


## ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 631.333.631.878

DOI: 10.26897/2687-1149-2022-1-23-27

## ПРОБЛЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА ГУМИНОВЫХ УДОБРЕНИЙ И ИХ РЕШЕНИЯ

**ГАСПАРЯН ИРИНА НИКОЛАЕВНА** , *д-р с.-х. наук, профессор*<sup>1</sup>irina150170@yandex.ru ; <https://orcid.org/0000-0003-4702-0095>; Scopus Autor ID: 57209269061**СОРОКИН КОНСТАНТИН НИКОЛАЕВИЧ**, *канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник*<sup>2</sup>  
7623998@mail.ru<sup>1</sup>Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49<sup>2</sup>Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; 109428, Российская Федерация, г. Москва, 1-й Институтский проезд, 5

**Аннотация.** С развитием органического сельскохозяйственного производства требуются большие объемы органических удобрений. В связи с резким сокращением крупного рогатого скота органических удобрений в виде отходов животноводства недостаточно. Чтобы восполнить их потребность, разработаны с учетом технических требований заказчиков и поставлены в регионы России и Беларуси 11 технологических линий по переработке природного органического сырья в виде торфа, бурого угля и сапропеля. Проведен анализ работы этих линий, на основании исследования работы отдельных узлов и агрегатов определены технические и технологические проблемы. Для промышленного производства технологических линий изучены и проанализированы возможности разработки технологических линий с использованием модульного оборудования машиностроительных организаций по переработке органического сырья для получения гуминовых удобрений. Результаты исследований позволили модернизировать отдельные технологические линии с использованием инновационных разработок и модульного оборудования. Использование для очистки суспензии торфа перед подачей в реактор новой конструкции гидромеханического очистителя позволило повысить уровень её очистки до 97...98%. Усиление технологической линии модульным оборудованием (вибрационной мельницей типа МВ-20) для размолота угля повысило качество работы реактора, снизило содержание балласта после фильтрации до 1...3%. Дисперсность суспензии удобрения, подаваемой на фильтрацию, уменьшилась до 50...70 мкр. Внедрение конструкции нового дисмембратора повышенной мощности позволило сократить время производственного цикла на 30 мин. Дополнительная установка гидромеханического кавитатора повысила эффективность извлечения гуминовых кислот из органического сырья. Модернизирована система дозирования микроэлементов, под производство концентрированных удобрений до 2,5 т в смену. Определена целесообразность дальнейшей разработки технологических линий на основе модульного оборудования.

**Ключевые слова:** гуминовые удобрения, модульное оборудование, технологическая линия, торф, комплексные органические удобрения.


**Формат цитирования:** Гаспарян И.Н., Сорокин К.Н. Проблемы производства гуминовых удобрений и их решения // Агроинженерия. 2022. Т. 24. № 1. С. 23-27. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-1-23-27>.

© Гаспарян И.Н., Сорокин К.Н., 2022



## ORIGINAL PAPER

## PROBLEMS RELATED TO THE PRODUCTION OF HUMIC FERTILIZERS AND THEIR SOLUTIONS

**IRINA N. GASPARYAN** , *DSc (Agr), Professor*<sup>1</sup>irina150170@yandex.ru ; <https://orcid.org/0000-0003-4702-0095>; Scopus Autor ID: 57209269061**KONSTANTIN N. SOROKIN**, *PhD (Eng), Lead Research Engineer*<sup>2</sup>  
7623998@mail.ru<sup>1</sup>Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation<sup>2</sup>Federal Scientific Agroengineering Center VIM; Bld 5, 1<sup>st</sup> Institutskiy Proezd Str., Moscow, 109428, Russian Federation

**Abstract.** Further development of organic agricultural production requires large volumes of organic fertilizers. Due to the sharp reduction in cattle, there is a lack of organic fertilizer in the form of animal waste. To solve this problem, eleven technological lines for processing natural organic raw materials in the form of peat, brown coal, and sapropel were developed, considering customers' technical requirements, and then delivered to some regions of Russia and Belarus. The authors analyzed the operation of these lines, and based on the study of the operation of individual units and assemblies, identified technical and technological problems. They studied and analyzed the possibilities of developing technological lines using modular equipment of machine-building organizations to process organic raw materials for making humic fertilizers. The research results made it possible to modernize individual technological lines using new innovative developments and modular equipment. Using a new design of a hydromechanical cleaner to clean the peat suspension before feeding it into the reactor increased the level of its purification to 97...98%. Reinforcement

of the technological line with modular equipment (vibratory mill of MV-20 type) for grinding coal increased the quality of the reactor and reduced the ballast content after filtration to 1...3%. The dispersion of the fertilizer suspension supplied for filtration decreased to 50...70 microns. The introduction of the design of a new high-power dismembrator made it possible to reduce the production cycle time by 30 minutes. An additional installation of a hydromechanical cavitator increased the efficiency of extracting humic acids from organic raw materials. The microelement dosing system has been modernized to produce concentrated fertilizers up to 2.5 tons per shift. The research results have determined the expediency of further development of technological lines based on modular equipment.

**Key words:** humic fertilizers, modular equipment, technological line, peat, complex organic fertilizers.

**For citation:** Gasparyan I.N., Sorokin K.N. Problems related to the production of humic fertilizers and their solutions. *Agricultural Engineering (Moscow)*, 2022; 24(1): 23-27. (In Rus.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-1-23-27>.

**Введение.** Одним из сдерживающих факторов развития органического сельского хозяйства в России является недостаточный объем производства органических удобрений. Исследованиями [1] доказываются положительное влияние гуминовых удобрений на рост и развитие растений, а также на качество сельскохозяйственной продукции и плодородие почв. Согласно данным Национального органического союза России рынок органических продуктов – один из самых динамично развивающихся в мире [2]. По данным Всероссийского института органических удобрений и торфа, в связи с сокращением крупного рогатого скота во всех категориях хозяйств выход навоза и помета составляет всего 294 млн т (20 лет назад этот показатель находился на уровне более 700 млн т) [3]. В ежегодных докладах Минсельхоза России отмечается отрицательный баланс питательных веществ в земледелии за последние 15 лет. Восполнение насыщенности почв органическими удобрениями возможно за счет решения проблемы организации в России промышленного производства специализированного оборудования для получения гуминовых удобрений в промышленных объемах на основе природного органического сырья. Первая технологическая линия для производства гуминовых удобрений изготовлена в экспериментальном производстве института 7 лет назад.

Сегодня завершено испытание 11 технологических линий. В каждый регион, где есть месторождение торфа и бурых углей, можно поставить необходимое технологическое оборудование по производству удобрений для сельского хозяйства. Промышленное производство технологических линий по производству гуминовых удобрений – актуальная проблема, для решения которой специалисты и ученые предлагают использовать модульное оборудование, что существенно сокращает сроки разработки и сборки этих технологических линий.

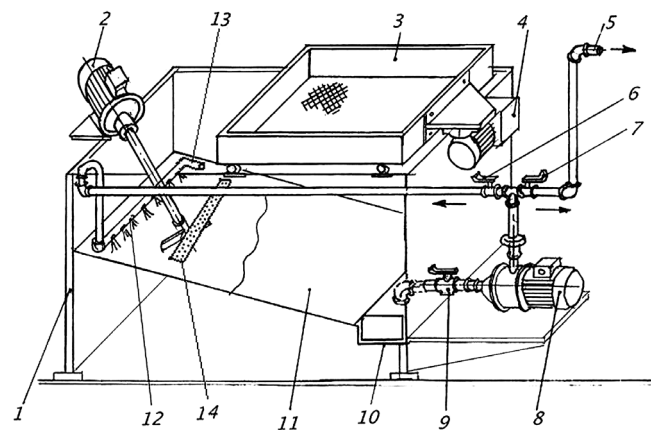
**Цель исследований:** проанализировать работу технологических линий по производству гуминовых удобрений, определить технические и технологические проблемы и предложить варианты их решения.

**Материалы и методы.** Проведены исследования по определению эффективности работы поставленных заказчику технологических линий. Определено влияние параметров и режимов работы отдельных узлов и агрегатов на качество полученной продукции. Проведена организация разработки инновационных узлов и модулей для замены оборудования или модернизации технологических линий. Изучено модульное оборудование машиностроительных организаций для использования при разработке новых технологических линий.

**Результаты и обсуждение.** Наиболее распространенные методы извлечения гуминовых веществ, находящихся

в водонерастворимом состоянии в природных гумифицированных материалах, основаны на обработке последних щелочными реагентами с целью получения водорастворимых солей – гуматов [4-7]. Вместе с тем в технологиях экологического сельскохозяйственного производства ограничивают использование щелочи в удобрениях. Для решения данной проблемы предлагается использование специального оборудования для переработки сырья.

С 2015 г. ежегодно анализировались результаты работы экспериментальных технологических линий с участием заказчика. Анализ работы технологических линий позволил систематизировать отдельные технические и технологические проблемы и предложить варианты их решения. Так, заказчику ООО «Зовет» (г. Рязань) для качественной очистки суспензии торфа перед подачей в реактор предложено установить гидромеханический модуль и подогреватель мощностью 42 кВт для подогрева воды до 60...70°C, что обеспечит активацию суспензии торфа, очистку частиц торфа от песка и других включений. На рисунке 1 представлены конструктивные особенности гидромеханического модуля [8].



**Рис. 1. Конструктивная схема узла торфоподготовки:**

- 1 – рама; 2 – смеситель; 3 – лоток виброразделителя;
- 4 – привод виброразделителя; 5 – выходной патрубок;
- 6, 9 – краны системы циркуляции суспензии;
- 7 – кран выходной; 8 – циркуляционный насос;
- 10 – выгрузной лоток; 11 – емкость торфоподготовки;
- 12 – рассекающий поток суспензии;
- 13 – нагнетающий патрубок; 14 – экран

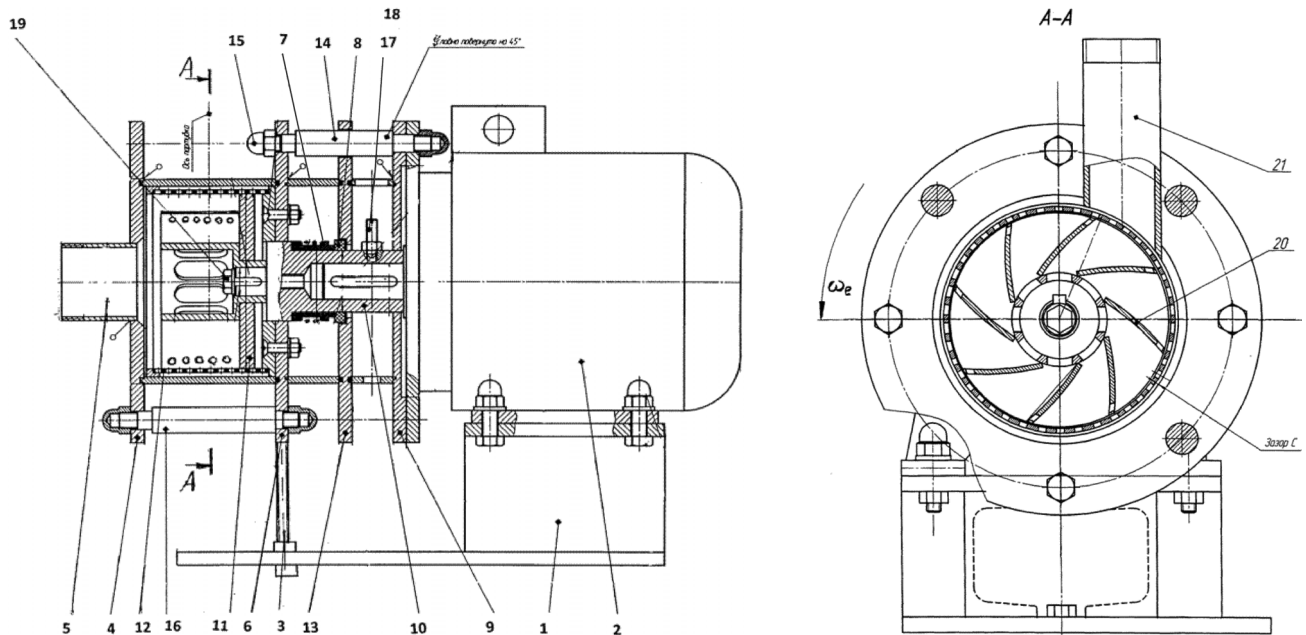
**Fig. 1. Structural diagram of a peat preparation unit:**

- 1 – frame; 2 – mixer; 3 – vibration separator tray;
- 4 – vibration separator drive; 5 – outlet pipe;
- 6, 9 – valves of the suspension circulation system;
- 7 – outlet valve; 8 – circulation pump; 10 – unloading tray;
- 11 – peat preparation tank; 12 – suspension flow divider;
- 13 – discharge pipe; 14 – screen

По предложению заказчика ООО «Сервис Агро» (Республика Татарстан) для производства комплексных удобрений под объемы 2 т в смену на технологической линии модернизирована система дозирования микроэлементов [9, 10].

Решены технические и технологические вопросы по качеству переработки бурого угля (его просеивание и измельчение до 50...100 мкм) перед подачей в реактор в ООО «НПЦ Биотехнологии» и ООО «НВП Агротехнологии» (г. Оренбург). В ООО «Боградский ГОК» (г. Черногорск Республики Хакасия) технологическая линия усилена

модульным оборудованием – вибрационной мельницей типа МВ-20 для размолота бурого угля до 50...70 мкм перед подачей в реактор, что позволило в 2 раза снизить балластные остатки перед фильтрацией гуматов. Совместно с учеными ВНИМС технически решена проблема производства гуминовых удобрений из торфа и сапропеля с дисперсностью 70...100 мкм и ниже. Предложен дисмембратор новой конструкции мощностью 5,5 кВт (патент РФ № 171086, 2017 г.) (рис. 2), что позволило сократить время производственного цикла на 30 мин.



**Рис. 2. Общая схема дисмембратора:**

- 1 – площадка крепления; 2 – двигатель; 3 – опорная шпилька; 4 – корпус; 5 – всасывающий патрубок; 6, 9 – проставки; 7 – муфта торцевая; 8 – торцевое уплотнение, кольцо керамическое; 10 – вал-втулка; 11 – крыльчатка; 12 – статор; 13 – фланец; 14 – шпилька; 15 – колпачковая гайка; 16 – шпилька; 17 – винт; 18 – контргайка; 19 – болт; 20 – лопасть крыльчатки; 21 – выходной патрубок

**Fig. 2. General scheme of a dismembrator:**

- 1 – mounting platform; 2 – engine; 3 – support pin; 4 – body; 5 – suction pipe; 6, 9 – spacers; 7 – end sleeve; 8 – mechanical seal, ceramic ring; 10 – shaft-sleeve; 11 – impeller; 12 – stator; 13 – flange; 14 – pin; 15 – cap nut; 16 – pin; 17 – screw; 18 – locknut; 19 – bolt; 20 – impeller blade; 21 – outlet pipe

Для большего извлечения гуминовых кислот из угля предложено на трубопроводе между дисмембратором и реактором установить гидромеханический кавитатор (разработка автора, патент РФ № 161518, 2016 г.). Данное решение основано на результатах научных исследований по эффективному воздействию кавитации на жидкость [11-13] и служит эффективным средством для получения водоугольных суспензий [14-17].

Используя новые технические решения, специалисты ООО «Боградский ГОК» совместно с учеными [18] разработали технологию производства кормовой добавки с широким спектром биологической активности на основе переработки окисленных бурого угля. Результаты влияния кормовой добавки «Гуматы Хакасии» на биохимические показатели крови коров дали положительные результаты [18]. В целях производства кормовой добавки для крупного рогатого скота разработана методика работы на модульной технологической линии и получен патент.

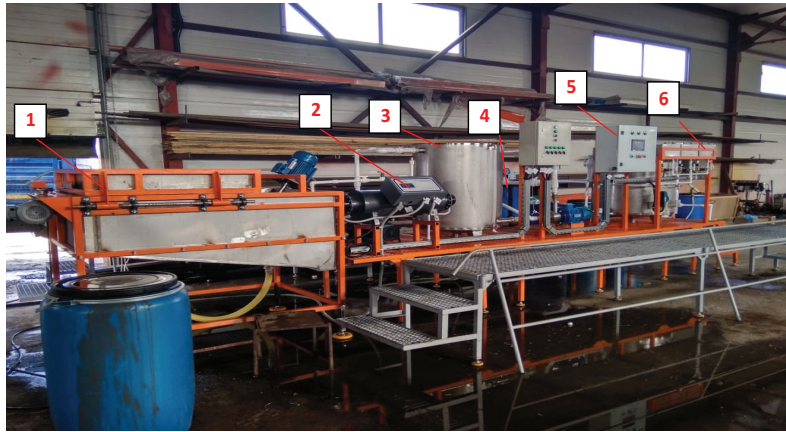
При решении технических и технологических проблем по переработке органического сырья также учтены

замечания и предложения ООО «Промимпекс» (г. Екатеринбург), ООО «Гуматы» (г. Курган), ООО «Агро-Био» (г. Борисов Республики Беларусь), ОАПОУ «Боровичский агропромышленный техникум» (г. Боровичи Новгородской обл.).

Ежегодный анализ работы технологических линий позволил выявить и систематизировать основные технические и технологические недоработки, внедрить ряд новых технических решений, разработать новую технологическую линию на основе модульного оборудования для Республики Татарстан в 2021 г. (рис. 3).

Использование модульного оборудования при сборке технологических линий сокращает сроки их производства.

Для специалистов определены принципы разработки технологических линий на основе модульного оборудования, разработаны алгоритм и программа ЭВМ по сборке технологических линий в соответствии с техническим заданием заказчика на основе собственных инновационных разработок и модульного оборудования машиностроительных предприятий.



**Рис. 3. Модульная технологическая линия для Республики Татарстан:**

1 – модуль гидромеханической очистки и подачи сырья; 2 – модуль подготовки и нагрева воды;  
3 – модуль реактора и пульт управления; 4 – модуль фильтрации;  
5 – модуль программного дозирования для комплексных удобрений; 6 – модуль накопительной емкости

**Fig. 3. Modular production line for the Republic of Tatarstan:**

1 – module for hydromechanical cleaning and supply of raw materials; 2 – water preparation and heating module;  
3 – reactor module and control panel; 4 – filtration module; 5 – program dosing module for complex fertilizers;  
6 – storage capacity module

### Выводы

1. Применение инновационных разработок и модульного оборудования при производстве органических удобрений позволило решить ряд следующих задач:

- увеличить производительность технологических линий с 1 до 2,5 т концентрированных удобрений в смену;
- повысить степень очистки органического сырья перед подачей в реактор до 97...98%;
- получить дисперсность суспензии торфа и сапропеля (100 мкм) и бурого угля (50...70 мкм);

– решить вопросы без балластного производства гуминовых удобрений;

– определить основные принципы использования модульного оборудования при разработке технологических линий по производству органических удобрений.

2. Разработанный алгоритм и программа ЭВМ по выбору модульного оборудования на рынке машиностроительной продукции позволяет в несколько раз сократить сроки сборки новых технологических линий.

### Библиографический список

1. Александрова О.В. Использование гуматов в мире и Российской Федерации // Агроэкологические проблемы техногенного региона: Сборник Всероссийской конференции с элементами научной школы для молодежи в области рационального природопользования (17-21 ноября 2009 г.). Кемерово: Издание Кемеровского ИИО, 2009. 177 с.

2. Мироненко О.В. Органический рынок России. Итоги 2017 года. Перспективы на 2018 год // Экологически устойчивое земледелие: состояние, проблемы и пути их решения: Сборник научных трудов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (г. Владимир, 22-24 июня 2018 г.). Иваново: ПресСто, 2018. С. 484-507.

3. Лукин С.М., Русакова И.В. Биологизация земледелия – научная и технологическая основа экологически устойчивого сельского хозяйства // Экологически устойчивое земледелие: состояние, проблемы и пути их решения: Сборник научных трудов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (г. Владимир, 22-24 июня 2018 г.). Иваново: ПресСто, 2018. С. 3-10.

4. Роганов В.Р., Касимова Л.В., Тельянова А.В., Елисева И.В. Исследование способов извлечения из низинного торфа гуминовых препаратов // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 6. С. 1411.

5. Hanc A., Boucek J., Svehla P., Dreslova M., Tlustos P. Properties of vermicompost aqueous extracts prepared

### References

1. Aleksandrova O.V. Ispol'zovanie gumatov v mire i Rossiyskoy Federatsii [Use of humates in the world and the Russian Federation] *Agroekologicheskiye problemy tekhnogennogo regiona: sb. vserossiyskoy konferentsii s elementami nauchnoy shkoly dlya molodezhi v oblasti ratsional'nogo prirodopol'zovaniya* (November 17-21, 2009). Kemerovo: Izdanie Kemerovskogo IIO, 2009. 177 p. (In Rus.)

2. Mironenko O.V. Organicheskiy rynek Rossii. Itogi 2017 goda. Perspektivy na 2018 god [Russian organic market. Results of 2017. Prospects for 2018]. *Ekologicheski ustoychivoye zemledeliye: sostoyaniye, problemy i puti ikh resheniya: sb. nauch. trudov vserossiyskoy nauchno-praktich. konf. s mezhdunarodnym uchastiyem* (Vladimir, June 22-24, 2018). Ivanovo: PresSto, 2018: 484-507. (In Rus.)

3. Lukin S.M., Rusakova I.V. Biologizatsiya zemledeliya – nauchnaya i tekhnologicheskaya osnova ekologicheski ustoychivogo sel'skogo khozyaystva [Biologization of agriculture as a scientific and technological basis for environmentally sustainable agriculture]. *Ekologicheski ustoychivoye zemledeliye: sostoyaniye, problemy i puti ikh resheniya: sb. nauch. trudov vserossiyskoy nauchno-praktich. konf. s mezhdunarodnym uchastiyem* (Vladimir, June 22-24, 2018). Ivanovo: PresSto, 2018: 3-10. (In Rus.)

4. Roganov V.R., Kasimova L.V., Telyanova A.V., Eliseeva I.V. Issledovanie sposobov izvlecheniya iz nizinnogo torfa guminovykh preparatov [Study of the methods for extracting humic preparations from lowland peat]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, 2014: 6: 1411. (In Rus.)

5. Hanc A., Boucek J., Svehla P., Dreslova M., Tlustos P. Properties of vermicompost aqueous extracts prepared under different conditions. *Environmental Technology*, 2017; 38: 1428-1434. <https://doi.org/10.1080/09593330.2016.1231225>

under different conditions. *Environmental Technology*, 2017; 38: 1428-1434. <https://doi.org/10.1080/09593330.2016.1231225>

6. Kholodov V.A., Yaroslavtseva N.V., Konstantinov A.I., Perminova I.V. Preparative yield and properties of humic acids obtained by sequential alkaline extractions. *Eurasian Soil Science*; 2015; 48(10): 1101-1109. <https://doi.org/10.1134/S1064229315100051>

7. Rocha J.C., Rosa A.H., Furlan M. An alternative methodology for the extraction of humic substances from organic soils. *Journal. Braz. Chem. Soc*, 1998; 9(1): 51-56. <https://doi.org/10.1590/S0103-50531998000100010>

8. Гайбарян М.А., Сидоркин В.И., Гапеева Н.Н., Сорокин Н.Т., Сорокин К.Н. Расчет параметров гидромеханического узла торфоподготовки технологической линии для производства гуминовых удобрений // Техника и оборудование для села. 2018. № 9. С. 16-21.

9. Измайлов А.Ю., Сорокин Н.Т., Сорокин К.Н., Никитин В.С., Белья С.А., Благов Д.А. Цифровые технологии в производстве комплексных органоминеральных удобрений // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2018. № 3 (47). С. 31-40. <https://doi.org/10.31563/1684-7628-2018-47-3-31-40>

10. Никитин В.С., Сорокин К.Н. Формирование алгоритма расчета доз комплексных удобрений на основе гуминовых под планируемую урожайность // Техника и оборудование для села. 2014. № 5. С. 20-23.

11. Промтов М.А. Пульсационные аппараты роторного типа: теория и практика. М.: Машиностроение-1, 2001. 260 с.

12. Балабышко А.М., Зимин А.И., Ружицкий В.П. Гидромеханическое диспергирование. М.: Наука, 1998. 331 с.

13. Балабышко А.М., Юдаев В.Ф. Роторные аппараты с модуляцией потока и их применение в промышленности. М.: Недра, 1992. 176 с.

14. Кардашев Г.А. Физические методы интенсификации процессов химической технологии. М.: Химия, 1990. 208 с.

15. Федоткин И.М., Немчин А.Ф. Использование кавитации в технологических процессах. Киев: Вища школа, 1984. 68 с.

16. Федоткин И.М., Гулый И.С. Кавитация, кавитационная техника и технология, их использование в промышленности. Ч. II. Киев: ОКО, 2000. 898 с.

17. Витенько Т.Н., Гумницкий Я.М. Массообмен при растворении твердых тел с использованием гидродинамических кавитационных устройств // Теоретические основы химической технологии. 2006. Т. 40, № 6. С. 639-644.

18. Безрук Е.А., Шапов А.Ю., Ручьев И.Ю., Сорокин К.Н., Сорокин Н.Т. Производство кормовой добавки для животноводства из бурых углей на модульной технологической линии (на примере ООО «Богградский ГОК») // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2020. № 4. С. 137-143. <https://doi.org/10.22314/2658-4859-2020-67-4-137-143>

6. Kholodov V.A., Yaroslavtseva N.V., Konstantinov A.I., Perminova I.V. Preparative yield and properties of humic acids obtained by sequential alkaline extractions. *Eurasian Soil Science*; 2015; 48(10): 1101-1109. <https://doi.org/10.1134/S1064229315100051>

7. Rocha J.C., Rosa A.H., Furlan M. An alternative methodology for the extraction of humic substances from organic soils. *Journal. Braz. Chem. Soc*, 1998; 9(1): 51-56. <https://doi.org/10.1590/S0103-50531998000100010>

8. Gaibaryan M.A., Sidorkin V.I., Gapeeva N.N., Sorokin N.T., Sorokin K.N. Raschet parametrov gidromekhanicheskogo uzla torfopodgotovki tekhnologicheskoy linii dlya proizvodstva guminovykh udobreniy [Determination of the parameters of a hydromechanical unit for peat preparation of a technological line for the production of humic fertilizers]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*, 2018; 9: 16-21. (In Rus.)

9. Izmaylov A.Yu., Sorokin N.T., Sorokin K.N., Nikitin V.S., Belykh S.A., Blagov D.A. Tsifrovye tekhnologii v proizvodstve kompleksnykh organomineral'nykh udobreniy [Digital technologies in the production of complex organomineral fertilizers]. *Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2018; 3(47): 31-40. <https://doi.org/10.31563/1684-7628-2018-47-3-31-40> (In Rus.)

10. Nikitin V.S., Sorokin K.N. Formirovanie algoritma rascheta doz kompleksnykh udobreniy na osnove guminovykh pod planiruyemuyu urozhaynost' [Development of an algorithm for calculating the doses of complex humic fertilizers for the planned yield]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*, 2014; 5: 20-23. (In Rus.)

11. Promtov M.A. Pul'satsionnye apparaty rotornogo tipa: teoriya i praktika [Pulsation devices of a rotary type: theory and practice]. Moscow, Mashinostroenie-1, 2001. 260 p. (In Rus.)

12. Balabyshko A.M., Zimin A.I., Ruzhitsky V.P. Gidromekhanicheskoe dispergирование [Hydromechanical dispersion]. Moscow, Nauka, 1998. 331 p. (In Rus.)

13. Balabyshko A.M., Yudaev V.F. Rotornye apparaty s modulyatsiyey potoka i ikh primenenie v promyshlennosti [Rotary devices with flow modulation and their industrial application]. Moscow, Nedra, 1992. 176 p. (In Rus.)

14. Kardashev G.A. Fizicheskie metody intensifikatsii protsessov khimicheskoy tekhnologii [Physical methods of the intensification of chemical technology processes]. Moscow, Khimiya, 1990. 208 p. (In Rus.)

15. Fedotkin I.M., Nemchin A.F. Ispol'zovanie kavitatsii v tekhnologicheskikh protsessakh [Use of cavitation in technological processes]. Kiev, Vishcha school, 1984. 68 p. (In Rus.)

16. Fedotkin I.M., Gulyi I.S. Kavitatsiya, kavitatsionnaya tekhnika i tekhnologiya, ikh ispol'zovanie v promyshlennosti [Cavitation, cavitation machinery and technology, their industrial use]. Part II. Kiev, OKO, 2000. 898 p.

17. Vitenko T.N., Gumniitskiy Ya.M. Massoobmen pri rastvorenii tverdykh tel s ispol'zovaniem gidrodinamicheskikh kavitatsionnykh ustroystv [Mass transfer during the dissolution of solids using hydrodynamic cavitation devices]. *Teoreticheskie osnovy khimicheskoy tekhnologii*, 2006, 40(6): 639-644. (In Rus.)

18. Bezruk E.A., Shchapov A.Yu., Ruchev I.Yu., Sorokin K.N., Sorokin N.T. Proizvodstvo kormovoy dobavki dlya zhivotnovodstva iz burykh ugley na modul'noy tekhnologicheskoy linii (na primere ООО «Bogradskiy GOK») [Production of feed additives for animal husbandry from brown coal on a modular production line (exemplified by Bogradsky GOK LLC)]. *Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK*, 2020; 4: 137-143. <https://doi.org/10.22314/2658-4859-2020-67-4-137-143> (In Rus.)

## Критерии авторства

Гаспарян И.Н., Сорокин К.Н. выполнили теоретические исследования, на основании полученных результатов провели эксперимент и подготовили рукопись. Гаспарян И.Н., Сорокин К.Н. имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

## Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 11.01.2022

Одобрена после рецензирования 18.01.2022

Принята к публикации 19.01.2022

## Contribution

I.N. Gasparyan, K.N. Sorokin performed theoretical studies, and based on the results obtained, conducted the experiment and wrote the manuscript. I.N. Gasparyan, K.N. Sorokin have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

## Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper.

The paper was received 11.01.2022

Approved after reviewing 18.01.2022

Accepted for publication 19.01.2022