

ВЛИЯНИЕ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД И ПРИЕМОВ ОСНОВНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ НА ДИНАМИКУ ЗАПАСОВ ВЛАГИ, ПРОДУКТИВНОСТЬ И КАЧЕСТВО СЕМЯН САФЛОРА КРАСИЛЬНОГО

А.С. Межевова, кандидат сельскохозяйственных наук

Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН
400062, Волгоград, просп. Университетский, 97
E-mail: asmezhevova@mail.ru

Цель исследований – изучение влияния осадков сточных вод и приемов основной обработки почвы на динамику запасов влаги, продуктивность и качество семян сафлора красильного. Работу проводили в 2016–2018 гг. в Волгоградской области на светло-каштановой солонцеватой тяжелосуглинистой почве с содержанием гумуса 1,7...1,8 %. Высевали сорт сафлора красильного Александрит. Осадок, образованный в процессе биологической очистки сточных вод, отличается повышенным содержанием органического вещества и элементов питания. Схема полевого двухфакторного опыта включала применение отвальной, дисковой и чизельной обработок почвы на фоне внесения осадка сточных вод в дозах 0, 5, 10 т/га. Использование в качестве органического удобрения осадка сточных вод в дозе 5 т/га приводило к увеличению запасов продуктивной влаги на фоне чизельной обработки почвы до 82,1 мм, 10 т/га – до 88,5 мм. Чизельная обработка почвы способствовала формированию наибольшей в опыте урожайности возделываемой культуры: при внесении 5 т/га осадка сточных вод – 1,42 т/га, 10 т/га – 1,51 т/га. При увеличении дозы осадка сточных вод до 10 т/га отмечено наибольшее в опыте содержание жира (25,2 %) в семенах сафлора красильного. Концентрация цинка в семенах при дозе внесения осадка сточных вод 5 т/га составила 21,8 мг/кг, 10 т/га – 25,1 мг/кг. Содержание меди находилось соответственно на уровне 11,3 и 12,1 мг/кг, кадмия – 0,09 и 0,10 мг/кг.

INFLUENCE OF SEWAGE SLUDGE AND BASIC TILLAGE METHODS ON THE DYNAMICS OF MOISTURE RESERVES, PRODUCTIVITY AND QUALITY OF CARTHAMUS TINCTORIUS SEEDS

Mezhevova A.S.

Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences,
400062, Volgograd, prosp. Universitetskii, 97
E-mail: asmezhevova@mail.ru

The purpose of the research is to study the influence of sewage sludge and basic tillage methods on the dynamics of moisture reserves, productivity and quality of carthamus tinctorius seeds. The object of research is sewage sludge, carthamus tinctorius (Alexandrite variety). The scheme of the two-factor field experiment included the use of moldboard, disk and chisel tillage with the introduction of sewage sludge at doses of 0, 5 and 10 t/ha. It was revealed that the introduction of sewage sludge as an organic fertilizer in combination with chisel tillage led to an increase in the reserves of productive moisture up to 82.1 at a fertilizer dose of 5 t/ha and 88.5 mm at a fertilizer dose of 10 t/ha. It was found that the highest crop yield of the culture cultivated in the experiment was obtained by the use of chisel tillage. The crop yields at introduction of sewage sludge at a dose of 5 t/ha was 1.42 t/ha, at introduction of sewage sludge at a dose of 10 t/ha – 1.51 t/ha. Sewage sludge dose increasing to 10 t/ha makes it possible to obtain a highest fat content (25.2 %) in safflower seeds. Studies of safflower seeds for the heavy metals content were carried out. The content of zinc in the safflower seeds was 21.78 mg/kg at introduction of sewage sludge at a dose of 5 t/ha, 25.08 mg/kg at introduction of sewage sludge at a dose of 10 t/ha. The copper content was 11.32 and 12.12 mg/kg, the cadmium content was 0.09 and 0.1 mg/kg, respectively, to the doses of sewage sludge introduction.

Ключевые слова: осадок сточных вод, запасы влаги, урожайность, сафлор красильный (*Carthamus tinctorius* L.), обработка почвы, качество семян

Key words: sewage sludge, moisture reserves, crop yields, safflower (*Carthamus tinctorius* L.), tillage, quality of seeds

Современная стратегия земледелия, основанная на химизации, применении высоких доз минеральных удобрений и химических средств защиты растений в значительной мере привела к деградации, засолению и загрязнению почв. В свою очередь, в условиях дефицита пресной воды и отсутствия орошения в зонах засушливого земледелия возникает необходимость поиска альтернативных путей повышения запасов почвенной влаги и продуктивности сельскохозяйственных культур.

Использование сточных вод в качестве органического удобрения широко распространено во всем мире, однако в России оно остается на весьма низком уровне. На большинстве отечественных станций по очистке хозяйственно-бытовых (канализационных) сточных вод количество отходов на иловых картах достигло критических объемов, а технологии их переработки и утилизации требуют изучения и совершенствования.

По мнению некоторых авторов [1], для восстановления деградированных земель и повышения их продуктивности необходимо разрабатывать и внедрять технологии применения органоминеральных удобрений на основе осадков сточных вод. При этом известно [2], что осадок сточных вод обладает удобрительной ценностью и оказывает положительное влияние на дерново-подзолистую супесчаную почву, а также на режим органического вещества. Доказано [3], что осадки сточных вод оказывают заметное положительное влияние на азотный режим и биологические свойства дерново-подзолистой супесчаной почвы.

Учитывая стрессовые климатические условия Волгоградской области, наряду с применением органических удобрений и внедрением ресурсосберегающих технологий обработки почвы, необходимо введение в севообороты стрессоустойчивых культур, способных

адаптироваться к засухам и высоким температурам. Традиционными масличными культурами Нижнего Поволжья выступают подсолнечник и горчица, но в последние годы широкое распространение в качестве одной из перспективных культур приобретает сафлор красильный [4, 5, 6]. Его можно рассматривать как масличную, техническую, лекарственную, кормовую, медоносную и декоративную культуру, а благодаря фитомелиоративным свойствам и в качестве средства воспроизводства плодородия почв [7, 8].

Цель исследований – изучение влияния осадков сточных вод и приемов основной обработки почвы на динамику запасов влаги, продуктивность и качество семян сафлора красильного.

Методика. Полевой опыт проводили на опытном участке в Учебном научно-производственном центре «Горная поляна» Городищенского района Волгоградской области в 2016–2018 гг. Почва участка – светло-каштановая солонцеватая тяжелосуглинистого гранулометрического состава. Содержание гумуса – 1,7...1,8 % с постепенным уменьшением вниз по профилю. По наличию основных элементов питания почва опытного участка характеризовалась следующими показателями: содержание щелочногидролизующего азота по Корнфилду – 48...54 мг/кг, подвижного фосфора и калия (по Мачигину) – соответственно 47...53 мг/кг и 460...490 мг/кг. В опыте высевали сорт сафлора красильного Александрит.

Исследуемый осадок сточных вод получен с очистных сооружений предприятия «МУП Водоканал» г. Волжский. Результаты химического анализа, проведенного перед его внесением, показали, что содержание свинца, кадмия, цинка, меди, марганца, кобальта, никеля, ртути, мышьяка не превышает ПДК, ГХЦГ-изомеры, ДДТ и его метаболиты, цезий не обнаружены.

Осадок сточных вод вносили весной 2016 г. перед посевом сафлора красильного на поверхность поля в виде мульчирующего слоя в дозах 5 и 10 т/га, которые рассчитывали в соответствии с формулой максимально допустимых доз внесения осадка под сельскохозяйственные культуры (ГОСТ Р 17.4.3.07 – 2001). Основную обработку почвы проводили осенью.

Схема опыта представлена следующими вариантами: приём основной обработки почвы (фактор А) – отвальная вспашка ПН-4-35 на глубину 0,20...0,22 м; дискование БДТ-3 на глубину 0,12...0,14 м; чизелевание рабочим органом Ранчо на глубину 0,37...0,40 м с оборотом верхнего слоя почвы на глубину 0,12...0,15 м. осадок сточных вод (фактор В) – без внесения (0); 5 т/га; 10 т/га.

Опыт закладывали в 4-кратной повторности методом расщепленных делянок. Площадь делянок первого порядка – 240 м² (20 м × 12 м), второго порядка – 80 м² (20 м × 4 м). Предшественник – озимая пшеница. Норма высева – 250 тыс. шт. всхожих семян на 1 га.

Массовую долю сырого жира в семенах сафлора красильного определяли согласно ГОСТ 13496.15-2016, содержание тяжелых металлов – методом атомно-абсорбционной спектроскопии на атомно-абсорбционном анализаторе «Спектр-5». Учет урожая проводили поделочно методом прямого комбайнирования Сампо-500.

Закладку опыта, наблюдения и учеты выполняли общепринятыми методами, статистическую обработку данных – методом дисперсионного анализа (Доспехов Б.А. *Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследования)*. М.: Агрпромиздат, 1985. 351 с.).

Применяемый в опыте осадок сточных вод был получен путем биологической очистки ферментно-кавитационным методом [9], предусматривающим генерирование в циркулируемом субстрате кавитации низкой интенсивности (с числом кавитации не более 0,05), а также интенсивное обогащение субстрата кислородом, засасываемым вместе с воздухом посредством эжекторов. Влажность высушенного осадка сточных вод составляет 11 % и полностью соответствует требованиям ГОСТ Р 54651-2011. Анализ химического состава осадка (табл. 1) показал, что он отличается повышенным содержанием общего (3,3 %), в том числе аммиачного (0,19 %) азота, общего фосфора (4,27 %) и калия (0,31 %). Содержание органического вещества составило 32 %. Это свидетельствует о высокой удобрительной ценности осадка сточных вод.

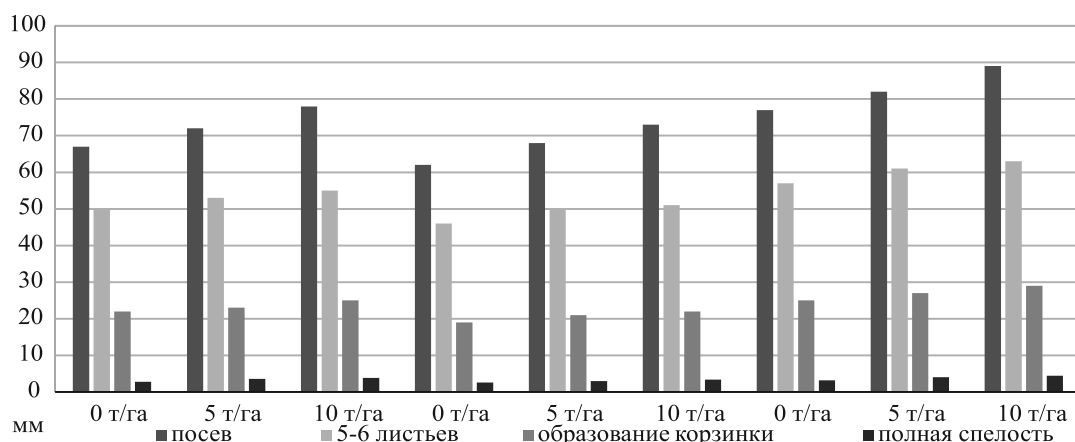
Табл. 1. Химический состав осадка сточных вод

Показатель	Результаты испытаний
Массовая доля влаги, %	11,0
Общий азот, %	3,30
Аммиачный азот, %	0,19
Реакция среды pH сол.	6,60
Общий фосфор, %	4,27
Общий калий, %	0,31
Массовая доля органического вещества в пересчете на С, %	32,0
Массовая доля золы, %	35,0

Климат Волгоградской области характеризуется холодными малоснежными зимами и продолжительным жарким и сухим летом, поэтому в условиях недостаточного увлажнения формирование высоких урожаев возможно лишь при орошении. На неорошаемых полях зачастую возделывают адаптированные к засухам и высоким температурам культуры, но для обеспечения стабильных урожаев необходима разработка новых технологий возделывания сельскохозяйственных культур.

В годы исследований складывались разные условия тепло- и влагообеспеченности. За период вегетации (с апреля по август включительно) в 2016 г. выпало 331,6 мм осадков, что при сумме температур за вегетационный период 2720,8 °С характеризует условия как слабозасушливые с ГТК = 1,22. В 2017 г. с апреля по август выпало 243 мм осадков, в 2018 г. – 142 мм, гидротермические коэффициенты составили 0,94 и 0,48 соответственно, что характеризует вегетационный период 2017 г. как засушливый, 2018 г. – крайне засушливый.

Результаты и обсуждение. Поскольку влага выступает лимитирующим фактором для формирования высоких урожаев, пополнение ее запасов в почве – первостепенная задача. Результаты оценки запасов продуктивной влаги в почве свидетельствуют (см. рисунок), что максимальными в опыте они были при чизельном рыхлении почвы рабочим органом Ранчо на глубину 0,37...0,40 м с оборотом верхнего слоя почвы на 0,12...0,15 м и внесением осадка сточных вод в дозах 5 и 10 т/га. К посеву сафлора красильного запасы влаги в этих вариантах в слое 0...0,4 м находились на уровне 82,1 и 88,5 мм соответственно, тогда как в варианте без удобрений – 76,6 мм. Чизельное рыхление



Фазы роста сафлора красильного

Запасы продуктивной влаги в посевах сафлора красильного в слое 0...0,4 м (среднее за 2016–2018 гг.), мм ($HCP_{05}(A) = 0,21$; $HCP_{05}(B) = 0,21$; $HCP_{05}(AB) = 0,24$).

обеспечивает разрушение плужной «подшвы» и способствует накоплению влаги в почве, а осадок сточных вод обладает адсорбционными свойствами и способен удерживать влагу. При этом увеличение дозы осадка сточных вод до 10 т/га обеспечивало наилучшие результаты. При отвальной обработке ПН-4-35 на глубину 0,20...0,22 м ко времени посева запасы продуктивной

влаги в слое 0...0,4 м при внесении осадка в дозе 10 т/га составляли 77,6 мм, а при дозе осадка 5 т/га снижались до 72,0 мм. Наименьшие в опыте запасы продуктивной влаги отмечали на фоне дисковой обработки БДТ-3 на глубину 0,12...0,14 м – 62,0, 67,7 и 72,6 мм соответственно дозам внесения удобрения 0, 5, 10 т/га.

Наибольшую в опыте урожайность отмечали в 2016 г., что напрямую связано с более высокими влагозапасами в почве. В 2017 и 2018 гг. сбор семян сафлора красильного был ниже (табл. 2).

Использование в качестве органического удобрения осадка сточных вод обеспечивало прибавку урожайности. Причем различные дозы по-разному влияли на ее размеры. Внесение осадка в дозе 5 т/га позволило увеличить сбор семян на фоне дисковой обработки до 1,23 т/га (на 0,7 т/га); вспашки – до 1,34 т/га (на 1,1 т/га), чизельной обработки – до 1,42 т/га (на 1,1 т/га). При внесении осадка в дозе 10 т/га прибавка к варианту с 5 т/га после вспашки и дисковой обработки составила 0,6 т/га, чизельной обработки – 0,9 т/га. Сочетание осадка сточных вод в дозе 10 т/га и чизельной обработки почвы способствовало формированию самой высокой в опыте урожайности, которая в среднем за годы исследований составила 1,51 т/га.

Наряду с урожайностью, важную роль играет качество продукции. Поскольку сафлор красильный это масличная культура, важный показатель качества его семян – содержание жира. Как известно, на уровень масличности оказывают влияние различные факторы, в том числе условия произрастания, норма высева семян, удобрения, гидротермический режим и др. Известно [10], что, чем крупнее семя, тем больше в нем запасных тканей, которые содержат масло. В варианте без удобрений масса 1000 семян составила 38,5 г, а со-

Табл. 2. Урожайность сафлора красильного, т/га

Год	Доза осадка сточных вод (фактор В)	Прием обработки почвы (фактор А)			Среднее по фактору В
		вспашка	дискование	чизелевание	
2016	0 т/га	1,27	1,21	1,37	1,28
	5 т/га	1,37	1,30	1,47	1,38
	10 т/га	1,44	1,36	1,56	1,45
	среднее по фактору А	1,36	1,29	1,47	
	$HCP_{05} A, B, AB - 0,01$				
2017	0 т/га	1,23	1,16	1,29	1,23
	5 т/га	1,35	1,22	1,41	1,33
	10 т/га	1,41	1,29	1,50	1,40
	среднее по фактору А	1,33	1,22	1,40	
	$HCP_{05} A, B, AB - 0,01$				
2018	0 т/га	1,18	1,10	1,26	1,18
	5 т/га	1,29	1,17	1,37	1,28
	10 т/га	1,34	1,23	1,46	1,34
	среднее по фактору А	1,27	1,17	1,36	
	$HCP_{05} A, B, AB - 0,01$				
Среднее	0 т/га	1,23	1,16	1,31	1,23
	5 т/га	1,34	1,23	1,42	1,33
	10 т/га	1,40	1,29	1,51	1,40
	среднее по фактору А	1,32	1,23	1,41	
	$HCP_{05} A, B, AB - 0,01$				

Табл. 3. Качественные показатели семян сафлора красильного (среднее за 2016–2018 гг.)

Доза осадка сточных вод, т/га	Содержание жира, %	Масса 1000 семян, г
0	23,5	38,5
5	24,4	40,5
10	25,2	42,5
HCP_{05}	0,8	0,7

Табл. 4. Содержание тяжелых металлов в семенах сафлора красильного (в воздушно-сухой пробе), мг/кг

Вариант	Цинк	Медь	Кадмий
Без удобрений	17,3	9,4	0,02
Осадок сточных вод, 5 т/га	21,8	11,3	0,09
Осадок сточных вод, 10 т/га	25,1	12,1	0,10
НСР ₀₅ %	2,8	1,9	16,4
ПДК (для продовольственного масличного сырья)	50,0	15,0	0,10

держание жира – 23,5 % (табл. 3). При внесении осадка сточных вод в дозе 5 т/га величины этих показателей увеличивались соответственно на 2 г и 0,9 %, а при дозе 10 т/га – еще на 2 г и 0,8 %.

Наряду с основными элементами минерального питания, растения поглощают из почвы тяжелые металлы. Согласно результатам наших исследований, в семенах сафлора отмечено присутствие таких тяжелых металлов, как цинк, медь и кадмий, содержание которых не превышает ПДК во всех вариантах опыта (табл. 4). Это указывает на то, что изучаемые в эксперименте осадки сточных вод безопасны с экологической точки зрения и могут использоваться в качестве удобрения при возделывании сафлора красильного.

Таким образом, без применения удобрений дискование почвы снижает запасы влаги в слое почвы 0...0,4 м, по сравнению с традиционной вспашкой, на 5 мм, а чизельная обработка повышает их на 9,6 мм. Внесение осадка сточных вод в дозах 5 и 10 т/га способствует росту величины этого показателя на 5,0...11,9 мм. При этом наибольшие запасы формируются в варианте с чизельной обработкой и использованием самой высокой дозы осадка.

Наименьшая в опыте урожайность сафлора красильного в среднем за годы исследований отмечена без удобрений: в варианте с отвальной вспашкой – 1,23 т/га, с дискованием – 1,16 т/га, с чизелеванием – 1,31 т/га. Внесение осадка сточных вод в дозе 5 т/га повышало величину этого показателя на фоне разноглубинных обработок почвы в среднем с 1,23 т/га до 1,33 т/га. Внесение удобрения в самой высокой изучаемой дозе (10 т/га) обеспечивало наилучшие результаты. В среднем урожайность составляла 1,41 т/га, наибольшей она была на фоне чизельной обработки – 1,51 т/га. В варианте с дозой осадка сточных вод 10 т/га отмечены наибольшие масса 1000 семян (42,5 г) сафлора красильного и содержание жира в семенах (25,2 %). Концентрация тяжелых металлов в продукции культуры

оставалась в пределах ПДК во всем диапазоне изучаемых доз осадка сточных вод.

Литература.

1. Ильинский А.В., Евсенкин К.Н., Нефедов А.В. Обоснование экологически безопасного использования осадков сточных вод канализационных очистных сооружений жилищно-коммунального хозяйства // *Агрохимический вестник*. 2020. № 1. С. 60–64. doi: 10.24411/1029-2551-2020-10009.
2. Рабинович Г.Ю., Подолян Е.А., Зинковская Т.С. Использование осадка сточных вод и режим органического вещества дерново-подзолистой почвы // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2020. № 4. С. 37–41. doi: 10.31857/S 2500262720040092.
3. Касатиков В.А. Влияние мелиоративных доз осадка городских сточных вод на азотный режим дерново-подзолистой почвы и продуктивность зерновых культур // *Агрохимия*. 2020. № 6. С. 64–68. doi: 10.31857/S 0002188120060058.
4. Esfahani M.A., Javanmard H., Golparvar A. Assessment of growth physiological indices, seed and oil yield of two spring safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars under different tillage methods in Isfahan province of Iran // *Research on Crops*. 2016. Vol. 17. No 2. P. 244–247.
5. Jabeen N., Ahmad R. The activity of antioxidant enzymes in response to salt stress in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) and sunflower (*Helianthus annuus* L.) seedlings raised from seed treated with chitosan // *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2013. Vol. 93. No 7. P. 1699–1705.
6. Афанасьева Ю.В. Интродукция и особенности возделывания сафлора красильного (*Carthamus tinctorius* L.) на семена в условиях центрального района Нечерноземной зоны: дис. канд. с.-х. наук. М.: ВСТИСП. 2017. 163 с.
7. Попов А.В. Совершенствование технологии возделывания сафлора красильного в рисовых севооборотах Сарпинской низменности: дис. канд. с.-х. наук. Волгоград: ВНИИОЗ, 2017. 209 с.
8. Тютюма Н.В., Туманян А.Ф., Щербакова Н.А. Продуктивность сафлора красильного в аридной зоне Прикаспия при различной густоте стояния // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2017. № 4. С. 32–34.
9. Степкина Ю.А. Совершенствование технологий и систем обработки осадка при очистке сточных вод, получение и апробация комплексного удобрения: автореф. дис. канд. техн. наук. Волгоград: ВГ-СХА, 2009. 22 с.
10. Moses D. R. Performance evaluation of continuous screw press for extraction soybean oil // *American journal of science and technology*. 2014. Vol. 1. No 5. P. 238–242.

Поступила в редакцию 01.12.2020

После доработки 19.01.2021

Принята к публикации 23.06.2021