



Преобразование отходов добычи известняка-ракушечника пропиткой полисульфидными растворами

И.А. Массалимов^{1*}, Б.И. Массалимов², Б.С. Ахметшин¹, Ф.Х. Уракаев³, М.М. Буркитбаев⁴

¹ Башкирский государственный университет, Уфа, Республика Башкортостан, Россия;

² Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва, Россия;

³ Институт геологии и минералогии имени В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия;

⁴ Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алмата, Казахстан

* **Контакты:** e-mail: ismail_mass@mail.ru

© Коллектив авторов, 2020

РЕЗЮМЕ: Представлены данные исследований эффективности пропитки «Аквастат» отходов, образующихся в результате разработки месторождений известняка-ракушечника. В результате пропитки песка коэффициент водопоглощения претерпел существенное снижение от 7 до 17 раз, при этом коэффициент водопоглощения снижается с 32,5% для исходного до 1,9% пропитанного. Даже при обработке слабо концентрированным ($\rho = 1,17 \text{ г/см}^3$) раствором полисульфида кальция коэффициент водопоглощения снижался до значения, равного 4,5%. В результате пропитки щебня из известняка-ракушечника раствором полисульфида кальция коэффициент водопоглощения снижается с 25,0% для необработанного до 5,2% для обработанных, причем снижение коэффициента водопоглощения больше для концентрированных растворов. Выявлено, что плотности раствора, равного $1,24 \text{ г/см}^3$, достаточно для снижения коэффициента водопоглощения до значения, равного 5,2%, такого же как и для значения плотности равного $1,35 \text{ г/см}^3$. Сравнение результатов пропитки раствором «Аквастат» и расплавом серы показало, что в результате обработки расплавом серы коэффициент водопоглощения снижается в 13,3 и прочность повышается в 2 раза, а в результате пропитки раствором «Аквастат» снижается в 4,62%, прочность повышается в 1,35 раз. Несмотря на большую эффективность обработки расплавом серы такая обработка имеет недостатки, связанные с применением автоклавной технологии и повышенных температур. Результаты модификации песка и щебня из ракушечника пропиткой его раствором «Аквастат», обнаруженное существенное снижение параметра водопоглощения, увеличения прочности на сжатие открывают возможность применения пропитанного щебня в качестве материала слоя, лежащего в основании дорожных конструкций местных дорог в виде щебня и песка взамен более дорогого привозного щебня.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: известняк-ракушечник, сера, пропитка, прочность, отходы, гидрофобизация, полисульфид.

БЛАГОДАРНОСТИ: авторы благодарят ПЦФ Республики Казахстан и фонд «Сколково» за оказание поддержки.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Массалимов И.А., Массалимов Б.И., Ахметшин Б.С., Уракаев Ф.Х., Буркитбаев М.М. Преобразование отходов добычи известняка-ракушечника пропиткой полисульфидными растворами // Нанотехнологии в строительстве. – 2020. – Том 12, № 2. – С. 77–83. – DOI: 10.15828/2075-8545-2020-12-2-77-83.

ВВЕДЕНИЕ

Ракушечник — разновидность пористого известняка, состоящая из раковин моллюсков, песка и глины, которые спрессовывались тысячелетиями под действием давления и высоких температур. Материал, подаренный человеку природой и полностью готовый к употреблению. Большое распространение известняка делает возможной его добычу в различ-

ных регионах мира [1–6]. В России большинство крупных месторождений приурочены к западной части страны. Карьеры по добыче этого камня есть в Воронежской, Тульской, Белгородской, Архангельской и Вологодской областях. Добывают известняк также на Северном Кавказе, на Урале, в отдельных районах Сибири и в Московской области. Наиболее рентабельные месторождения расположены в центральных районах Европейской территории

России. На Урале наибольшими запасами обладает Челябинская область, а в Сибири — Новосибирская, Кемеровская области и Красноярский край. В Казахстане разведано 122 месторождения известняков, пригодных для производства извести, и запасы этих месторождений являются весьма обширными. Казахстан можно считать Клондайком для производства различных видов извести, он обладает прекрасным региональным расположением для поставок известняковых пород и готовой извести в соседние регионы и страны Таможенного Союза.

Ракушечник, добываемый в карьерах, зачастую имеет широко развитую капиллярную систему в своей микроструктуре, которая заполнена воздухом. Благодаря этому камень обладает высокими шумоподавляющими свойствами и минимальной теплопроводностью, что позволяет экономить на дорогостоящих энергоресурсах. Для добычи ракушечника применяются взрывной, экскаваторный, комбайновый методы, при этом образуется много отходов в виде щебня и мелкой крошки, которая может быть использована при проведении строительных работ и работ по отсыпке дорог. Несмотря на широкое применение известняка-ракушечника в строительстве необходимо отметить некоторые его недостатки, которые могут снижать эксплуатационные характеристики и долговечность строительных материалов. Этот материал гигроскопичен, обладает значительным объемом пористости, равной 22–50%, постепенно растворяется в воде, интенсивность растворения повышается при воздействии на камень подземных вод и атмосферных осадков, насыщенных кислотными соединениями, что предопределяет его сравнительно невысокую морозостойкость (марка по морозостойкости F15–F35) и снижение прочности при насыщении водой, величина коэффициента размягчения составляет 0,6–0,9. Таким образом, актуальными являются вопросы защиты строительных материалов из известняка-ракушечника от увлажнения и повышения их долговечности [7–9].

Одним из наиболее простых и технологичных способов решения задачи улучшения эксплуатационных свойств и повышения долговечности является пропитка полисульфидными растворами. Так, для ракушечника проведена пропитка, обеспечивающая глубокое проникновение полисульфидного раствора в материал [10]. В результате показано, что пропитка известняка-ракушечника полисульфидными растворами позволяет улучшить эксплуатационные свойства и повысить долговечность стеновых, облицовочных и дорожных строительных материалов на его основе, подвергающихся атмосферным воздействиям.

Необходимо также указать, что на многих карьерах России и Республики Казахстан в результате варварской добычи известняка в целях применения

его в качестве облицовочного материала накопилось значительное количество известняка в виде песка различных фракций, улучшение его эксплуатационных характеристик наряду с щебнем позволило бы получить очень важный строительный материал — песок для дорожного строительства. Положительные результаты применения растворов полисульфидов могут послужить стимулом к переработке отходов карьеров известняка ракушечника (в виде песка и щебня), которые в природном состоянии не обладают набором физико-химических свойств, необходимым для их применения в дорожном и промышленном строительстве [11–13]. В связи с этим, в работе проведен эксперимент по пропитке известнякового песка и щебня с целью снижения параметра водопоглощения, применяя методику обработки полисульфидным раствором [14–17].

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Для модификации свойств в качестве песка в работе использован отсев известняка-ракушечника месторождения Бейнеу Мангистауской области фракции 2,5 мм, который образуется при получении щебня из известняка-ракушечника. Указанная фракция песка была пропитана растворами полисульфида кальция различной плотности, на рис. 1 показаны изображения песка исходного 1а и пропитанного раствором полисульфида кальция плотностью 1,24 г/см³ в течение 1 часа.

Из рис. 1 видно, что пропитка приводит к заметному изменению цвета песка, и, как показали исследования, пропитка песка привела к заметному увеличению величины насыпной плотности в интервале от 23–28% и увеличению степени пропитки (увеличению веса пропитанного образца). Коэффициент водопоглощения в результате пропитки претерпевал многократное снижение от 7 до 17 раз (см. табл. 1). Даже при обработке слабо концентрированным ($\rho = 1,17$ г/см³) раствором полисульфида кальция коэффициент водопоглощения снижался до значения, равного 4,5%, увеличение концентрации раствора приводило к дальнейшему уменьшению коэффициента водопоглощения до значения 1,9%.

В экспериментах по модификации щебня известняка-ракушечника были использованы образцы Бейнеуского месторождения Мангистауской области. Для изучения влияния концентрации пропиточного раствора на его водопоглощение образцы известнякового щебня были пропитаны растворами полисульфида кальция различной плотности, внешний вид исходного (непропитанного) щебня и пропитанных образцов приведен на рис. 2. Пропитка проводилась погружением образцов щебня из известняка-ракушечника (фракция 10–20 мм)

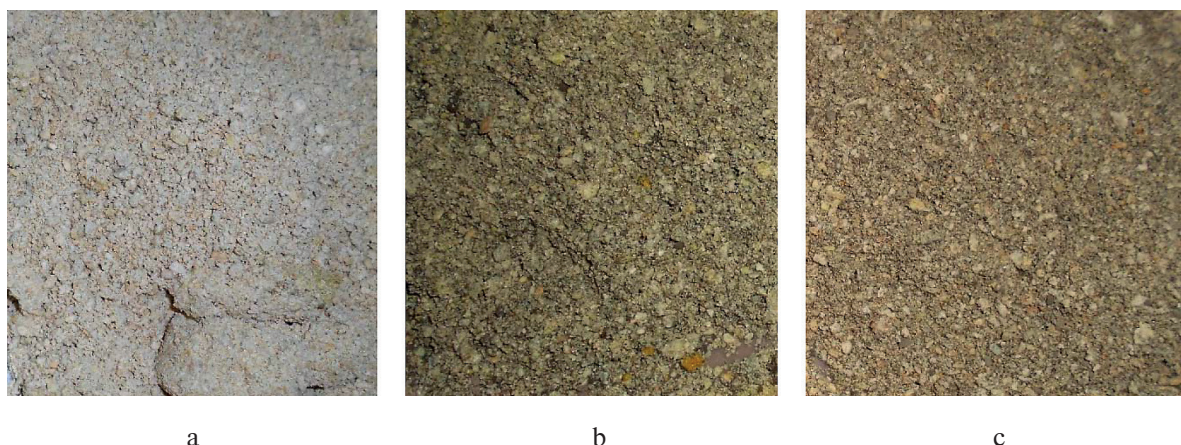


Рис. 1. Песок фракции 2,5 мм из отсева известняка-ракушечника: а — исходный; б — пропитанный раствором «Аквастат» плотностью 1,24 г/см³ в течение 30 минут; с — пропитанный раствором «Аквастат» плотностью 1,24 г/см³ в течение 60 минут

в растворы на один час (см. рис. 2), результаты измерения насыпной плотности и коэффициента водопоглощения приведены в табл. 2.

Из данных, приведенных в табл. 2, видно, что пропитка щебня так же, как и песка в растворах полисульфида кальция различной плотности приводит к существенному снижению коэффициента водопоглощения, в то же время насыпная плотность увеличивается незначительно. В результате пропитки щебня из известняка-ракушечника раствором полисульфида кальция насыпная масса щебня увеличилась в среднем на 2,4%. Из табл. 2 также видно, что водопоглощение исходных образцов составляет 25,0%, и обработка раствором с самой низкой плотностью, равной 1,17 г/см³, приводит к трехкратному снижению этого параметра, при этом достигается

значение параметра, равное 8,1%. Установлено, что постепенное увеличение плотности пропиточного раствора приводит к монотонному снижению коэффициента водопоглощения. Наименьшее значение параметра водопоглощения, равное 5,2%, имеет образец, пропитанный раствором полисульфида кальция с максимальной плотностью, равной 1,35 г/см³. Выявлено, что плотности раствора, равного 1,24 г/см³, достаточно для снижения коэффициента водопоглощения до значения, равного 5,2%, такого же, как и для значения плотности, равного 1,35 г/см³. Последнее имеет важное значение, так как позволяет при гидрофобизации щебня и песка обойтись растворами плотности не более 1,24 г/см³, которые гораздо легче приготовить, чем более концентрированные с плотностью 1,35 г/см³.

Таблица 1

Физико-механические свойства песка из известняка-ракушечника, фракции 2,5 мм, пропитанного в растворах полисульфида кальция различной плотности

№	Плотность раствора, г/см ³	Степень проп, %, 1 ч	Насыпная плотность, г/см ³	Коэффициент водопоглощения, %
исходн.	—	—	0,551	32,5
1	1,16	14,25	0,701	4,5
2	1,17	17,17	0,679	3,5
3	1,19	17,33	0,678	2,2
1	1,20	17,68	0,683	2,6
5	1,22	19,27	0,697	2,5
4	1,24	21,69	0,693	2,0
6	1,35	22,64	0,704	1,9



Рис. 2. Пропитка образцов щебня погружением в растворы «Аквастат» различной плотности в диапазоне от $\rho = 1,17 \text{ г/см}^3$ до $\rho = 1,35 \text{ г/см}^3$: а – пропитка образцов щебня; б – внешний вид образцов

Таблица 2

Зависимость насыпной плотности и коэффициента водопоглощения щебня от плотности пропиточного раствора «Аквастат»

№	насыпная плотность ρ , г/см ³	плотность раствора ρ , г/см ³	водопоглощение, %
исходн.	—	0,675	25,0
1	1,17	0,685	8,1
2	1,19	0,697	7,9
3	1,20	0,679	7,5
4	1,22	0,686	6,5
5	1,24	0,682	5,2
6	1,35	0,691	5,2

Необходимо отметить, что традиционно сера в строительстве применялась в качестве расплава [18–20], которому пропитывались строительные материалы. Для сравнения метода гидрофобизации полисульфидным раствором и расплавом серы ниже приведена табл. 3, в которой приведены значения ряда параметров известнякового щебня, пропитанного в разных условиях. Сравнение показывает на значительное увеличение в 2,1 раз прочности на сжатие при обработке расплавом серы, в то время как обработка раствором полисульфида кальция приводит к увеличению этого параметра в 1,36 раз.

Водопоглощение щебня при обработке раствором полисульфида кальция снижается в 4,6 раз, а при обработке расплавом серы снижается в 13 раз.

Но при сравнении эффективности использованных методов необходимо учитывать сложности применения расплава серы в целях гидрофобизации строительных материалов. Пропитка материалов расплавом серы включает ряд последовательных технологических процессов: разогрев серы до 150°C; сушку и подогрев изделий при температуре 130–140°C; по-

гружение изделий в расплав и пропитку; извлечение изделий из расплава серы и их охлаждение. Для осуществления эффективной пропитки расплавом серы необходимо использовать герметичную ванну, снабжённую системой вакуумирования. Как показала практика, методу пропитки бетонных изделий расплавом серы присущи также следующие недостатки. Во-первых, для осуществления пропитки расплавом серы необходим разогрев и серы, и бетонных изделий до температуры 140–150°C, что существенно увеличивает энергоёмкость процесса. Кроме того, разогрев изделий до таких температур может вызвать напряжения в материале и привести к снижению прочности. Во-вторых, из-за относительно высокой вязкости расплава серы необходимо использовать вакуумирование или избыточное давление, что значительно усложняет и удорожает технологию пропитки расплавом серы.

Необходимо отметить также чувствительность процесса к флуктуациям температурного режима, так как сера является жидкотекучей лишь в определенном температурном интервале. Поэтому, несмотря

Таблица 3

Зависимость прочности и коэффициента водопоглощения известнякового щебня при обработке раствором полисульфида кальция и расплавом серы. Обозначения в таблице: НД – нормативные документы на методы испытаний; 1 – контрольный образец; 2 – обработанный образец

Наименование показателей	НД	Пропитка раствором «Аквастат», $\rho = 1,24 \text{ г/см}^3$, температура 24°C, 1 час		Пропитка расплавом серы, температура 160°C, 30 мин.	
		1	2	1	2
Плотность, г/см ³	ГОСТ 9758	792	801	763	842
Прочность на сжатие в цилиндре, МПа	ГОСТ 9758	0,53	0,72	0,58	1,24
Водопоглощение, %	ГОСТ 9758	24,0	5,2	28,0	2,1

на заметное улучшение характеристик (водопоглощения, морозостойкости, механической прочности, химической стойкости) пропитанных расплавом серы бетонов широкого распространения этот метод не получил, даже несмотря на экологическую безопасность пропитанных изделий. Недостатком в этом методе оказываются трудности осуществления пропитки из расплавленного состояния. В настоящее время изделия, пропитанные расплавленной серой, используются в специальных случаях, когда необходимо защитить бетон от агрессивных сред (кислотные среды и солевые растворы) [21–22].

ВЫВОДЫ

1. Представленные результаты свидетельствуют об эффективности пропитки полисульфидными растворами песка и щебня, образуемого при разработке месторождений известняка-ракушечника и использовании их при отсыпке дорог. Как и в более ранних работах пропитка позволяет проникать молекулам полисульфида в поровую структуру известняка-ракушечника, и при высыхании материала в его порах из полисульфидного раствора выкристаллизовываются наночастицы серы, частично заполняющие поровое пространство и формирующие защитное долговечное нерастворимое гидрофобное покрытие, затрудняющее проникновение воды в поры ракушечника.

2. В результате пропитки песка коэффициент водопоглощения претерпел существенное снижение от 7 до 17 раз, коэффициент водопоглощения снижается с 32,5% для исходного до 1,9% пропитанных.

Даже при обработке слабо концентрированным ($\rho = 1,17 \text{ г/см}^3$) раствором полисульфида кальция коэффициент водопоглощения снижался до значения, равного 4,5%.

3. В результате пропитки щебня из известняка-ракушечника раствором полисульфида кальция коэффициент водопоглощения снижается с 25,0% для необработанного до 5,2% для обработанных, причем снижение коэффициента водопоглощения больше для концентрированных растворов. Выявлено, что плотности раствора, равного $1,24 \text{ г/см}^3$, достаточно для снижения коэффициента водопоглощения до значения, равного 5,2%, такого же как и для значения плотности, равного $1,35 \text{ г/см}^3$.

4. Сравнение результатов пропитки раствором «Аквастат» и расплавом серы показала, что в результате обработки расплавом серы коэффициент водопоглощения снижается в 13,3, и прочность повышается в 2 раза, а в результате пропитки раствором «Аквастат» снижается в 4,62%, прочность повышается в 1,35 раз. Несмотря на большую эффективность обработки расплавом серы такая обработка имеет недостатки, связанные с применением автоклавной технологии и повышенных температур.

5. В результате модификации песка и щебня из ракушечника пропиткой его раствором «Аквастат», обнаружено существенное снижение параметра водопоглощения, увеличения прочности на сжатие открывают возможность применения пропитанного щебня в качестве материала слоя, лежащего в основании дорожных конструкций местных дорог в виде щебня и песка взамен более дорогого привозного щебня.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Амбарцумян Н.В. Строительные горные породы для производства стеновых и облицовочных материалов. — М.: МГИ, 1982. — 282 с.
2. Семеновский Ю.В. Камни облицовочные: Справочник / Науч. ред. А.С. Филько; М-во природ. ресурсов РФ. — М.: Геоинформмарк, 1998. — 25 с. 3.
3. Семеновский Ю.В. Известняк: Справочник / Науч. ред. А.С. Филько; М-во природ. ресурсов РФ. — М.: Геоинформмарк, 1999. — 19 с.
4. Горная энциклопедия / Гл. ред. Е.А. Козловский; Ред. кол.: М.И. Агошков, Н.К. Байбаков, А.С. Болдырев и др. — М.: Сов. энциклопедия, 1985. — Т. 2. — 575.
5. Бакка Н.Т. Облицовочный камень. Геолого-промышленная и технологическая оценка месторождений: Справочник / Н.Т. Бака, И.В. Ильченко. — М.: Недра, 1992. — 303 с.
6. Природные облицовочные камни Казахстана: справочник / Под ред. А.А. Абдуллина, Х.А. Беспяева, Э.С. Воцалевского, С.Ж. Даукеева, Л.А. Мирошниченко. — Алматы: Информационно-аналитический центр геологии и минеральных ресурсов РК, 2000. — Т. 1. — 181 с.
7. Баженов Ю.М. Бетонополимеры. — М.: Стройиздат, 1983. — 472 с.
8. Рамачандран В., Фельдман Р., Бодуэн Дж. Наука о бетоне. Физико-химическое бетоноведение. — Пер. с англ. Под ред. Ратинова В.Б. — М.: Стройиздат, 1986. — 278 с.
9. Покровский Н.С. Пропиточная гидроизоляция бетона. — М.: Энергия, 1964. — 112 с.
10. Массалимов И.А., Чуйкин А.Е., Массалимов Б.И., Уракаев Ф.Х., Уралбеков Б.М., Буркитбаев М.М. Улучшение эксплуатационных свойств строительных материалов из известняка-ракушечника пропиткой полисульфидными растворами // Нанотехнологии в строительстве. — 2017. — Том 9, № 3. — С. 66–80. — DOI: dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2017-9-3-66-80.
11. Массалимов И.А., Волгушев А.Н., Чуйкин А.Е., Хусаинов А.Н., Мустафин А.Г. Долговременная защита строительных материалов покрытиями на основе наноразмерной серы // Нанотехнологии в строительстве. — 2010. — № 1. — С. 45–58. — URL: http://www.nanobuild.ru/ru_RU/journal/Nanobuild_1_2010_RUS.pdf (дата обращения 24.04.2017).
12. Янахметов М.Р., Чуйкин А.Е., Массалимов И.А. Модифицирование поровой структуры цементных бетонов пропиткой серосодержащими растворами // Нанотехнологии в строительстве. — 2015. — Том 7, № 1. — С. 63–72. — URL: http://nanobuild.ru/ru_RU/journal/Nanobuild-1-2015/63-72.pdf (дата обращения 24.04.2017).
13. Массалимов И.А., Янахметов М.Р., Чуйкин А.Е. Прочность и долговечность бетона, модифицированного пропиточными составами на основе серы // Нанотехнологии в строительстве. — 2015. — Том 7, № 3. — С. 61–75. — URL: http://www.nanobuild.ru/en_EN/journal/Nanobuild-3-2015/61-75.pdf (дата обращения 24.04.2017).
14. Массалимов И.А., Мустафин А.Г., Чуйкин А.Е., Волгушев А.Н., Массалимов Б.И., Хусаинов А.Н. Упрочнение и увеличение водонепроницаемости бетона покрытиями на основе наноразмерной серы // Нанотехнологии в строительстве. — 2010. — № 2. — С. 54–61. — URL: http://www.nanobuild.ru/ru_RU/journal/Nanobuild_2_2010_RUS.pdf (дата обращения 24.04.2017).
15. Massalimov I.A., Yanakhmetov M.R., Chuykin A.E., Mustafin A.G. Protection of Building Constructions with Sulfur Impregnating Solution. Study of Civil Engineering and Architecture (SCEA). June 2013. Vol. 2. Issue 2. pp. 19–24. <https://www.researchgate.net/publication/287432901>.
16. Массалимов И.А., Янахметов М.Р., Чуйкин А.Е., Хусаинов А.Н., Мустафин А.Г. Способ обработки строительных материалов полисульфидными растворами // Патент 024383 Евразийский, C04B 41/50. C04B 28/36 / № 201400277; заявл. 26.03.2014; опубл. 30.09.2016. Бюл. № 9. — 5 с.
17. М.Р. Янахметов, И.А. Массалимов, А.Е. Чуйкин, А.Н. Хусаинов, А.Г. Мустафин. Трансформация молекул полисульфидов в наноразмерные частицы серы в пористых неорганических системах // Вестник Башкирского Университета. — 2013. — Т. 18. № 3. — С. 691–693.
18. Патуроев В.В., Волгушев А.М., Орловский Ю.И. Серные бетоны и бетоны, пропитанные серой. — Обз. инф. М.: ВНИИС Госстроя СССР, 1985. — Сер. 7. — Вып. 1. — 59 с.
19. Патуроев В.В., Орловский Ю.И., Манзай В.П. Технология пропитки бетонных изделий расплавом серы. // Бетон и железобетон. — 1983. — № 7. — С. 28–29.
20. Milica M. Vlahovic, Sanja P. Martinovic, Tamara Dj. Boljanac, Predrag B. Jovanic, Tatjana D. Volkov-Husovic. Durability of sulfur concrete in various aggressive environments. Construction and Building Materials. Volume 25, Issue 10, October 2011, Pp. 3926–3934. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.04.024>.
21. Mc Bee W.C., Sullivan T.A., Jong B.W. Industrial evaluation of sulfur concrete in corrosive environments. Bu Mines RI 8786; 1983. P. 15.
22. Margareth Dugarte, Gilberto Martinez-Arguelles and Jaime Torres Experimental Evaluation of Modified Sulfur Concrete for Achieving Sustainability in Industry Applications. Sustainability 2019, v. 11, No. 70, pp.1–16. DOI:10.3390/su11010070.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Массалимов Исмаил Александрович, д-р техн. наук, проф., Башкирский государственный университет (ФГБОУ ВО БашГУ, Уфа, ул. Заки Валиди д.32); зав. лабораторией, Научно-исследовательский технологический институт гербицидов Академии наук Республики Башкортостан (ГБУ «НИТИГ АН РБ»); ул. Ульяновых д. 65, г. Уфа, 450029; ООО ИП «СУЛЬФИДНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»; ismail_mass@mail.ru;

Массалимов Бурхан Исмаилович, инженер, Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН; Ленинский проспект, д. 63, Москва, 119991; ООО ИП «СУЛЬФИДНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ» b.massalimov@yandex.ru;

Ахметшин Булат Салаватович, ассистент ФГБОУ ВО БашГУ; ул. Заки Валиди д.32, 450076, Уфа; ООО ИП «СУЛЬФИДНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ», akhbulat@mail;

Уракаев Фарит Хисамутдинович, д-р хим. наук, вед. научн. сотр., Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН; проспект Академика Коптюга, 3, Новосибирск, 630090, urakaev@igm.nsc.ru;

Буркитбаев Мухамбеткали Мырзабаевич, д-р хим. наук, проректор, Казахский национальный университет им. аль-Фараби; проспект аль-Фараби, 71, Казахстан, Алматы, 050040; mukhambetkali.Burkitbayev@kaznu.kz

Статья поступила в редакцию: 04.03.2020.

Статья поступила в редакцию после рецензирования: 29.03.2020.

Статья принята к публикации: 05.04.2020.