 2. P. 77–90. doi: 10.22069/EJCP.2018.12696.2018
8. Nouraein M., Bakhtiarzadeh R., Janmohammadi M., Mohammadzadeh M., Sabaghnia N. The effects of micronutrient and organic fertilizers on yield and growth characteristics of sunflower (*Helianthus annuus* L.) // *Helia*. 2019. V. 42. No. 71. P. 249–264. doi: 10.1515/helia-2019-0015
9. Chipera S.J., John A.A. Geochemical stability of natural zeolites // *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*. 2001. V. 45. No. 1. P. 117–161. doi: 10.2138/rmg.2001.45.3
10. Vasileva V., Lupova E. The yield of spring bird rape (*Brassica campestris* L.) varieties according to the level of mineral nutrition // *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2021. V. 27. No. 4. P. 744–750.
11. Woźniak E., Waszkowska E., Zimny T., Sowa S., Twardowski T. The rapeseed potential in Poland and Germany in the context of production, legislation, and intellectual property rights // *Front. Plant Sci*. 2019. V. 10. Article No. 1423. doi: 10.3389/fpls.2019.01423
12. Zubkova T., Motyleva S., Dubrovina O., Brindza J. The study of rapeseeds ash composition in the conditions of the agroecological experiment // *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*. 2021. No. 15. P. 156–161. doi: 10.5219/1356
13. Vasileva V. Aboveground to root biomass ratios in pea and vetch after treatment with organic fertilizer // *Global Journal of Environmental Science and Management (GJESM)*. 2015. V. 1. No. 2. P. 145–148. doi: 10.7508/GJESM.2015.02.006
14. Vinogradov D.V., Makarova M.P., Kryuchkov M.M. The use of mineral fertilizers in sunflower crops in the conditions of Ryazan region // *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. Series “International Conference on World Technological Trends in Agrobusiness”. 2021. V. 624. Article No. 012077. doi: 10.1088/1755-1315/624/1/012077
15. Methods of conducting field agrotechnical experiments with oilseeds / Ed. V.M. Lukomets. Krasnodar: FNTs VNIIMK, 2010. 327 p. (in Russian).
16. GOST R 17.4.3.07-2001. Nature protection. Soils. Requirements for the use of sewage sludge when using them in the quality of wastewater. Moskva: Standardinform, 2008. 5 p. (in Russian).
17. Methodology of the State Assortment of Agricultural Cultures / Ed. M.A. Fedin. Moskva: B.i., 1983. 184 p. (in Russian).
18. Lesny J., Kuchar L., Panfil M., Vinogradov D., Draganska E. Characteristic decrease in the value of rapeseed evapotranspiration after its ripening // *Agronomy*. 2021. V. 11. Article No. 2523. doi: 10.3390/agronomy11122523
19. Bakulina G., Fedoskin V., Pikushina M., Kukhar V., Kot E. Factor analysis models in enterprise costs management // *International Journal of Circuits, Systems and Signal Processing*. 2020. V. 14. P. 232–240.
20. Dospekhov B.A. Mid-range survey methodology (based on the statistical processing of the survey results). Moskva: Agropromizdat, 1985. 351 p. (in Russian).