

Оригинальная статья / Original article
УДК 631.82:628.169.7:628.381
DOI: 10.18470/1992-1098-2020-3-43-52

Использование илового осадка сточных вод при возделывании сафлора красильного на светло-каштановых почвах Волгоградской области

Алина С. Межевова

Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения
Российской академии наук, Волгоград, Россия

Контактное лицо

Алина С. Межевова, научный сотрудник лаборатории исследования агролесоландшафтов и адаптивных систем земледелия, «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук»; 400062 Россия, г. Волгоград, пр. Университетский, 97. Тел. +79610681107
Email asmezhheva@mail.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-4579-7047>

Формат цитирования

Межевова А.С. Использование илового осадка сточных вод при возделывании сафлора красильного на светло-каштановых почвах Волгоградской области // Юг России: экология, развитие. 2020. Т.15, N 3. С. 43-52. DOI: 10.18470/1992-1098-2020-3-43-52

Получена 11 января 2020 г.
Прошла рецензирование 6 марта 2020 г.
Принята 20 апреля 2020 г.

Резюме

Цель. Цель исследований заключалась в изучении различных способов основной обработки почвы и возможности применения илового осадка бытовых сточных вод, направленное на сохранение почвенного плодородия и повышение урожайности культуры.

Материал и методика. Объектом исследований был сорт сафлора Александрит. Варианты опыта закладывали в 4-кратной повторности. Закладка опыта, проведение наблюдений и учетов выполнялись в соответствии с методикой полевых опытов Б.А. Доспехова.

Результаты. В засушливых условиях Волгоградской области на светло-каштановых солонцеватых почвах проведены полевые исследования по изучению различных способов основной обработки почвы и возможности использования в качестве удобрения илового осадка сточных бытовых вод. Проведена оценка аминокислотного состава семян сафлора, представлены данные по изучению микробиологической активности почвы и влиянию нетрадиционных удобрений на увеличение активности почвенной биоты. Определена урожайность сафлора красильного в зависимости от изучаемых факторов и дана экономическая оценка возделывания данной культуры.

Заключение. Для поддержания плодородия слабогумусированных почв в зоне засушливого климата, повышения уровня содержания аминокислот в растениях, увеличения биологической активности почвы, а также урожайности сафлора красильного требуются современные ресурсосберегающие технологии обработки почвы и нетрадиционные удобрения. Основа предложенных технических решений, базирующаяся на использовании в качестве основной обработки почвы чизельного рабочего органа Ранчо и внесении нетрадиционных удобрений-мелиорантов, обеспечивает восстановление структуры почвенных агрегатов, интенсификацию процесса гумусообразования, повышение микробиологической активности почвы, и как следствие, увеличение урожайности возделываемой культуры.

Ключевые слова

Сафлор, урожайность, иловый осадок, основная обработка почвы, микробиологическая активность.

Wastewater silt sludge application in the case of *Carthamus tinctorius* cultivation on light chestnut soils of the Volgograd Region, Russia

Alina S. Mezheva

Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation, Russian Academy of Sciences, Volgograd, Russia

Principal contact

Alina S. Mezheva, Researcher, Laboratory of the Study of Agroforestry and Adaptive Farming Systems, Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation, Russian Academy of Sciences; 97 Universitetskii Prospekt, Volgograd, Russia 400062.

Tel. +79610681107

Email asmezheva@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-4579-7047>

How to cite this article

Mezheva A.S. Wastewater silt sludge application in the case of *Carthamus tinctorius* cultivation on light chestnut soils of the Volgograd Region, Russia. *South of Russia: ecology, development*. 2020, vol. 15, no. 3, pp. 43-52. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2020-3-43-52

Received 11 January 2020

Revised 6 March 2020

Accepted 20 April 2020

Abstract

Aim. The aim of research was to study various methods of basic soil cultivation and a domestic wastewater silt sludge application which could possibly be directed to soil fertility saving and increase in crop yields.

Materials and Methods. The object of research was a safflower variety called Alexandrite. Experimental variants were carried out according to a 4-fold repetition. Experiment installation, observations and accounting were carried out in accordance with the field experiment methodology named after B.A. Dospehov.

Results. Field research was undertaken in order to study the various methods of a basic tillage and a domestic wastewater silt sludge application possibility under arid conditions of the Volgograd region on light chestnut solonetz soils. The amino acid composition of safflower (*Carthamus tinctorius*) seeds has been estimated. The data from the study of soil microbiological activity and the effect of non-traditional fertilizers on the increase in the activity of soil biota are presented. The crop yields and economic evaluation of the *Carthamus tinctorius* cultivation were determined.

Conclusion. Modern resource-saving soil cultivation technologies and non-traditional fertilizers are required to: maintain the fertility of slightly humus soils in this arid climate zone, increase amino acids levels in plants, increase soil biological activity, as well to increase safflower crop yields. The proposed technical solutions, employing Rancho chisel tillage with as the basic tillage together with the introduction of non-traditional fertilizers-meliorants, provides structural restoration of soil aggregates, intensification of the humus formation process, increase in soil microbiological activity and - as a result - an increase in the yield of the cultivated *Carthamus tinctorius* crop.

Key Words

Safflower, crop yields, silt sludge, basic tillage, microbiological activity.

ВВЕДЕНИЕ

В условиях засушливого земледелия Нижнего Поволжья, а также резко меняющегося климата возникает необходимость выращивания стрессоустойчивых культур. В последнее время, наряду с традиционными масличными культурами, широкое распространение получил сафлор красильный.

Родиной сафлора (*Carthamus tinctorius* L.) считают Эфиопию и Афганистан. Его ценные потребительские и полезные свойства были хорошо известны в Древнем Египте еще в XVI веке до н.э., где им красили ткани, а цветы имели культовое применение.

Сафлор имеет очень широкое применение, его используют как красящую, масличную, техническую, лекарственную, кормовую, медоносную и декоративную культуру [1-3], а также за счет своих фитомелиоративных свойств он может использоваться для воспроизводства почвенного плодородия [4; 5].

В связи со значительным сокращением использования минеральных удобрений и их дороговизной возникает необходимость перехода на органические удобрения.

В качестве органического удобрения предлагается использовать переработанные иловые осадки сточных бытовых вод в качестве удобрения-мелиоранта после их биологической очистки. Известны многочисленные публикации по использованию иловых осадков в качестве удобрений, их свойства и особенности отражены в таких работах, как [6-9]. Опыт использования нетрадиционных удобрений на основе иловых осадков сточных вод при возделывании сельскохозяйственных культур представлен в работах [10-12].

В Волгоградской области данные по использованию иловых осадков в качестве удобрения при возделывании сафлора красильного представлены впервые. В связи с этим цель исследований заключалась в изучении различных способов основной обработки почвы и возможности применения илового осадка бытовых сточных вод, направленное на сохранение почвенного плодородия и повышение урожайности культуры.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Исследования проводили на базе ФНЦ агроэкологии РАН в период с 2016 по 2018 гг. Схема опыта приведена ниже (табл. 1).

Таблица 1. Схема опыта**Table 1.** Experimental schema

Фактор А (основная обработка почвы) Factor A (basic tillage)	Фактор В (доза внесения илового осадка) Factor B (Dose of silt sludge introduction)
Отвальная обработка плугом ПН-4-35 на глубину 0,20-0,22 м (контроль) Moldboard tillage with PN-4-35 plow at a depth of 0.20-0.22 m (control)	Без внесения илового осадка (контроль) Without silt sludge introduction (control)
Дисковая обработка БДТ-3 на глубину 0,12-0,14 м Disk tillage with HDH-3 at a depth of 0.12-0.14 m	Доза внесения 5 т/га Dose of silt sludge introduction 5 t/ha
Чизельная обработка рабочим органом Ранчо на глубину 0,37-0,40 м с оборотом пласта 0,12-0,15 м Chisel tillage with Rancho at a depth of 0.37-0.40 m with topsoil turnover 0.12-0.15 m	Доза внесения 10 т/га Dose of silt sludge introduction 10 t/ha

В опытах использовали сорт сафлора Александрит. Варианты опыта закладывали в 4-кратной повторности. Схема опыта построена по методу расщепленных делянок. Площадь делянок первого порядка – 240 м². Длина 20 м, ширина 12 м. Площадь делянок второго порядка – 80 м². Длина 20 м, ширина 4 м.

1. Дозы внесения илового осадка определялись в соответствии с расчетной формулой допустимых доз внесения илового осадка в качестве удобрения под сельскохозяйственные культуры (ГОСТ Р 17.4.3.07 – 2001) [13].

2. Учет урожая проводили поделяночно методом прямого комбайнирования «Сампо»-500.

3. Биологическую активность почвы определяли с помощью льяных полотен методом «аппликаций».

4. По методике М-04-38-2009 (ГОСТ Р 55569-2013) [14] определяли массовую долю аминокислот: аргинина (Arg), лизина (Lys), тирозина (Tyr), фенилаланина (Phe), гистидина (His), лейцина и изолейцина (Leu

+ Ile) (суммарно), метионина (Met), валина (Val), пролина (Pro), серина (Ser), аланина (Ala), глицина (Gly) и триптофана (Trp) в семенах. При выполнении измерений применялась система капиллярного электрофореза «КАПЕЛЬ-105 М», имеющая специальную кассету для анализа аминокислот.

5. Математическую обработку данных проводили методом дисперсионного анализа [15].

6. Согласно предлагаемой технологии возделывания сафлора [16] иловый осадок вносили на поверхность поля в виде мульчирующего слоя в различных дозировках (0, 5, 10 т/га). Основную обработку почвы проводили осенью, варианты обработки приведены в схеме опыта.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Микробиологическая активность почвы – наиважнейший показатель уровня плодородия почвы. Существенный фактор, определяющий микробиологическую активность почвы – внесение удобрений.

Удобрения оказывают положительное влияние на развитие микроорганизмов в почве и на их биологическую активность. Сама почва является в значительной мере продуктом жизнедеятельности микроорганизмов. Не может быть сомнений и относительно огромного значения микробиологической активности почвы для питания произрастающих на этой почве растений. Большая часть свободных аминокислот высвобождается в почвенный раствор после деполимеризации белков и пептидов органического вещества почвы. Кроме того, источниками свободных аминокислот являются клетки микробов и грибов, ткани животных, выделения микроорганизмов и растений [17]. Интенсивность деполимеризации белков и образования свободных аминокислот сильно зависит от активности микроорганизмов [18]. Внесение удобрений, как известно [19],

сильно влияет на жизнедеятельность микроорганизмов, что может повлиять и на концентрацию свободных аминокислот в почвах. Аминокислоты необходимы для нормального прохождения метаболизма растений, поскольку являются строительным материалом для белков растения и способны синтезировать все необходимые для них аминокислоты. Однако, в период интенсивного роста или при негативном влиянии стрессовых факторов, поступление аминокислот извне позволяет растению ускорить метаболические процессы, не тратя при этом дополнительную энергию на собственный синтез.

В опытах была проведена оценка аминокислотного состава семян сафлора, выращенных на светло-каштановой почве без внесения удобрений (табл. 2).

Таблица 2. Показатели аминокислотного состава семян сафлора

Table 2. Parameters of amino acid composition of safflower seeds

Наименование показателя Parameters	Аргинин Arginine	Лизин Lysine	Тирозин Tyrosine	Фенилаланин Phenylalanine	Гистидин Histidine	Лейцин + Изолейцин Leucine + Isoleucine	Метионин Methionine	Валин Valine	Пролин Proline	Треонин Threonine	Серин Serine	Аланин Alanine	Глицин Glycine	Триптофан Tryptophan
Значение, мг % Value, mg %	129	128	146	192	91	649	165	230	463	158	257	351	189	237

Белки, извлекаемые из семян масличных растений таких, как сафлор – это практически запасные белки. Количество белков других типов и небелковых азотсодержащих соединений в семенах масличных растений сравнительно мало, поэтому биологическая ценность белка, получаемого из семян, зависит от аминокислотного состава белков. В результате исследований установлено, что в состав белка семян сафлора входит 7 незаменимых аминокислот (лизин, фенилаланин, гистидин, лейцин, изолейцин, метионин, валин, триптофан), которые помогают организму исправно выполнять все свои функции. Однако, уровень содержания лизина, метионина, лейцина, изолейцина, фенилаланина ниже оптимального. Эти исследования свидетельствуют о том, что белок сафлора лучше сочетать с соответствующими добавками для повышения его питательной ценности. Повысить уровень содержания аминокислот в растениях, а также микробиологическую активность почвы можно при помощи внесения различных удобрений-мелиорантов. При ограниченных возможностях традиционной регуляции продукционных процессов в агробиоценозах, из-за дороговизны минеральных удобрений, поливной воды и прочего, повышение активности почвенной биоты и потенциальной урожайности сельскохозяйственных культур возможно за счет избыточных техногенных ресурсов – хозяйственно-бытовых стоков.

Из-за недостаточной изученности технологии переработки осадков сточных вод в Российской Федерации, их использование составляет всего лишь 10%. В Волгограде разработан и внедрен новый ферментно-

кавитационный метод переработки иловых осадков сточных бытовых вод [20]. Полученный в результате очистки иловый осадок имеет ряд принципиальных отличий от сточных вод, полученных в результате классической очистки методом анаэробного сбраживания. Глубоко переработанный осадок по ферментно-кавитационному методу обладает сорбционными (адсорбционными) и ионообменными свойствами, вследствие скопления микроорганизмов в активном иле и при внесении в почву такого илового осадка происходит аккумуляция воздуха и влаги из атмосферы в верхний наиболее плодородный слой почвы.

Использованный осадок сточных вод был получен с очистных сооружений г. Волжский. Имеется протокол испытания, выданный ФГБУ «ЦАС Волгоградский». Физико-химические показатели илового осадка представлены в таблице 3.

Физико-химические свойства иловых осадков зависят от режимов обработки на очистных сооружениях и от сроков хранения на иловых картах. Согласно ГОСТ Р 54651-2011 [21] массовая доля влаги не должна превышать 70%, поскольку при влажности 70% и более осадок представляет собой жидкую массу – по существу не пригодную для использования в качестве органического удобрения. Результаты наших испытаний свидетельствуют о том, что переработанный и высушенный осадок сточных вод пригоден для использования в качестве удобрения-мелиоранта. Массовая доля органического вещества составила 32%, что полностью соответствует требованиям вышеуказанного ГОСТа. В иловом осадке фиксируется наличие общих

форм азота (3,3%), фосфора (4,27%) и калия (0,31%), которые легко доступны корням растений и почвенной биоте. В целом, проведенные исследования позволяют сделать вывод, что использованный иловый осадок соответствует техническим требованиям ГОСТа Р

54651-2011 по токсикологическим и агрохимическим показателям и относится к удобрениям I группы, а значит пригоден для выращивания сельскохозяйственных культур.

Таблица 3. Физико-химические показатели илового осадка

Table 3. Physico-chemical parameters of silt sludge

Контролируемые показатели Controlled parameters	Единицы измерения Units of measures	Значения по НТД Values from STA	Результаты испытаний Results of experiment
Массовая доля влаги Mass fraction of moisture	%	Не более 70 no more than 70	11,00
Массовая доля питательных веществ на абсолютно сухое вещество: Mass fraction of nutrients per absolutely dry substance:			
Общий азот Total nitrogen	%	>0,5	3,3
Аммиачный азот Ammoniacal nitrogen	%	Не норм. not standardised	0,19
Реакция среды pH солевой Reaction of medium pH salt	%	5,0-8,5	6,6
Общий фосфор Total phosphorus	%	>1,5	4,27
Общий калий Total potassium	%	Не норм. not standardised	0,31
Массовая доля органического вещества в пересчете на С Mass fraction of organic substances in terms of C	%	Не менее 30 no more than 30	32,0
Массовая доля хлора на абсолютно сухое вещество Mass fraction of chlorine in completely dry matter	мг/кг mg/kg	Не норм. not standardised	345,0

Для оценки деятельности почвенной биоты используют биологическую активность почвы. Активность почвенной микрофлоры зависит от поступления и наличия в почве органических веществ, источником поступления которых в наших исследованиях является иловый осадок сточных вод, используемый в качестве удобрения-мелиоранта.

Исследования микробиологической активности проводили в активные фазы роста сафлора красильного. По результатам исследований было выявлено, что способ основной обработки почвы и различные дозы внесения илового осадка по-разному влияли на микробиологические процессы в почве (табл. 4)

Проведенные исследования показали, что применение дисковой мелкой обработки почвы БДТ-3, а также классической отвальной обработки плугом ПН-4-35 приводило к падению активности микроорганизмов. Как известно, классическая отвальная обработка приводит к образованию «плужной подошвы», которая в свою очередь препятствует развитию корневой системы растений и приводит к потере органического вещества. Однако, применение глубокой чизельной обработки почвы ресурсосберегающим рабочим органом Ранчо дополнительно способствует активации микроорганизмов, так как при глубокой вспашке заделывается значительная часть растительных остатков в глубь почвы, где происходит их разложение. Графическая интерпретация биологической активности представлена на рисунке 1.

В ходе проведенных исследований было выявлено, что самый высокий показатель микробиологической активности почвы зафиксирован в фазу 5-6 листьев по всем вариантам опыта. Внесение илового осадка в качестве удобрения в дозе 5 т/га приводило к увеличению биологической активности по способам обработки почвы (ПН-4-35, БДТ-3, Ранчо) от 344 до 357 мкг амин. / г полотна соответственно вариантам. Вариант с внесением илового осадка в максимальной дозе (10 т/га) оказался предпочтительным и способствовал увеличению биологической активности от 356 до 372 мкг амин. / г полотна в зависимости от способа основной обработки почвы. На участке без внесения илового осадка зафиксированы самые низкие показатели – 338 мкг амин. / г полотна на фоне применения отвальной вспашки плугом ПН-4-35, 333 мкг амин. / г полотна на фоне дисковой обработки БДТ-3, 348 мкг амин. / г полотна на фоне чизельной обработки рабочим органом Ранчо. К фазе полной спелости биологическая активность снижалась по всем вариантам опыта, что напрямую связано с иссушением почвы, но тенденция положительного влияния от внесения нетрадиционных удобрений в различных дозах в сочетании с глубокой обработкой почвы сохранялась.

Эффективность технологических операций, использованных при возделывании сафлора красильного, определяются его урожайностью (табл. 5).

Урожайность сафлора красильного зависела от ряда таких факторов, как погодные условия в период

проведения исследований, способа основной обработки почвы, а также внесения в разных дозах иловых осадков сточных вод. Наибольшая урожайность сафлора наблюдалась в 2016 году по всем вариантам опыта, что связано коренным образом с погодными условиями. Количество выпавших осадков за период вегетации составило 331,6 мм (ГТК=1,22) и превысило среднеклиматические нормы для зоны Нижнего По-

волжья. В 2017 году ГТК составил – 0,94 (сумма осадков за вегетацию – 243,0 мм), в связи с чем, в целом, отмечалось снижение урожая сафлора красильного в сравнении с 2016 годом по всем вариантам опыта. Самым неблагоприятным оказался 2018 год, где ГТК составил 0,48 (сумма осадков за вегетацию – 142,1 мм), в связи с этим отмечена самая низкая урожайность возделываемой культуры.

Таблица 4. Биологическая активность почвы в посевах сафлора в слое 0-0,3 м (среднее за 2016-2018 гг.), мкг амин./г полотна

Table 4. Biological activity of the soil in safflower sowing within a layer of 0-0.3 m (average for 2016-2018), µg amine/g of bed

ПН-4-35 PN-4-35 plow				БДТ-3 HDH-3				Ранчо Rancho			
5-6 листьев 5-6 leaves	Образование корзинок Formation of capitulum	Налив семян Seeds formed	Полная спелость Full ripeness	5-6 листьев 5-6 leaves	Образование корзинок Formation of capitulum	Налив семян Seeds formed	Полная спелость Full ripeness	5-6 листьев 5-6 leaves	Образование корзинок Formation of capitulum	Налив семян Seeds formed	Полная спелость Full ripeness
Без внесения илового осадка / Without silt sludge introduction											
338	297	256	190	333	289	251	185	348	306	265	200
Доза внесения илового осадка 5 т/га / Dose of silt sludge introduction 5 t/ha											
348	316	271	205	344	311	267	199	357	318	280	212
Доза внесения илового осадка 10 т/га / Dose of silt sludge introduction 10 t/ha											
364	328	283	220	356	321	275	211	372	335	292	230
HCP ₀₅ A / LSD ₀₅ A								1,1899			
HCP ₀₅ B / LSD ₀₅ B								1,1899			
HCP ₀₅ AB / LSD ₀₅ AB								1,3739			

Примечание: HCP – наименьшая существенная разница
Notes: LSD – least significant difference

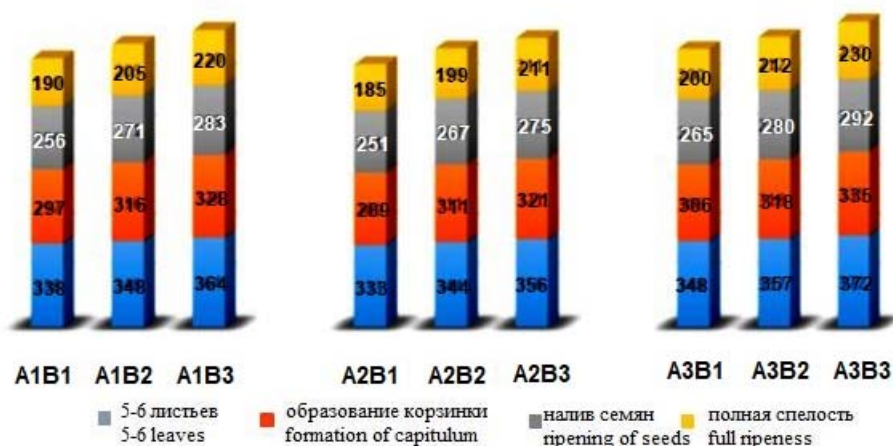


Рисунок 1. Биологическая активность почвы в посевах сафлора красильного по фазам роста и развития в слое 0-0,3 м (среднее за 2016-2018 гг.), мкг амин./г полотна

Примечание: A1 – отвальная обработка плугом ПН-4-35 (контроль); A2 – дисковая обработка БДТ-3; A3 – чизельная обработка рабочим органом Ранчо; B1 – без внесения илового осадка (контроль); B2 – внесение илового осадка (доза 5 т/га); B3 – внесение илового осадка (доза 10 т/га)

Figure 1. Biological activity of the soil in safflower sowing by phases of growth and development in layer of 0-0.3 m (average for 2016-2018), µg amine./g of bed

Notes: A1 – Moldboard tillage with PN-4-35 plow (control); A2 – Disk tillage with HDH-3; A3 – Chisel tillage with Rancho; B1 – Without silt sludge introduction (control); B2 – silt sludge introduction (5 t/ha); B3 – silt sludge introduction (10 t/ha)

Таблица 5. Урожайность сафлора красильного (среднее за 2016-2018 гг.), т/га**Table 5.** *Carthamus tinctorius* crop yields (average for 2016-2018), t/ha

Годы исследований Years of researches	Доза внесения илового осадка, т/га Dose of silt sludge introduction, t/ha	Урожайность, т/га Crop yields, t/ha		
		Основная обработка почвы Basic tillage		
		ПН-4-35 PN-4-35 plow	БДТ-3 BDH-3	Ранчо Rancho
2016	0	1,27	1,21	1,37
	5	1,37	1,30	1,47
	10	1,44	1,36	1,56
2017	0	1,23	1,16	1,29
	5	1,35	1,22	1,41
	10	1,41	1,29	1,50
2018	0	1,18	1,10	1,26
	5	1,29	1,17	1,37
	10	1,34	1,23	1,46
Среднее Average	0	1,23	1,16	1,31
	5	1,34	1,23	1,42
	10	1,40	1,29	1,51
НСП₀₅ A / LSD₀₅ A		0,0089		
НСП₀₅ B / LSD₀₅ B		0,0089		
НСП₀₅ AB / LSD₀₅ AB		0,0103		

Примечание: НСП – наименьшая существенная разница

Notes: LSD – least significant difference

Данные таблицы показывают, что в среднем за 2016-2018 гг. на варианте с дисковой обработкой БДТ-3 урожайность сафлора была ниже, чем на варианте с отвальной вспашкой ПН-4-35 и существенно ниже, чем на варианте с чизельной обработкой при соизмеримых дозах внесения илового осадка. На варианте классической обработки плугом без внесения удобрения-мелиоранта урожай сафлора составил – 1,23 т/га, что выше в сравнении с вариантом дисковой обработки на 0,07 т/га, но ниже в сравнении с вариантом применения чизельной обработки на 0,08 т/га. Получение более высокой урожайности сафлора красильного стало возможно за счет применения в различных дозировках илового осадка. На участке с внесением удобрения-мелиоранта в дозе 5 т/га урожай сафлора составил от 1,23 до 1,42 т/га в зависимости от способа основной обработки почвы. Внесение удобрения в дозе 10 т/га позволило получить самую высокую урожайность от 1,29 до 1,51 т/га соответственно вариантам.

Наибольшая прибавка урожая сафлора отмечена на варианте с чизельной обработкой почвы. Рассматривая урожайность, полученную на этом варианте при различных дозах внесения илового осадка относительно контрольного варианта без внесения удобрения-мелиоранта можно констатировать, что предлагаемая нами технология в условиях засушливого климата существенно влияет на продуктивность сафлора, а прибавка по годам исследования составила от 4,8-23,7%. Таким образом, внесение нетрадиционного удобрения на основе осадков сточных вод коренным образом влияло на

повышение урожая возделываемой в опыте культуры. Это объясняется тем, что переработанный иловый осадок оказывает комплексное воздействие на почву, улучшает ее водно-физические, агрохимические и физико-химические свойства, увеличивает активность почвенной биоты и содержание гумуса – одного из главных показателей плодородия почвы.

Экономическая эффективность сельскохозяйственного производства означает в самом общем виде результативность производственного процесса, соотношение между достигнутыми результатами и затратами труда, отражающими, в свою очередь, степень совершенства производственных ресурсов и эффективность их использования. Экономическая эффективность возделывания сафлора красильного в зависимости от изучаемых факторов представлена в таблице 6.

Расчет экономической эффективности показывает, что увеличение рентабельности достигалось за счет внесения илового осадка в различных дозировках. При дозе внесения 5 т/га – на 6,62 % на варианте отвальной вспашки ПН-4-35, на 3,03% на варианте дисковой обработки БДТ-3, на 6,41% на варианте чизельной обработки. При внесении илового осадка в дозе 10 т/га – на 8,25; 4,92; 10,57% соответственно вариантам.

Предлагаемая нами технология возделывания сафлора красильного, основанная на внесении удобрения-мелиоранта в дозе 10 т/га и использовании глубокой чизельной обработки почвы позволяет достичь самой высокой рентабельности – 41,13%.

Таблица 6. Экономическая эффективность возделывания сафлора красильного**Table 6.** Economic efficiency of *Carthamus tinctorius* cultivation

Показатели Parameters	Варианты / Experimental variants								
	0 т/га 0 t/ha			5 т/га 5 t/ha			10 т/га 10 t/ha		
	ПН-4-35 PN-4-35 plow	БДТ-3 BDH-3	Ранчо Rancho	ПН-4-35 PN-4-35 plow	БДТ-3 BDH-3	Ранчо Rancho	ПН-4-35 PN-4-35 plow	БДТ-3 BDH-3	Ранчо Rancho
Урожайность, т/га Crop yields, t/ha	1,23	1,16	1,31	1,34	1,23	1,42	1,40	1,29	1,51
Затраты, руб. Costs, rub.	12240	11920	12040	12640	12320	12440	13040	12720	12840
Цена реализации, руб./т Selling price, rub./t	12000	12000	12000	12000	12000	12000	12000	12000	12000
Себестоимость, руб./т Net cost, rub./t	9951	10276	9191	9433	10016	8761	9314	9860	8503
Чистый доход, руб. на: Net income, rub. on:									
1 т / 1 t	2049	1724	2809	2567	1984	3239	2686	2140	3497
1 га / 1 ha	2520	2000	3680	3440	2440	4599	3760	2761	5280
Рентабельность, % Profitability, %	20,59	16,78	30,56	27,21	19,81	36,97	28,84	21,70	41,13

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Учитывая современные стратегии развития сельского хозяйства, основанные на химизации, весьма актуально внедрение экологических технологий с применением органоминеральных удобрений, полученных в результате биологической очистки сточных бытовых вод с целью дальнейшего их использования для поддержания плодородия почвы и повышения качества продукции.

Проведенные исследования физико-химических показателей удобрения-мелиоранта позволяют сделать вывод, что переработанный иловый осадок полностью соответствует требованиям ГОСТа по использованию органических удобрений на основе осадков сточных вод и может использоваться при возделывании сельскохозяйственных культур.

Анализ аминокислотного состава семян сафлора показывает, что количество аминокислот в растениях ниже оптимального, а значит целесообразно вносить различные удобрения и мелиоранты, в частности, иловый осадок сточных вод, который обладает высокой удобрительной ценностью.

Микробиологическая активность почвы – важнейший показатель уровня плодородия почвы. Полученные данные свидетельствуют, что на участке без внесения илового осадка уровень биологической активности существенно снижался по всем фоновым обработкам почвы. Внесение в почву удобрения-мелиоранта в дозах 5 и 10 т/га оказало положительное влияние на активность микроорганизмов, причем с увеличением дозы до 10 т/га увеличивалась и микробиологическая активность почвы: до 364 мкг амин./г полотна на фоне отвальной обработки плугом ПН-4-35; до 336 мкг амин./г полотна на фоне дисковой обработки БДТ-3; до 372 мкг амин./г полотна на фоне чизельной обработки рабочим органом Ранчо.

Проведенный сравнительный анализ данных по урожайности сафлора красильного дает возможность сделать вывод, что прирост урожая отмечался на вариантах участка, где использовался иловый осадок сточных вод. В среднем за годы исследований урожай сафлора составил: при дозе внесения илового осадка 5 т/га – 1,34 т/га на фоне обработки ПН-4-35; 1,23 т/га на фоне обработки БДТ-3; 1,42 т/га на фоне обработки Ранчо. При дозе внесения удобрения-мелиоранта 10 т/га сформировалась самая высокая урожайность: 1,40 т/га при отвальной обработке; 1,29 т/га при дисковой обработке; 1,51 т/га при чизельной.

Таким образом, для повышения уровня содержания аминокислот в растениях, увеличения микробиологической активности почвы, а также урожайности и рентабельности сафлора красильного рекомендуется вносить иловый осадок сточных вод в качестве удобрения-мелиоранта в дозе 10 т/га на фоне применения глубокой чизельной обработки почвы рабочим органом Ранчо.

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор выражает признательность директору ФНЦ агроэкологии РАН Беляеву Александру Ивановичу, а также заместителю директора по науке Пугачевой Анне Михайловне за оказанную помощь в публикации настоящей статьи.

ACKNOWLEDGEMENTS

The author is grateful to Alexander Belyaev, Director, Federal Research Centre for Agroecology, Russian Academy of Sciences and Anna Mikhailovna Pugacheva, Deputy Director for Science, for their assistance in the publication of this article.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Балакшина В.И., Кулешов А.М. Особенности возделывания сафлора красильного в условиях Волгоградской области // Научно-агрономический журнал. 2016. N 2 (99). С. 43-45.
2. Иваненко Е.Н., Поляничко О.Ф. Перспективные образцы сафлора для использования в кормовых целях // Научно-технический бюллетень ВИР. 1993. Вып. 232. С. 34-40.
3. Dajue L., Mündel H. Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) // Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben. International Plant Genetic Resources Institute, 1996. 83 p.
4. 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. V. 93. Iss 7. P. 1699-1705. DOI: 10.1002/jsfa.5953
5. 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. V. 17. Iss 2. P. 244-247. DOI: 10.5958/2348-7542.2016.00042.5
6. Аргунов А.Б., Ватуева О.Б., Веселов В.М., Саломатина Н.А., Пильгун В.А. Некоторые свойства и особенности осадков сточных вод // Агрохимический вестник. 2013. N 4. С. 39-43.
7. Беляева С.Д. Управление осадками сточных вод – важная экологическая проблема // Водоснабжение и санитарная техника. 2007. N 1. С. 5-9.
8. Байбеков Р.Ф., Мёрзлая Г.Е., Власова О.А., Налиухин А.Н. Изучение удобрений на основе осадков сточных вод // Агрохимический вестник. 2013. N 6. С. 28-30.
9. Пындак В.И., Новиков А.Е., Межевова А.С. Адсорбционные свойства удобрений на основе осадков сточных вод // Теоретические и прикладные проблемы АПК. 2016. N 4. С. 61-64.
10. Межевова А.С. Нетрадиционные природные и техногенные удобрения-мелиоранты и их возможности // Вестник аграрной науки Дона. 2016. N 4 (36). С. 78-83.
11. Бородычев В.В., Межевова А.С. Нетрадиционные удобрения-мелиоранты в сочетании с глубокой обработкой почвы при возделывании сафлора красильного // Научно-практический журнал Дагестанского аграрного университета имени М.М. Джамбулатова. 2017. N 4 (32). С. 30-33.
12. Овчинников А.С., Пындак В.И. Развитие учения об агротехнической мелиорации земель // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. Наука и высшее профессиональное образование. 2014. N 3. С. 158-168.
13. ГОСТ 17.4.3.07-2001. Охрана природы (ССОП). Почвы. Требования к свойствам осадков сточных вод при использовании их в качестве удобрений. М.: Стандартинформ, 2001. 8 с.
14. ГОСТ 55569-2013. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Определение протеиногенных аминокислот методом капиллярного электрофореза. М.: Стандартинформ, 2013. 15 с.
15. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
16. Новиков А.Е., Межевова А.С. Способ возделывания сафлора в сухом земледелии аридных регионов. Патент РФ, N 2646056, 2018.
17. Jämtgård S., Näsholm T., Huss-Danell K. Nitrogen compounds in soil solutions of agricultural land // Soil Biology and Biochemistry. 2010. V. 42. Iss. 12. P. 2325-2330. DOI: 10.1016/j.soilbio.2010.09.011
18. Cao X., Ma Q., Wu L., Zhu L., Jin Q. Effects of ammonium application rate on uptake of soil adsorbed amino acids by rice // Journal of Zhejiang University Science B. 2016. V. 17. Iss 4. P. 294-302. DOI: 10.1631/jzus.B1500203
19. Иванайская Н.С. Влияние минеральных удобрений и предшественников на численность микроорганизмов в почве под зернобобовыми смесями // Достижения науки и техники АПК. 2009. N 3. С. 17-18.
20. Пындак В.И., Степкина Ю.А., Степкин А.А. Обоснование ферментно-кавитационного метода переработки хозяйственно-бытовых стоков с получением удобрений-мелиорантов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2013. N 3 (31). С. 183-189.
21. ГОСТ 54651-2011. Удобрения органические на основе осадков сточных вод. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2012. 18 с.

REFERENCES

1. Balakshina V.I., Kuleshov A.M. Features of cultivation of *Carthamus Tinctorius* under conditions of the Volgograd region. Nauchno-agronomicheskii zhurnal [Scientific-agronomic journal]. 2016, vol. 2, pp. 43-45. (In Russian)
2. Ivanenko E.N., Polyanichko O.F. Promising samples of safflower used for fodder purposes. Nauchno-tekhicheskii byulleten' VIR [Scientific and technical Bulletin of VIR]. 1993, vol. 232, pp. 34-40. (In Russian)
3. Dajue L., Mündel H. Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) // Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. Institute of plant genetics and crop plant research, gatersleben. International plant genetic resources institute, 1996. 83 P.
4. 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, iss 7, pp. 1699-1705. DOI: 10.1002/jsfa.5953
5. 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, pp. 244-247. DOI: 10.5958/2348-7542.2016.00042.5
6. Argunov A.B., Vatuева O.B., Veselov V.M., Salomatina N.A., Pilgun V.A. Some peculiarities and characteris-

- tics of sewage sludge. *Agrokhimicheskii vestnik* [Agrochemical Herald]. 2013, no. 4, pp. 39-43. (In Russian)
7. Belyaeva S.D. Management of wastewater sludge as the most important environmental problem. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika* [Water Supply and Sanitary Technique]. 2007, no. 1, pp. 5-9. (In Russian)
8. Baybekov R.F., Merzlaya G.E., Vlasova O.A., Naliukhin A.N. Research of fertilizers based on sewage sludge. *Agrokhimicheskii vestnik* [Agrochemical Herald]. 2013, no. 6, pp. 28-30. (In Russian)
9. Pyndak V.I., Novikov A.E., Mezheva A.S. Adsorptive properties of fertilizers based on sewage sludge. *Teoreticheskie i prikladnye problemy APK* [Theoretical and Applied Problems of Agro-industry]. 2016, no. 4, pp. 61-64. (In Russian)
10. Mezheva A.S. Alternative natural and technogenic fertilizers as the ameliorants and their possibilities. *Vestnik agrarnoi nauki Dona* [Don agrarian science bulletin]. 2016, no. 4, pp. 78-83. (In Russian)
11. Borodychev V.V., Mezheva A.S. Alternative fertilizers-ameliorants in combination with a deep soil processing in case of *Carthamus tinctorius* cultivation. *Nauchno-prakticheskii zhurnal Dagestanskogo agrarnogo universiteta imeni M.M. Dzhambulatova* [Scientific and practical journal of Dagestan agrarian University named after M.M. Dzhambulatov]. 2017, no. 4, pp. 30-33. (In Russian)
12. Ovchinnikov A.S., Pyndak V.I. Development of the doctrine about agrarian technical land reclamation. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa. Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Proceedings of nizhnevolzskiy agrouniversity complex: science and higher vocational education]. 2014, no. 3, pp. 158-168. (In Russian)
13. GOST 17.4.3.07-2001. Nature protection (SSOP). Soils. Requirements to the properties of wastewater sludge in case of using them as fertilizers. Moscow, Standartinform Publ., 2001, 8 p. (In Russian)
14. GOST 55569-2013. Feed, combined feed, combined feed raw materials. Determination of protein-forming amino acids by capillary electrophoresis. Moscow, Standartinform Publ., 2013, 15 p. (In Russian)
15. Dospekhov B.A. *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniy)* [Methodology of field experiment (with the basics of statistical processing of research results)]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1985, 351 p. (In Russian)
16. Novikov A.E., Mezheva A.S. *Sposob vozdel'yvaniya saflora v suhom zemledelii aridnykh regionov* [The method of cultivation of safflower under dry land cultivation in arid regions]. Patent RF, no. 2646056, 2018.
17. Jämtgård S., Näsholm T., Huss-Danell K. Nitrogen compounds in soil solutions of agricultural land. *Soil Biology and Biochemistry*, 2010, vol. 42, iss. 12, pp. 2325-2330. DOI: 10.1016/j.soilbio.2010.09.011
18. Cao X., Ma Q., Wu L., Zhu L., Jin Q. Effects of ammonium application rate on uptake of soil adsorbed amino acids by rice. *Journal of Zhejiang University Science B*, 2016, vol. 17, iss 4, pp. 294-302. DOI: 10.1631/jzus.B1500203
19. Ivanayskaya N.S. Influence of mineral fertilizers and its predecessors on the number of microorganisms in the soil under leguminous mixtures. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achievements of Science and Technology of AICis]. 2009, no. 3, pp. 17-18. (In Russian)
20. Pyndak V.I., Stepkina Yu.A., Stepkin, A.A. Substantiation of the enzyme-cavitation method for processing domestic wastewater to obtain fertilizers-meliorants. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Proceedings of nizhnevolzskiy agrouniversity complex: science and higher vocational education]. 2013, no. 3, pp. 183-189. (In Russian)
21. GOST 54651-2011. Organic fertilizers based on sewage sludge. Echnical conditions. Moscow, Standartinform Publ., 2012, 18 p. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Алина С. Межева собрала материал, обработала и проанализировала данные, провела обзор литературных источников, написала статью. Автор несет ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Alina S. Mezheva collected the research material, processed and analysed the data, reviewed the literature and wrote the article. The author is responsible for plagiarism and self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The author declare no conflict of interest.

ORCID

Алина С. Межева / Alina S. Mezheva <https://orcid.org/0000-0002-4579-7047>