ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ. АГРОИНЖЕНЕРИЯ

DOI: 10.32786/2071-9485-2021-01-37

COMPOSITION, STRUCTURE AND MORPHOLOGY OF SEWAGE SLUDGE

A.S. Mezheva¹, A.E. Novikov²

¹*Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation
of Russian Academy of Science, Volgograd*

²*Federal State Budget Institution «All-Russian Scientific Research Institute of Irrigated Agriculture»,
Volgograd*

Received 14.12.2020

Submitted 19.02.2021

*The article was prepared with the support of the grant
of the President of the Russian Federation MD-311.2020.11.*

Summary

The article presents the results of a study of the agrochemical composition, physical structure and morphology of sewage sludge proposed for use as an organic fertilizer, as well as the results of its testing at a dose of 10 t/ha in the cultivation of safflower dye without irrigation on low-humus light chestnut soils in the hot climate of the Volgograd region.

Abstract

Introduction. To improve the structure of the soil, its agrophysical, chemical-biological and anti-erosion properties, the use of sewage sludge is widespread, which after dewatering and processing by aerobic stabilization, anaerobic digestion, composting and other methods represent a valuable organic fertilizer. At the same time, the composition of silt substrates can vary depending on the pollutants coming from wastewater for biological treatment and often contain heavy metals and pathogenic microflora. In field experiments, the effectiveness of sewage sludge as a fertilizer or meliorant in the cultivation of various agricultural crops according to the integral indicator of productivity has been repeatedly proved. However, the observed effects on increasing soil moisture capacity were not theoretically justified. In this connection, the study of the composition, structure and morphology of sewage sludge is relevant and can reveal the physics of the process of adsorption of vaporous moisture from the atmosphere and its preservation in the root layer of the soil. The use of such substrates, on the one hand, having a fertilizing value, and on the other - showing moisture-retaining properties, is an important link in regulating the hydrothermal regime of the soil and managing the production process of agrocenosis in arid climates. **Object.** The object of laboratory experiments is sewage sludge, its composition, structure and morphology. In field experiments - the yield of safflower dye and the dynamics of soil moisture. **Materials and methods.** Sewage sludge after its treatment and dewatering was taken from the Municipal Unitary Enterprise Vodokanal in Volzhsky, Volgograd region. The agrochemical composition of the sediment was studied according to GOST-approved methods in an analytical laboratory. The structure and morphology were studied by scanning electron microscopy on a JSM-6490LV device. Field experiments to assess the effect of sewage sludge on the dynamics of soil moisture and the yield of safflower dye were carried out on low-humus non-irrigated light chestnut soils in the arid climate of the Volgograd region. Mode of operation of the microscope: accelerating voltage $U = 10$ and 20 kV; resolution in high vacuum mode-3 nm, in low vacuum mode-4 nm; magnification range-from $\times 40$ to $\times 20000$; contrast - topographic with secondary scattered electrons, as well as composite, topographic and shadow with reflected electrons. Sediment samples were applied to a special substrate made of double-sided carbon tape. The remains of the samples that were not glued to the substrate were removed with a jet of air. The samples were then placed in a microscope column. In field experiments, soil moisture in the 0-0.4 m layer was determined by the thermostatic-weight method. **Results and conclusion.** The results of laboratory analyses showed that sewage sludge has a high fertilizer value for nitrogen (3.3%), phosphorus (4.27%), potassium (0.31%) and organic matter (32%), and has the prospect of widespread use in the reclamation of low-humus soils. Analysis of the sediment by the using a scanning electron microscope method revealed a loose, rough,

inhomogeneous porous structure, represented by amorphous flakes and crystalline inclusions. By measuring the linear dimensions of the microrelief of the sediment surface, it is established that the silt substrate consists of many particles from 0.1 to 500 microns, some of which are aggregated. The developed porosity, passing from macropores to mesopores, proves the presence of moisture-absorbing and moisture-retaining properties in the sewage sludge. In field experiments, it was proved that the introduction of a silt substrate into the soil at a dose of 10 t / ha provides an increase in moisture reserves from 16 to 37% (according to the phases of growth and development of safflower) and an increase in the yield of safflower by 13%.

Key words: *sewage sludge, fertilizer, moisture sorbent, composition, structure, morphology, scanning electron microscopy.*

Citation. Mezheva A.S., Novikov A.E. Composition, structure and morphology of sewage sludge. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2021. 1(61). 389-398 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2021-01-37.

Author's contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 628.3

СОСТАВ, СТРУКТУРА И МОРФОЛОГИЯ ОСАДКА СТОЧНЫХ ВОД

А. С. Межева¹, кандидат сельскохозяйственных наук

А. Е. Новиков², доктор технических наук

¹ФГБНУ Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций
и защитного лесоразведения Российской академии наук, г. Волгоград

²ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия,
г. Волгоград

Дата поступления в редакцию 14.12.2020

Дата принятия к печати 19.02.2021

**Статья подготовлена при поддержке гранта Президента Российской Федерации
МД-311.2020.11.**

Актуальность. Для улучшения структуры почвы, ее агрофизических, химико-биологических и противозерозионных свойств широко распространено использование осадков сточных вод, которые после обезвоживания и переработки путем аэробной стабилизации, анаэробного сбраживания, компостирования и других методов представляют ценное органическое удобрение. При этом состав иловых субстратов может варьироваться в зависимости от загрязнений, поступающих со сточными водами на биологическую очистку, и нередко содержать тяжелые металлы и патогенную микрофлору. В полевых экспериментах неоднократно доказывалась эффективность осадка сточных вод в качестве удобрения или мелиоранта при возделывании различных сельскохозяйственных культур по интегральному показателю урожайность. Однако наблюдаемые эффекты по повышению влагоемкости почв теоретически не были обоснованы, в связи с чем исследование состава, структуры и морфологии осадка сточных вод актуально и может раскрыть физику процесса адсорбции парообразной влаги из атмосферы и ее сохранение в корнеобитаемом слое почвы. Использование подобных субстратов, с одной стороны, обладающих удобрительной ценностью, а с другой – проявляющих влагоудерживающие свойства, является важным звеном регулирования гидротермического режима почвы и управления продукционным процессом агроценоза в условиях засушливого климата. **Объект.** Объектом лабораторных опытов является осадок сточных вод, его состав, структура и морфология. В полевых экспериментах – урожайность сафлора красильного и динамика почвенной влаги. **Материалы и методы.** Осадок сточных вод после его обработки и обезвоживания отбирали с «МУП Водоканал» г. Волжского Волгоградской области. Агрохимический состав осадка изучали по гостированным методикам в аналитической лаборатории. Структуру и морфологию исследовали методом сканирующей электронной микроскопии на аппарате JSM-

6490LV. Полевые опыты по оценке влияния осадка сточных вод на динамику почвенной влаги и урожайность сафлора красильного проводили на малогумусных неорошаемых светло-каштановых почвах в условиях засушливого климата Волгоградской области. Режим работы микроскопа: ускоряющее напряжение $U = 10$ и 20 кВ; разрешение в режиме высокого вакуума - 3 нм, в режиме низкого вакуума - 4 нм; диапазон увеличения - от $\times 40$ до $\times 20000$; контраст - топографический при вторично рассеянных электронах, а также композиционный, топографический и теневой при отраженных электронах. Образцы осадка наносили на специальную подложку из двустороннего углеродного скотча. Остатки образцов, не приклеившиеся к подложке, удаляли струей воздуха. Затем образцы помещали в колонну микроскопа. В полевых экспериментах влажность почвы в слое $0-0,4$ м определяли термостатно-весовым методом. **Результаты и выводы.** Результатами лабораторных анализов установлено, что осадок сточных вод обладает высокой удобрительной ценностью по азоту ($3,3\%$), фосфору ($4,27\%$), калию ($0,31\%$) и органическому веществу (32%), имеет перспективу широкого использования при мелиорации слабогумусированных почв. Анализ осадка методом СЭМ выявил у него рыхлую, шероховатую неоднородную пористую структуру, представленную аморфными хлопьями и кристаллическими включениями. Измерением линейных размеров микро-рельефа поверхности осадка установлено, что иловой субстрат состоит из множества частиц от $0,1$ до 500 мкм, некоторые из них являются агрегированными. Развитая пористость, переходящая от макропор к мезопорам, доказывает наличие у осадка сточных вод влагосорбирующих и влагоудерживающих свойств. В полевых экспериментах доказано, что внесение в почву илового субстрата в дозе 10 т/га обеспечивает увеличение запасов влаги от 16 до 37% (по фазам роста и развития сафлора) и повышение урожайности сафлора на 13% .

Ключевые слова: осадок сточных вод, влагосорбенты, состав осадка сточных вод, структура осадка сточных вод, морфология осадка сточных вод.

Цитирование. Межевова А. С., Новиков А. Е. Состав, структура и морфология осадка сточных вод. *Известия НВ АУК*. 2021. 1(61). 389-398. DOI: 10.32786/2071-9485-2021-01-37.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Использование осадка сточных вод и самих сточных вод в качестве вторичного ресурса широко распространено во всем мире [11, 13, 15, 16]. Известно, что осадки сточных вод могут перерабатываться, обезвреживаться и применяться как ценное органическое удобрение (биогумус, компосты, мелиоранты, органоминеральные удобрения) [3-6]. В промышленно развитых странах уже в течение многих лет осадок после предварительной обработки используется для целей сельского хозяйства – для повышения продуктивности слабогумусированных почв [1, 7, 9, 10]. В связи с этим утилизация осадка сточных вод в качестве удобрения и влагосорбента считается приоритетным направлением, однако исследования его состава, структуры и морфологии практически отсутствуют. Получение этих научных данных позволит объяснить закономерности, протекающие в системе «почва – биотические компоненты агробиоценоза» при его внесении.

Одним из основных инструментов получения экспериментальных данных о составе любого материала, в том числе входящих в него фаз, об атомно-кристаллической

структуре, микроструктуре и морфологии считается метод сканирующей электронной микроскопии (СЭМ), обладающий высокой информативностью и универсальностью, простотой и удобством управления современным оборудованием [8].

Таким образом, цель исследования состояла в изучении состава, структуры и морфологии осадка сточных вод методом СЭМ.

Материалы и методы. Исследуемый осадок сточных вод после его обработки и обезвоживания отбирали с «МУП Водоканал» г. Волжского Волгоградской области.

В составе осадка аналитическими методами в лабораторных условиях изучали основные агрохимические показатели: общий и аммиачный азот (ГОСТ Р 26715-85, 26716-85), общий фосфор (ГОСТ Р 26717-85) и калий (ГОСТ Р 26718-85), органическое вещество (ГОСТ Р 27980-88) и золу (ГОСТ Р 26714-85), влагосодержание (ГОСТ Р 54651-2011) и кислотно-щелочное равновесие (ГОСТ Р 27979-88).

Структуру и морфологию поверхности частиц осадка сточных вод исследовали с помощью растрового (сканирующего) электронного микроскопа JSM-6490LV (Япония), позволяющего проводить количественный анализ структурно-функционального состояния микрообъектов на основе информации об их молекулярном составе, визуализации процессов взаимодействия биологических макромолекул, измерения скорости изменения концентраций веществ при быстропотекающих процессах в локальных областях. Режим работы микроскопа: ускоряющее напряжение $U = 10$ и 20 кВ; разрешение в режиме высокого вакуума – 3 нм, в режиме низкого вакуума – 4 нм; диапазон увеличения - от $\times 40$ до $\times 20000$; контраст – топографический при вторично рассеянных электронах, а также композиционный, топографический и теневой при отраженных электронах. Образцы осадка наносили на специальную подложку из двустороннего углеродного скотча. Остатки образцов, не приклеившихся к подложке, удаляли струей воздуха. Затем образцы помещали в колонну микроскопа. В случае непроводящих образцов на поверхность осадка наносили токопроводящий слой алюминия методом напыления в вакуумной установке ВУП-5.

В полевых экспериментах влажность почвы в слое $0-0,4$ м определяли термостатно-весовым методом.

Результаты и обсуждение. Осадок сточных вод – это твердая фракция, содержащая органоминеральные вещества, выделяемые биоценозом активного ила в процессе его жизнедеятельности при реализации технологии биологической обработки сточных вод. Как известно, наличие в осадке элементов питания растений и органического вещества определяет целесообразность их использования в сельском хозяйстве в качестве удобрения. При этом агрохимический состав осадков зависит от исходного «сырья» и методов, применяемых в технологии их обработки. Анализируя данные, полученные в ходе изучения агрохимических показателей (таблица 1), следует отметить в осадке содержание общих форм азота ($3,3\%$), фосфора ($4,27\%$) и калия ($0,31\%$), а также повышенное содержание органического вещества – 32% . Полученные результаты исследования подтверждают целесообразность использования осадка сточных вод для мелиорации малопродуктивных и деградированных сельскохозяйственных земель.

Таблица 1 – Агрохимический состав осадка сточных вод

Table 1 – Agrochemical composition of sewage sludge

Контролируемые показатели / Controlled indicators	Результаты испытаний / Test results
Общий азот / Total nitrogen, %	3,30

Аммиачный азот / Ammonia nitrogen, %	0,19
Общий фосфор / Total phosphorus, %	4,27
Общий калий / Total Potassium, %	0,31
Массовая доля органического вещества в пересчете на углерод / Mass fraction of organic matter in terms of carbon, %	32,0
Массовая доля золы / Mass fraction of ash, %	35,0
Массовая доля влаги / Mass fraction of moisture, %	11,0
Реакция среды, pH солевое / Reaction of the medium, pH salt	6,60

Исследование структуры и морфологии поверхности осадка сточных вод при различном увеличении представлено на рисунке 1.

Анализ осадка методом СЭМ выявил у него рыхлую, шероховатую неоднородную пористую структуру, представленную аморфными хлопьями и кристаллическими включениями. Измерением линейных размеров микрорельефа поверхности осадка установлено, что иловый субстрат состоит из множества частиц от 0,1 до 500 мкм, некоторые из них являются агрегированными. Ширина видимых пор варьирует от 6 мкм до 4 нм, что согласуется с литературными данными [14].

Таким образом, осадок сточных вод представляет наноструктурированный материал, его шероховатая поверхность обеспечивает большую площадь химического связывания. Наличие развитой переходной пористости, включающей мезо- и макропоры, доказывает присутствие у осадка адсорбционных свойств и способность удерживать влагу при внесении его в качестве удобрения и влагосорбента, связывать тяжелые металлы и другие токсиканты [12]. Для подтверждения сделанных выводов осадок апробировали в качестве удобрения при возделывании сафлора красильного без орошения на малогумусных светлокаштановых почвах в условиях ксеротермального климата Волгоградской области.

Установлено, что внесение осадка в дозе 10 т/га на поверхность поля после глубокой обработки осенью и заделки его на глубину боронования в предпосевной весенний период способствовало увеличению влагозапасов при посеве с 76,6 мм до 88,5 мм, в фазу полной спелости – от 3,2 до 4,4 мм (рисунок 2). Вследствие этого и наличия в осадке сточных вод элементов питания растений было достигнуто и повышение урожайности сафлора на 0,2 т/га - 1,51 т/га против 1,31 т/га, в сравнении с контрольным вариантом без внесения осадка [2].

Анализ экспериментальных данных показывает, что расход почвенной влаги описывается квадратичной функцией вида:

$$W = aT^2 - bT + c,$$

где W – запасы почвенной влаги, мм; T – продолжительность от начала вегетации, дни; a , b , c – коэффициенты уравнения (при дозе осадка 0 т/га $a = 0,0026$; $b = 0,996$; $c = 82,41$; при дозе осадка 10 т/га $a = 0,0031$; $b = 1,145$; $c = 93,89$).

Рисунок 1 – Микрофотографии осадка сточных вод

Picture 1 – Micrographs of sewage sludge

Рисунок 2 – Расход почвенной влаги W по фазам роста и развития сафлора T без внесения осадка (1) и при дозе 10 т/га (2)

Picture 2 – Consumption of soil moisture W in the phases of growth and development of safflower T without sediment (1) and at a dose of 10 t/ha (2)

Выводы. Аналитическими исследованиями с использованием стандартных лабораторных методик состава, структуры и морфологии осадка сточных вод биологических очистных сооружений «МУП Водоканал» г. Волжского установлено, что иловый субстрат обладает высокой удобрительной ценностью по макроэлементам питания растений (азот, фосфор, калий) и органическому веществу, имеет перспективу широкого использования в сельском хозяйстве. Микроскопическими исследованиями установлено, что размер частиц осадка варьируется от 6 мкм до 4 нм, а его структура представлена аморфными хлопьями и кристаллическими включениями. Развитая пористость, переходящая от макропор к мезопорам, доказывает присутствие у осадка влагосорбирующих и влагоудерживающих свойств. Его использование в качестве органического удобрения при возделывании сафлора красильного позволило существенно увеличить запасы влаги и, как следствие, получить более высокую урожайность. Установлено, что внесение в почву осадка в дозе 10 т/га обеспечило увеличение запасов влаги от 16 до 37 % (по фазам роста и развития сафлора) и повышение урожайности сафлора на 13 %.

Библиографический список

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.
2. 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. № 3 (56). С. 43-52.

3. Пындак В. И., Борисенко И. Б., Новиков А. Е. Совершенствование системы основной обработки почвы в засушливых условиях // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2013. № 2 (30). С. 199-204.
4. Пындак В. И., Новиков А. Е., Межевова А. С. Адсорбционные свойства удобрений на основе осадков сточных вод // Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса. 2016. № 4 (29). С. 61-64.
5. Пындак В. И., Новиков А. Е., Межевова А. С. Действие и последствие нетрадиционных удобрений-мелиорантов при орошении // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2016. № 3 (43). С. 196-202.
6. Пындак В. И., Помогаев Е. Ф., Степкина Ю. А. Нетрадиционные высокоэффективные комплексные удобрения, их действие и последствие при возделывании картофеля // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2011. № 2 (22). С. 34-40.
7. Рабинович Г. Ю., Подольн Е. А., Зинковская Т. С. Использование осадка сточных вод и режим органического вещества дерново-подзолистой почвы // Российская сельскохозяйственная наука. 2020. № 4. С. 37-41.
8. Сканирующая электронная микроскопия и рентгеноспектральный микроанализ в примерах практического применения / М. М. Криштал, И. С. Ясников, В. И. Полуниин [и др.]. М.: Изд-во Техносфера, 2009. 208 с.
9. Современные оценки неиспользуемых земель сельскохозяйственного назначения на Нижней Волге / В. А. Шевченко, В. В. Бородычев, М. Н. Лытов [и др.] // Природообустройство. 2020. № 2. С. 6-13.
10. Шевченко В. А., Бородычев В. В., Лытов М. Н. Критические технологии освоения ранее брошенных земель для производства органической продукции // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2020. № 3 (59). С. 45-61.
11. Comparative studies on the impact of bio-fertilizer produced from agro-wastes using thermo-tolerant actinomycetes on the growth performance of Maize (*Zea-mays*) and Okro (*Abelmoschus esculentus*) / C. O. Asadu, N. G. Aneke, S. O. Egbuna [et al.] // Environmental Technology and Innovation. 2018. Vol. 12. P. 55-71.
12. Saib A. Y., Abbas H. S., Mustafa M. Al-F. Experimental and theoretical investigations of lead mercury chromium and arsenic biosorption onto dry activated sludge from wastewater // International Review of Chemical Engineering. 2013. Vol. 5. No. 1. P. 30-40.
13. Sustainable approach to biotransform industrial sludge into organic fertilizer via vermicomposting: a mini-review / L. H. Lee, T. Y. Wu, K. P. Y. Shak [et al.] // Journal of Chemical Technology and Biotechnology. 2018. Vol. 93. I. 4. P. 925-935.
14. The Leachate Release and Microstructure of the Sewage Sludge under the Anaerobic Fermentation / Y. Dong, H. Lu, J. Li, Ch. Wang // Journal of Chemistry. 2015. 9 p.
15. Vasilyev S., Domashenko Y. Agroecological substantiation for the use of treated wastewater for irrigation of agricultural land // Journal of Ecological Engineering. 2018. Vol. 19. I. 1. P. 48-54.
16. Wastewater treatment and disposal of individual residential buildings in agriculture / A. Novikov, A. Poddubskiy, E. Dugin [et al.] // 18th International Scientific Conference «Engineering for Rural Development» (Jelgava, Latvia, May 22-24, 2019): Proceedings. Vol. 18 / Latvia University of Life Sciences and Technologies, Faculty of Engineering. Jelgava (Latvia), 2019. P. 397-406.

Conclusion. Silt substrate based on sewage sludge obtained by stabilization, fermentation, composting and other methods in biological wastewater treatment is widely used for reclamation purposes - to improve the agrophysical and biological properties of the soil. Its economic value is mainly due to the presence of the main elements of plant nutrition, the ability to accumulate moisture and improve the structure of the soil. Scanning electron microscopy of the sediment revealed a developed transition porosity, including meso- and macropores, with a particle size from 6 microns to 4 nm, proving its adsorption properties. In field experiments on crops of safflower dye, it

was found that the introduction of a silt substrate at a dose of 10 t / ha contributed to an increase in moisture reserves from 76.6 to 88.5 mm (during sowing) and from 3.2 to 4.4 mm (in the phase of full ripeness) and an increase in yield from 1.31 to 1.51 t/ha.

References

1. Il'inskiy A. V., Evsenkin K. N., Nefedov A. V. Obosnovanie jekologicheski bezopasnogo ispol'zovaniya osadkov stochnyh vod kanalizacionnyh oчитisnyh sooruzhenij zhilishchno-kommunal'nogo hozyajstva // *Agrohimicheskij vestnik*. 2020. № 1. P. 60-64.
2. Mezhevova A. S. Ispol'zovanie ilovogo osadka stochnyh vod pri vozdeleyvanii saflora krasil'nogo na svetlo-kashtanovyh pochvah Volgogradskoj oblasti // *Yug Rossii: jekologiya, razvitie*. 2020. T. 15. № 3 (56). P. 43-52.
3. Pyndak V. I., Borisenko I. B., Novikov A. E. Sovershenstvovanie sistemy osnovnoj obrabotki pochvy v zasushlivykh usloviyah // *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agro-universitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie*. 2013. № 2 (30). P. 199-204.
4. Pyndak V. I., Novikov A. E., Mezhevova A. S. Adsorbcionnye svoystva udobrenij na osnove osadkov stochnyh vod // *Teoreticheskie i prikladnye problemy agropromyshlennogo kompleksa*. 2016. № 4 (29). P. 61-64.
5. Pyndak V. I., Novikov A. E., Mezhevova A. S. Dejstvie i posledejstvie netradicionnyh udobrenij-meliorantov pri oroshenii // *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie*. 2016. № 3 (43). P. 196-202.
6. Pyndak V. I., Pomogaev E. F., Stepkina Yu. A. Netradicionnye vysokof-fektivnye kompleksnye udobreniya, ih dejstvie i posledejstvie pri vozdeleyvanii kartofelya // *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie*. 2011. № 2 (22). P. 34-40.
7. Rabinovich G. Yu., Podolyan E. A., Zinkovskaya T. S. Ispol'zovanie osadka stochnyh vod i rezhim organicheskogo veshchestva dernovo-podzolistoj pochvy // *Rossiyskaya sel'skohozyajstvennaya nauka*. 2020. № 4. P. 37-41.
8. Skaniruyuschaya jelektronnaya mikroskopiya i rentgenospektral'nyj mikroanaliz v primerah prakticheskogo primeneniya / M. M. Krishtal, I. S. Yasnikov, V. I. Polunin [i dr.]. M.: Izd-vo Tehnosfera, 2009. 208 p.
9. Sovremennye ocenki neispol'zuemyh zemel' sel'skohozyajstvennogo naznacheniya na Nizhnej Volge / V. A. Shevchenko, V. V. Borodychev, M. N. Lytov [i dr.] // *Pri-rodooobustrojstvo*. 2020. № 2. P. 6-13.
10. Shevchenko V. A., Borodychev V. V., Lytov M. N. Kriticheskie tehnologii osvoeniya ranee broshennyh zemel' dlya proizvodstva organicheskoy produkcii // *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie*. 2020. № 3 (59). P. 45-61.
11. Comparative studies on the impact of bio-fertilizer produced from agro-wastes using thermo-tolerant actinomycetes on the growth performance of Maize (*Zea-mays*) and Okro (*Abelmoschus esculentus*) / C. O. Asadu, N. G. Aneke, S. O. Egbuna [et al.] // *Environmental Technology and Innovation*. 2018. Vol. 12. P. 55-71.
12. Saib A. Y., Abbas H. S., Mustafa M. Al-F. Experimental and theoretical investigations of lead mercury chromium and arsenic biosorption onto dry activated sludge from wastewater // *International Review of Chemical Engineering*. 2013. Vol. 5. No. 1. P. 30-40.
13. Sustainable approach to biotransform industrial sludge into organic fertilizer via vermicomposting: a mini-review / L. H. Lee, T. Y. Wu, K. P. Y. Shak [et al.] // *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. 2018. Vol. 93. I. 4. P. 925-935.
14. The Leachate Release and Microstructure of the Sewage Sludge under the Anaerobic Fermentation / Y. Dong, H. Lu, J. Li, Ch. Wang // *Journal of Chemistry*. 2015. 9 p.
15. Vasilyev S., Domashenko Y. Agroecological substantiation for the use of treated wastewater for irrigation of agricultural land // *Journal of Ecological Engineering*. 2018. Vol. 19. I. 1. P. 48-54.
16. Wastewater treatment and disposal of individual residential buildings in agriculture / A. Novikov, A. Poddubskiy, E. Dugin [et al.] // 18th International Scientific Conference «Engineering for Rural Development» (Jelgava, Latvia, May 22-24, 2019): Proceedings. Vol. 18 / Latvia University of Life Sciences and Technologies, Faculty of Engineering. Jelgava (Latvia), 2019. P. 397-406.

Authors Information

Mezheva Alina Sergeevna, Research fellow, acting head of the soil analysis laboratory Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of Russian Academy of Sciences (26, University Avenue, Volgograd, 400002, Russia),

E-mail: asmezheva@mail.ru, ORCID: 0000-0002-4579-7047

Novikov Andrey Evgenievich, acting director Federal State Budgetary Institution All-Russian Scientific Research Institute of Irrigated Agriculture (9, Timiryazev St., Volgograd, 400002, Russia),

E-mail: novikov-ae@mail.ru, ORCID: 0000-0002-8051-4786

Информация об авторах

Межева Алина Сергеевна, научный сотрудник, и.о. заведующего лабораторией анализа почв ФГБНУ Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук (РФ, 400062, г. Волгоград, пр. Университетский, 97),

E-mail: asmezheva@mail.ru, ORCID: 0000-0002-4579-7047

Новиков Андрей Евгеньевич, врио директора ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия» (РФ, 400002, г. Волгоград, ул. им Тимирязева, 9),

E-mail: novikov-ae@mail.ru, ORCID: 0000-0002-8051-4786