

А. С. Межевова

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

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОМЕЛИОРАНТОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ СЛАБОГУМУСИРОВАННЫХ ПОЧВ

Цель: изучить физико-химические показатели илового осадка и возможность его использования в качестве биомелиоранта для повышения плодородия почв на территории Волгоградской области. **Материалы и методы.** Объект исследований – светло-каштановая солонцеватая почва тяжелосуглинистого гранулометрического состава, иловый осадок сточных бытовых вод. Анализ почвенных образцов проведен по общепринятым методикам. **Результаты и обсуждения.** Сравнительные данные различных иловых осадков по физико-химическим показателям позволяют сделать вывод, что переработанный по ферментно-кавитационному методу осадок сточных вод отличается оптимальной влажностью (11 %), содержит основные элементы питания: азот (3,3 %), фосфор (4,27 %), калий (0,31 %). Содержание органического вещества в иловом осадке составило 32 %, что полностью соответствует техническим условиям ГОСТ Р 54651-2011. Данные анализа водной вытяжки показывают, что в варианте с переработанным иловым осадком отмечается более высокое содержание анионов сульфата (5,40 ммоль/100 г почвы) в сравнении с вариантом светло-каштановой почвы (0,30 ммоль/100 г почвы), а также повышенное содержание катионов кальция (8,40 ммоль/100 г почвы) и магния (5,10 ммоль/100 г почвы). В результате исследования почвенных образцов было выявлено, что в почве после внесения осадка сточных вод содержание органического вещества составило 2,28 %, тогда как в образцах почвы без внесения осадка 1,67 %. Содержание нитратного азота составило от 8,3 до 30,9 мг/кг, аммиачного азота от 4,1 до 5,7 мг/кг, подвижного фосфора от 82,0 до 102,0 мг/кг, обменного калия от 385 до 392 мг/кг по вариантам опыта. Проведенные исследования содержания тяжелых металлов в почве показывают, что по всем нормируемым показателям превышений не обнаружено. **Выводы:** для повышения продуктивности слабогумусированных почв целесообразно использовать иловый осадок сточных вод в качестве биомелиоранта после его биологической очистки.

Ключевые слова: иловый осадок; биомелиорант; почва; органическое вещество; плодородие; тяжелые металлы.

A. S. Mezhevova

Federal State Budget Scientific Institution “Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences”, Volgograd, Russian Federation

BIOMELIORANT APPLICATION FOR INCREASING THE PRODUCTIVITY OF SLIGHTLY HUMIC SOILS

Purpose: to study physical-chemical parameters of sludge and the possibility of its application as a biomeliorant for increasing soil fertility in Volgograd region. **Materials and methods.** The object of research is light chestnut solonetzic soil of heavy loamy granulometric texture, silt sludge of domestic waste water. The analysis of soil samples was carried out ac-



ording to generally accepted methods. **Results and discussion.** Comparative data of various sludge sediments in terms of physical-chemical parameters allow for the conclusion that the sewage sludge processed by the enzymatic-cavitation method has optimal moisture content (11 %), contains the main nutrients: nitrogen (3.3 %), phosphorus (4.27 %), potassium (0.31 %). The content of organic matter in the sludge was 32 %, which fully complies with the specifications of GOST R 54651-2011. The data of the water extract analysis show that in the variant with the processed sludge sediment there is a higher content of sulfate anions (5.40 mmol/100 g soil) in comparison with the variant of light chestnut soil (0.30 mmol/100 g soil), and increased content of calcium cations (8.40 mmol/100 g soil) and magnesium (5.10 mmol/100 g soil). As a result of the study of soil samples, it was found that after the introduction of sewage sludge in soil, the content of organic matter was 2.28 %, while in soil samples without the introduction of sediment it was 1.67 %. The content of nitrate nitrogen ranged from 8.3 to 30.9 mg/kg, ammonia nitrogen from 4.1 to 5.7 mg/kg, mobile phosphorus from 82.0 to 102.0 mg/kg, exchangeable potassium from 385 to 392 mg/kg according to the variants of the experiment. The conducted studies of the content of heavy metals in soil show that no excess was found for all standardized indicators. **Conclusions:** it is advisable to use sewage sludge after its biological treatment as a bioremediant for increasing the productivity of slightly humic soils.

Key words: sludge; bioremediant; soil; organic matter; fertility; heavy metals.

Введение. В связи с возрастанием площадей деградированных и неиспользуемых земель в ряде регионов юга России возникает необходимость поиска нетрадиционных мелиораций для решения проблем пополнения гумуса и формирования оптимальной среды обитания сельскохозяйственных культур. Принимая во внимание современную стратегию сельскохозяйственного производства, основанную на химизации и применении необоснованно высоких доз минеральных удобрений, целесообразно расширить область применения экологических мелиорантов с высокой удобрительной ценностью.

Повышение и поддержание плодородия почв, возврат в почву элементов питания, вынесенных с урожаем, возможны за счет применения органических удобрений, доля использования которых в РФ, по данным Росстата, остается на весьма низком уровне (рисунок 1) [1].

В свою очередь, внесение высоких доз минеральных удобрений приводит к деградации земель, засолению почвы и снижению уровня плодородия. В связи с этим в последние годы возрастает интерес к нетрадиционным органоминеральным удобрениям, в частности к иловым осадкам сточных вод, используемым в качестве биомелиоранта. В России в каче-

стве удобрения организовано используется не более 5 % осадков, несмотря на острый недостаток органических и высокую стоимость минеральных удобрений [2]. Поэтому весьма актуально увеличение применения осадков сточных вод в качестве удобрений и мелиорантов.

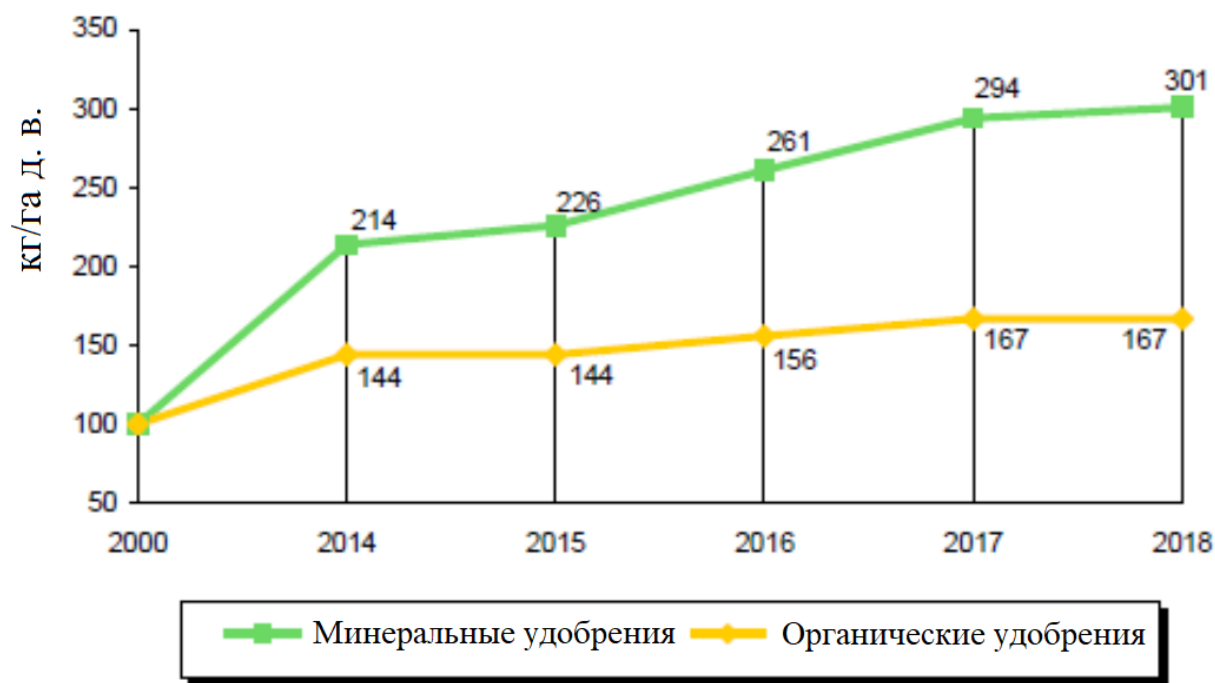


Рисунок 1 – Внесение минеральных и органических удобрений в расчете на 1 га посевов в сельскохозяйственных организациях (данные Росстата)

По мнению некоторых авторов [3], использование компостов на основе осадков сточных вод в качестве нетрадиционного мелиоранта является эффективным способом рекультивации нарушенных земель, а также повышения плодородия почв. Обоснование экологически безопасного использования сточных вод описано в работе А. В. Ильинского и др. [4]; по мнению авторов, необходимо разрабатывать и внедрять применение органоминеральных удобрений на основе осадков сточных вод с целью восстановления деградированных земель и повышения их продуктивности. В работе А. Н. Арефьева и др. [5] авторами рекомендовано внесение биомелиорантов на основе осадков сточных вод и традиционных органических удобрений с целью как повышения плодородия почвы, так и получе-

ния экологически безопасной растениеводческой продукции. Однако необходимо отметить, что использование таких мелиорантов в сельском хозяйстве требует контроля [6]. Действующие станции очистки основаны преимущественно на аэробных или анаэробных принципах биологического воздействия на органическую компоненту поступающих стоков, занимают огромные площади, характеризуются высокой энергоемкостью и экологически небезупречны [7].

Волгоградскими учеными разработан и внедрен аэробный ферментно-кавитационный метод биологической очистки сточных вод и обработки илового осадка [8, 9], позволяющий получить эффективное органоминеральное удобрение.

Целью работы являлось изучение физико-химических показателей илового осадка и возможности его использования в качестве биомелиоранта для повышения плодородия почв на территории Волгоградской области.

Материалы и методы. Экспериментальные полевые исследования проводили на опытном поле в УНПЦ «Горная Поляна» в подзоне светло-каштановых солонцеватых почв. По гранулометрическому составу почвы тяжелосуглинистые.

Варианты опыта: светло-каштановая почва, светло-каштановая почва + осадок сточных вод в дозе 10 т/га.

В опытах проводили чизельную обработку почвы, осадок заделывали в почву на глубину оборота пласта (15 см).

Доза внесения осадка сточных вод в почву – 10 т/га (определяли в соответствии с расчетной формулой максимально допустимых доз внесения удобрений на основе осадка сточных вод согласно ГОСТ Р 17.4.3.07-2001). Периодичность внесения осадка сточных вод – один раз в 2–3 года.

Перерабатывали осадок сточных вод методом биологической очистки (ферментно-кавитационный метод) на очистных сооружениях г. Волжского.

Ферментно-кавитационный метод предусматривает, в частности, 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. В результате этого субстрат и активный ил (иловый осадок) находятся в микропузырьковой и обогащенной (активной) среде. Схлопывание камер кавитации и кислород обеспечивают разложение и дробление органики, уничтожение патогенной микрофлоры, высвобождение минеральных элементов питания.

Пробы почвы отбирали согласно ГОСТ 17.4.4.02-2017 «Охрана природы (ССОП). Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа».

Почвенные вытяжки готовили согласно ГОСТ 26423-85 «Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, рН и плотного остатка водной вытяжки».

Ионы хлорида, ионы сульфата в водной вытяжке определяли согласно ГОСТ 26425-85 и ГОСТ 26426-85 соответственно, натрий и калий согласно ГОСТ 26427-85, кальций и магний согласно ГОСТ 26428-85, ионы гидрокарбоната согласно ГОСТ 26424-85.

Содержание органического вещества в почве определяли согласно ГОСТ 26213-91, соединения подвижного фосфора и калия согласно ГОСТ 26205-91, аммонийный азот согласно ГОСТ 4192-82, ПНД Ф 14.1: 2:4.262-10, МВИ-04-148-10, нитратный азот согласно МВИ-10-149-10.

Содержание тяжелых металлов в иловом осадке и почве определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии.

Результаты и обсуждение. В каждом городе и в крупных населенных пунктах имеются станции для очистки хозяйственно-бытовых и городских (канализационных) сточных вод. Получаемый в результате традиционной обработки иловый осадок зачастую относится к экологически не-

пригодным отходам 4-го класса опасности. Недостаточно обработанный осадок сточных вод – гелеобразная консистенция влажностью свыше 70 %, с высоким содержанием непереработанной (некондиционной) органики и наличием патогенной микрофлоры. Получаемый в результате очистки ферментно-кавитационным методом иловый осадок имеет ряд принципиальных отличий от классических («серийных») осадков. Известно, что гумус – основной показатель плодородия почв. В глубокопереработанном осадке фиксируется повышенное содержание органического вещества (для сравнения: определение гумуса для «серийных» осадков невозможно и практически бесполезно, так как в гелеобразной консистенции с непереработанной органикой гумуса не может быть по определению). Сравнительные показатели «серийных» и переработанных ферментно-кавитационным методом иловых осадков сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Сравнительные показатели «серийных» и переработанных осадков

Контролируемый показатель	Значение по нормативно-технической документации	«Серийный» осадок	Осадок, переработанный ферментно-кавитационным методом
Влага, %	Не более 70	Более 70	11
Массовая доля органического вещества в пересчете на С, %	Не менее 30	< 15	32
Азот общий, %	> 0,5	2,5	3,3
Фосфор общий, %	> 1,5	2,0	4,27
Калий общий, %	Не нормируется	0,25	0,31

В результате оценки сравнительных данных установлено, что массовая доля влаги в «серийных» осадках, прошедших классическую обработку, составляет свыше 70 %, это затрудняет их последующее использование ввиду высокой влажности. В результате биологической очистки ферментно-кавитационным методом массовая доля влаги достигала оптимального значения – 11 %, при такой влажности осадок становится сыпучим и может использоваться в качестве удобрения (рисунок 2).



**Рисунок 2 – Иловый осадок после биологической очистки
(очистные сооружения г. Волжского)
(автор фото А. С. Межевова)**

Проведенные исследования содержания тяжелых металлов в иловом осадке показывают, что их количество не превышает ПДК, установленных в технических требованиях ГОСТ Р 54651-2011 [6]. Содержание тяжелых металлов составило: свинец – 24,0 мг/кг, кадмий – 1,33 мг/кг, цинк – 135,0 мг/кг, медь – 131,0 мг/кг, никель – 22,4 мг/кг, ртуть – 1,90 мг/кг, мышьяк – 0,5 мг/кг. ГХЦГ-изомеры не обнаружены, ДДТ и его метаболиты не обнаружены.

Важнейшим показателем удобрительной ценности осадков сточных вод является содержание органического вещества, которое в «серийных» осадках составляет меньше 15 %. Так, если опираться на условия ГОСТ Р 54651-2011 [6], содержание органического вещества должно составлять не менее 30 %, и на основе полученных нами данных было установлено, что используемый иловый осадок полностью отвечает требованиям вышеуказанного ГОСТ Р 54651-2011 и может использоваться в качестве биомелиоранта с целью повышения плодородия почв. Необходимо отметить, что в осадке зафиксировано наличие общих форм азота (3,3 %), фосфора (4,27 %) и калия (0,31 %), которые оказывают стимулирующее воздействие на почвенную флору и корневую систему растений.

Для количественного определения содержания катионов и анионов в почве готовили водную вытяжку. Сравнительные данные анализа водной вытяжки из образцов переработанного осадка и светло-каштановой почвы сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Данные анализа водной вытяжки из образцов

В ммоль/100 г почвы (осадка)

Вариант	Показатель								
	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Σ анионов	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	Σ катионов
Светло-каштановая почва	0,40	0,10	0,30	0,80	0,80	0,20	0,50	0,03	1,53
Переработанный осадок	0,30	0,10	5,40	5,80	8,40	5,10	0,30	0,20	14,0

Установлено, что в исследуемых пробах содержание анионов сульфата SO_4^{2-} составляет 5,40 ммоль/100 г почвы в варианте с переработанным иловым осадком против 0,30 ммоль/100 г почвы в варианте светло-каштановой почвы. Как известно, ионы SO_4^{2-} обладают биогенной активностью и благоприятным образом влияют на жизнедеятельность микрофлоры, а также являются незаменимым источником минерального питания. Соединения серы, участвуя в жизнедеятельности растений, стимулируют окислительно-восстановительные реакции в клетках. По современным данным [10], сера – это биофил, необходимый растениям наряду с азотом, углеродом и фосфором, но поступление в почву серы естественным путем резко сократилось, поэтому альтернативным источником «доставки» серы может служить переработанный иловый осадок. Необходимо отметить, что в переработанном иловом осадке отмечается повышенное содержание катионов Ca^{2+} (8,40 ммоль/100 г почвы) и Mg^{2+} (5,10 ммоль/100 г почвы), присутствуют также катионы Na^+ и K^+ .

Особый интерес представляет сравнительный анализ почвы по вариантам опыта (таблица 3).

Как известно, качество почвы коренным образом связано с наличием органического вещества. Оно является главным компонентом, который

значительно влияет на физические, химические и биологические свойства почвы. Поэтому весьма актуально для решения проблем плодородия искать нетрадиционные пути поступления органического вещества в почву.

Таблица 3 – Данные анализа почвенных образцов

Вариант	Органическое вещество, %	Мг/кг воздушно-сухой почвы			
		N-NO ₃	N-NH ₄	P ₂ O ₅	K ₂ O
Светло-каштановая почва	1,67	8,3	4,1	82,0	385
Светло-каштановая почва + осадок сточных вод в дозе 10 т/га	2,28	30,9	5,7	102,0	392

Почвенные образцы отбирали осенью, после внесения осадка сточных вод и его заделки в почву.

По результатам исследований выявлено, что содержание органического вещества в почве – одного из главных показателей плодородия – существенно ниже в варианте с почвой без осадка (1,67 %), в то время как в образцах почвы с осадком удалось достигнуть более высоких показателей, содержание органического вещества в этом варианте составило 2,28 %. Содержание нитратного азота N-NO₃ составило от 8,3 до 30,9 мг/кг, аммиачного азота N-NH₄ от 4,1 до 5,7 мг/кг, подвижного фосфора P₂O₅ от 82,0 до 102,0 мг/кг, обменного калия K₂O от 385 до 392 мг/кг по вариантам опыта. Полученные результаты позволяют сделать вывод, что внесение в почву илового осадка увеличивает содержание органического вещества и основных элементов питания, что весьма важно для решения проблем повышения продуктивности слабогумусированных почв.

Следует отметить, что на качество илового осадка, получаемого даже в результате биологической очистки, оказывает влияние наличие тяжелых металлов в стоках или их «эпизодическое» присутствие, поэтому необходимо проведение анализа почвы для определения содержания тяжелых металлов. Сравнительные данные представлены в таблице 4.

Анализируя данные, показанные в таблице 4, необходимо отметить, что содержание тяжелых металлов в почве после внесения илового осадка

не превышает ОДК. Наличие в осадках сточных вод цинка и кадмия – результат несанкционированного сброса промышленных отходов в канализационные системы, а наличие особо токсичных металлов, таких как ртуть и мышьяк, находится в пределах допустимого, причем ртуть практически отсутствует. Таким образом, в целом по всем нормируемым показателям содержание тяжелых металлов не превышает ОДК.

Таблица 4 – Содержание тяжелых металлов в почве

Тяжелый металл	Значения ОДК по нормативно-технической документации	Фактическое значение	Отклонение от нормативно-технической документации
Свинец	130	97,3	32,7
Кадмий	2	1,7	0,3
Цинк	220	62,5	157,5
Медь	132	19	113
Ртуть	2,1	0,01	2,09
Мышьяк	10	4,9	5,1
Никель	80	43,1	36,9

Выводы

1 Принимая во внимание современные стратегии развития сельского хозяйства, основанные на химизации, весьма актуальным считаем внедрение экологических технологий с применением органоминеральных удобрений, полученных в результате биологической очистки сточных бытовых вод с целью дальнейшего их использования для поддержания плодородия почвы.

2 Проведенные исследования физико-химических показателей иловых осадков позволяют сделать вывод, что переработанный по ферментно-кавитационному методу иловый осадок полностью соответствует требованиям ГОСТ Р 54651-2011.

3 Данные анализа водной вытяжки показывают, что в варианте с переработанным иловым осадком отмечается более высокое содержание анионов сульфата SO_4^{2-} (5,40 ммоль/100 г почвы) в сравнении с вариантом светло-каштановой почвы (0,30 ммоль/100 г почвы), а также повышенное содержание катионов Ca^{2+} (8,40 ммоль/100 г почвы) и Mg^{2+} (5,10 ммоль/100 г почвы).

4 В ходе анализа данных почвенных образцов было выявлено, что более высокое содержание органического вещества зафиксировано в варианте с использованием в качестве биомелиоранта осадка сточных вод (2,28 %), тогда как в варианте почвы без осадка – 1,67 %. Содержание нитратного азота N-NO₃ составило от 8,3 до 30,9 мг/кг, аммиачного азота N-NH₄ от 4,1 до 5,7 мг/кг, подвижного фосфора P₂O₅ от 82,0 до 102,0 мг/кг, обменного калия K₂O от 385 до 392 мг/кг по вариантам опыта.

5 Анализ почвенных образцов на содержание металлов позволяет сделать вывод, что их количество не превышает ОДК.

Список использованных источников

- 1 Федеральная служба государственной статистики. Сельское хозяйство в России 2019: стат. сб. / Росстат. – М., 2019. – 91 с.
- 2 Давыдов, А. С. Почвенная утилизация осадков сточных вод – экологически безопасный способ повышения плодородия и охраны земель / А. С. Давыдов, Р. П. Воробьева // Природообустройство. – 2008. – № 5. – С. 38–42.
- 3 Malyuta, O. Non-traditional fertilizers as soil ameliorants: the study of usefulness / O. Malyuta, T. Gordeeva, N. Yatmanova // BIO Web of Conferences. – 2020. – Vol. 17. – Article Number 00120. – 6 p. – DOI: 10.1051/BIOCONF/20201700120.
- 4 Ильинский, А. В. Обоснование экологически безопасного использования осадков сточных вод канализационных очистных сооружений жилищно-коммунального хозяйства / А. В. Ильинский, К. Н. Евсенкин, А. В. Нефедов // Агрехимический вестник. – 2020. – № 1. – С. 60–64. – DOI: 10.24411/1029-2551-2020-10009.
- 5 Арефьев, А. Н. Влияние биомелиорантов на степень загрязнения чернозема выщелоченного тяжелыми металлами и урожайность сельскохозяйственных культур / А. Н. Арефьев, Н. А. Фомин // Нива Поволжья. – 2008. – № 4(9). – С. 1–7.
- 6 ГОСТ Р 54651-2011. Удобрения органические на основе осадков сточных вод. Технические условия. – Введ. 2013-01-01. – М.: Стандартиформ, 2012. – 18 с.
- 7 Пындак, В. И. Развитие теории и практики создания биоинженерного машиностроения для переработки отходов / В. И. Пындак, А. Е. Новиков, В. Н. Штепа // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2017. – № 4. – С. 1–5.
- 8 Пындак, В. И. Проблемы и перспективы биоинженерного машиностроения (на примере развития переработки стоков) / В. И. Пындак, Ю. А. Степкина // Проблемы машиностроения и автоматизации. – 2013. – № 4. – С. 44–47.
- 9 Пындак, В. И. Обоснование ферментно-кавитационного метода переработки хозяйственно-бытовых стоков с получением удобрений-мелиорантов / В. И. Пындак, Ю. А. Степкина, А. А. Степкин // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2013. – № 3. – С. 183–189.
- 10 Слюсарев, В. Н. Сера в почвах Северо-Западного Кавказа (агрэкологические аспекты): монография / В. Н. Слюсарев. – Краснодар: КубГАУ, 2007. – 230 с.

References

- 1 *Federal'naya sluzhba gosudarstvennoy statistiki. Sel'skoe khozyaystvo v Rossii 2019: stat. sb.* [Federal State Statistics Service. Agriculture in Russia 2019: stat. book]. Rosstat, Moscow, 2019, 91 p. (In Russian).

2 Davydov A.S., Vorob'eva R.P., 2008. *Pochvennaya utilizatsiya osadkov stochnykh vod – ekologicheski bezopasnyy sposob povysheniya plodorodiya i okhrany zemel* [Soil utilization of sewage sludge - an environmentally friendly way to increase fertility and land protection]. *Prirodobustroystvo* [Environmental Engineering], no. 5, pp. 38-42. (In Russian).

3 Malyuta O., Gordeeva T., Yatmanova N., 2020. Non-traditional fertilizers as soil ameliorants: the study of usefulness. *BIO Web of Conferences*, vol. 17, Article Number 00120, 6 p., DOI: 10.1051/BIOCONF/20201700120.

4 Il'yinsky A.V., Evsenkin K.N., Nefedov A.V., 2020. *Obosnovanie ekologicheski bezopasnogo ispol'zovaniya osadkov stochnykh vod kanalizatsionnykh ochestnykh sooruzheniy zhilishchno-kommunal'nogo khozyaystva* [Justification of ecologically safe use of sewage sludge from sewage treatment facilities of housing and communal services]. *Agrokhimicheskiiy vestnik* [Agrochemical Bulletin], no. 1, pp. 60-64, DOI: 10.24411/1029-2551-2020-10009. (In Russian).

5 Arefiev A.N., Fomin N.A., 2008. *Vliyanie biomeliorantov na stepen' zagryazneniya chernozema vyshchelochennogo tyazhelymi metallami i urozhaynost' sel'skokhozyaystvennykh kul'tur* [Influence of biomeliorants on the degree of contamination of chernozem leached with heavy metals and the yield of agricultural crops]. *Niva Povolzh'ya* [Volga Report Farmland], no. 4(9), pp. 1-7. (In Russian).

6 *GOST R 54651-2011. Udobreniya organicheskie na osnove osadkov stochnykh vod. Tekhnicheskie usloviya* [Organic Fertilizers Based on Sewage Sludge. Technical Conditions]. Moscow, Standartinform Publ., 2012, 18 p. (In Russian).

7 Pyndak V.I., Novikov A.E., Shtepa V.N., 2017. *Razvitie teorii i praktiki sozdaniya bioinzhenernogo mashinostroeniya dlya pererabotki otkhodov* [Development of the theory and practice of creating bioengineering mechanical engineering for waste processing]. *Problemy mashinostroeniya i nadezhnosti mashin* [Problems of Mechanical Engineering and Reliability of Machines], no. 4, pp. 1-5. (In Russian).

8 Pyndak V.I., Stepkina Yu.A., 2013. *Problemy i perspektivy bioinzhenernogo mashinostroyeniya (na primere razvitiya pererabotki stokov)* [Problems and prospects of bioengineering mechanical engineering (case study of methods of waste water treatment)]. *Problemy mashinostroeniya i avtomatizatsii* [Problems of Mechanical Engineering and Automation], no. 4, pp. 44-47. (In Russian).

9 Pyndak V.I., Stepkina Yu.A., Stepkin A.A., 2013. *Obosnovanie fermentno-kavitatsionnogo metoda pererabotki khozyaystvenno-bytovykh stokov s polucheniem udobreniy-meliorantov* [Justification of the enzymatic-cavitation method of processing household waste water to obtain fertilizers-ameliorants]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Bulletin of the Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education], no. 3, pp. 183-189. (In Russian).

10 Slyusarev V.N., 2007. *Sera v pochvakh Severo-Zapadnogo Kavkaza (agroekologicheskie aspekty): monografiya* [Sulfur in Soils of the North-West Caucasus (Agroecological Aspects): monograph]. Krasnodar, KubGAU, 230 p. (In Russian).

Межевова Алина Сергеевна

Должность: научный сотрудник

Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук»

Адрес организации: пр-т Университетский, 97, г. Волгоград, Российская Федерация, 400062

E-mail: asmezhhevova@mail.ru

Mezhevova Alina Sergeyevna

Position: Researcher

Affiliation: Federal State Budget Scientific Institution “Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences”

Affiliation address: Universitetskiy ave., 97, Volgograd, Russian Federation, 400062

E-mail: asmezhevova@mail.ru

Поступила в редакцию 10.08.2020

После доработки 23.09.2020

Принята к публикации 23.10.2020