

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОБРАЩЕНИЯ С ОТХОДАМИ В РФ

DOI: 10.34828/UdSU.2023.43.86.006

УДК 66.017

С.Б. Ярусова, П.С. Гордиенко, С.Н. Данилова, Д.В. Достовалов, И.Г. Жевтун, И.Ю. Буравлев, А.А. Охлопкова, Г.Ф. Крысенко

ПОЛУЧЕНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ СИЛИКАТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА БОРНОЙ КИСЛОТЫ: ОБЗОР

Аннотация. В статье рассмотрены предлагаемые технологические схемы переработки отходов производства борной кислоты (борогипса), накопленных на территории Дальневосточного региона РФ в значительных объемах. Показано, что в перечне потенциальной полезной продукции из борогипса основной сегмент принадлежит получению строительных материалов и различным соединениям на основе силикатов (диоксид кремния, жидкое натриевое стекло, волластонит, натрийкальций-силикатные стекла). Приведены результаты собственных исследований авторов, связанных с разработкой физико-химических основ комплексной переработки борогипса с получением многофункциональных минеральных наполнителей на основе силикатов кальция (в том числе, игольчатого волластонита), белой сажи, керамических матриц, удобрений.

Ключевые слова: отходы производства борной кислоты, борогипс, комплексная переработка, силикатные материалы, гидросиликаты кальция, волластонит, функциональные материалы.

Для цитирования: Получение и перспективы применения силикатных материалов из промышленных отходов производства борной кислоты: обзор / С.Б.Ярусова, П.С.Гордиенко, С.Н.Данилова, Д.В.Достовалов, И.Г.Жевтун, И.Ю.Буравлев, А.А.Охлопкова, Г.Ф.Крысенко // Управление техносферой: электрон. журнал, 2023. Т.6. Вып.3. URL: <https://technosphere-ing.ru> С. 362–385 . DOI: 10.34828/UdSU.2023.43.86.006

Современное состояние экономики России характеризуется довольно низким коэффициентом использования материально-сырьевых и

энергетических ресурсов, в результате чего образуются значительные объемы отходов, оказывающих негативное влияние на окружающую среду.

Повторное использование российского техногенного сырья входит в число приоритетных направлений, особенно в последние годы, в связи с введенными в отношении РФ санкционными ограничениями и, соответственно, изменением подхода к импортозамещению [1, 2]. В основе технологического суверенитета России лежит стратегия импортозамещения с ориентацией на внутреннего производителя, поиск собственных современных решений в различных областях науки и техники, выпуск российской продукции независимо от ее рентабельности [2, 3].

В плане больших объемов накопления техногенных отходов Дальний Восток не является исключением: за годы работы предприятий горнорудной и химической промышленности в этом регионе накоплены миллионы тонн техногенных отходов, к числу которых относятся и отходы производства борной кислоты (борогипс). Несколько десятков миллионов тонн не перерабатывающихся в настоящее время отходов накоплено на предприятии ООО Дальнегорский химический комбинат «Бор» и Комсомольском сернокислотном заводе. На целесообразность промышленного освоения борогипса периодически указывают специалисты и ученые в докладах и резолюциях конференций, посвященных проблемам социально-экономического развития моногородов [4, 5].

Систематические научные исследования, связанные с проблемой комплексной переработки многотоннажных отходов производства борной кислоты, практически не проводились с начала 90-х годов XX в. Перечень полезной продукции, рекомендуемой для получения из борогипса в результате проводимых в различные годы исследований, приведен в табл.1 [6–29].

Таблица 1

Перечень полезной продукции из борогипса по различным
технологическим схемам

Продукты переработки борогипса	Источник
Строительные материалы на основе гипса	
Серная кислота и цемент	6
Строительный гипс (содержание $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} > 90\%$)	7
Гипсовое вяжущее с повышенной прочностью	8
Гипсовое вяжущее с повышенной прочностью и водостойкостью	9
Двухводный гипс, ангидрит	10
Гипсо-волоконные листы повышенной прочности	11
Гипсовое вяжущее	12, 13
Изделия из арболита (разновидность легкого бетона)	14, 15
Строительный раствор для штукатурных работ, для ремонтных работ зданий и сооружений	16
Комплексная добавка в бетонную смесь	17
Соединения на основе силикатов	
Волластонит и диоксид серы	18
Белая сажа (содержание SiO_2 75%)	7
Диоксид кремния (80-95,35 масс.%)	7, 19
Жидкое натриевое стекло	7, 20
Кремниевый концентрат (содержание SiO_2 53,56 %) для получения «белой сажи» (ГОСТ 18307-78)	10
Натрийкальций-силикатные стекла	21
Комплексные удобрения	
Комплексное минеральное удобрение (удобрение «Новинка», органоминеральные удобрения, торфогуминовые удобрения)	22-24
Фосфорные удобрения с бором (дикальцийфосфат)	25
Гранулированная аммиачная селитра	26
Сорбенты	
Очистка сточных вод от лакокрасочных материалов в автомобильном и сельскохозяйственном машиностроении, химической промышленности	11
Сорбент для очистки промышленных сточных вод от поливинилового спирта	27
Диоксид серы, известь	28
Другие материалы	
Окатыши из фосфатного сырья	29

Как видно из табл.1, перечень полезной продукции из борогипса можно условно разделить на ряд основных групп: строительные материалы, соединения на основе силикатов, комплексные удобрения и сорбенты.

С 2007 года Институтом химии Дальневосточного отделения Российской академии наук совместно с Северо-Восточным федеральным университетом им. М.К.Амосова, Дальневосточным федеральным университетом, Владивостокским государственным университетом активно проводятся работы, связанные с разработкой физико-химических основ комплексной переработки отходов производства борной кислоты (борогипса), накопленных на территории Дальнегорского городского округа [30–33].

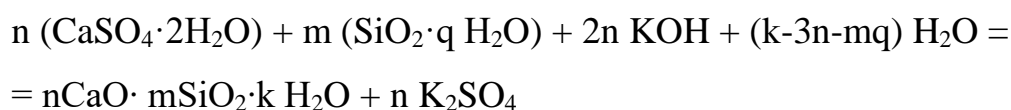
Борогипс образуется в процессе получения борной кислоты (до 5–5,5 т борогипса на 1 т) путем сернокислотного разложения датолитового концентрата. Борогипс характеризуется следующим содержанием основных компонентов, масс. %: SiO_2 – 26–28; CaO – 26–28; SO_4^{2-} – 38–40; Fe_2O_3 – 1,8–2; Al_2O_3 – 0,6–0,8; B_2O_3 – 0,7–1,2; MnO – 0,2; MgO – 0,1–0,2.

Фазовый состав борогипса представлен в основном дигидратом сульфата кальция и аморфным кремнезёмом.

Борогипс относится к отходам V класса опасности; пожаро- и взрывобезопасен. Согласно данным гамма-спектрометрического анализа рассчитанная величина удельной эффективной активности естественных радионуклидов (^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th) для отходов борогипса составляет 17,9 Бк/кг, что позволяет применять данный материал для производства всех видов строительных материалов.

Соотношение химических компонентов в борогипсе (в перерасчете на молярное соотношение $\text{CaO}:\text{SiO}_2 \sim 1:1$) позволяет выделить эти отходы в группу перспективного техногенного сырья для получения гидросиликатов кальция $n\text{CaO}\cdot m\text{SiO}_2\cdot p\text{H}_2\text{O}$ и волластонита $\text{Ca}_6\text{Si}_6\text{O}_{18}$.

Процесс получения гидросиликатов кальция из борогипса в присутствии щелочного агента (гидроксида калия) описывается суммарным уравнением:



При термическом обезвоживании полученных гидросиликатов кальция происходит кристаллизация волластонита в интервале температур 700–830°C [34, 35].

Проведен значительный объем исследований, связанный с разработкой физико-химических основ комплексной переработки борогипса с получением гидросиликатов кальция, волластонита и калийных удобрений. Исследованы закономерности ультразвукового, микроволнового и автоклавного синтеза силикатов кальция из борогипса [36–39].

В табл.2 приведены основные направления исследований, проведенных в Институте химии ДВО РАН совместно с ведущими вузами Дальневосточного региона РФ, связанных с получением функциональных материалов с использованием силикатов кальция из борогипса.

Таблица 2

Основные направления использования борогипса и полученных на его основе силикатных соединений

Режим обработки борогипса	Продукты переработки	Литература
Без обработки	- цементы повышенной прочности; - сорбент	40, 41
Обработка гидрофторидом аммония при 130-180°C в течение 3 ч	- аморфный диоксид кремния («белая сажа»); - плавикошпатовый концентрат CaF ₂	42
Щелочная обработка при 20-220°C в течение 1-12 ч	- гидросиликаты кальция; - сорбенты тяжелых металлов, долгоживущих радионуклидов, органических красителей, микроорганизмов; добавка в бетон; - калийные удобрения - покрытия; - керамические матрицы для иммобилизации долгоживущих радионуклидов	43–49

Продолжение табл. 2

Щелочная обработка при 20-220°C и последующий обжиг продукта при 900-1200°C в течение 1-3 ч	- волластонит; - добавка в полимерные композиционные материалы; - добавка в бетон; - покрытия	47, 50–55
---	--	-----------

Цель краткого обзора, представленного авторами в статье, – показать перспективы комплексной переработки отходов борного производства, с последующим созданием производственной линии на базе градообразующих предприятий с получением многофункциональных минеральных наполнителей на основе силикатов кальция (в том числе, игольчатого волластонита), белой сажи, керамических матриц, удобрений. Следует подчеркнуть, что в связи с введенными в отношении РФ санкционными ограничениями современный подход к импортозамещению при реализации новых технологий диктует учитывать не только их экономическую обоснованность, но и ориентироваться на выпуск российской продукции независимо от ее рентабельности, что является основой технологического суверенитета. Все вышесказанное приобретает особую актуальность в связи с созданием в 2022 году Дальневосточного научно-образовательного консорциума «Морская горная отрасль», целью которого является объединение усилий участников в научно-образовательной сфере для развития освоения минерально-сырьевых ресурсов прибрежных территорий, континентального шельфа и международного района морского дна.

Создание производственных линий по комплексной переработке борогипса может быть реализовано за счет различных форм государственно-частного партнерства, в том числе за счет субсидий в рамках федеральных целевых программ, с привлечением мер государственной поддержки (Субсидии на развитие кооперации российских образовательных организаций высшего образования, государственных научных учреждений и организаций реального

сектора экономики в целях реализации комплексных проектов по созданию высокотехнологичных производств (Постановление Правительства РФ от 09.04.2010 № 218); Субсидии из федерального бюджета российским организациям на компенсацию части затрат на проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по современным технологиям в рамках реализации такими организациями инновационных проектов (Постановление Правительства РФ от 12.12.2019 № 1649 и др.).

**Работа выполнена в рамках гос. задания Института химии ДВО РАН № FWFN(0205)-2023-0002.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Очередное экологическое ЧП зафиксировано в Комсомольске-на-Амуре [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ecoindustry.ru/NEWS/view/36663.html>. (Дата обращения: 12.01.2023).
2. Абдикеев Н.М. Импортозамещение в высокотехнологичных отраслях промышленности в условиях внешних санкций // Управленческие науки, 2022. Т.12(3). С.53–69.
3. Импортозамещение в промышленности: новые проекты и их финансирование. URL: <https://www.garant.ru/news/1581704/> (дата обращения: 12.01.2023).
4. Ярусова С.Б., Гордиенко П.С., Пашнина Е.В. и др. К вопросу о комплексной переработке техногенных месторождений, расположенных на территории монопрофильных муниципальных образований Приморского края // Малые города как фактор развития производительных сил Дальнего Востока: материалы региональной (с международным участием) научно-практической конференции. г. Большой Камень, 21–22 октября 2016 г. Научное электронное издание. Владивосток: ДВФУ, 2016. С. 33–41.
5. Резолюция конференции // Социально-экономическое развитие моногородов: традиции и инновации: материалы научно-практической конференции с международным участием, г. Дальнегорск, 26–27 мая 2016 г. Владивосток: ДВФУ, 2016. С. 416–420.
6. Красиков И.С. БОР: флагману горной химии Приморья – 40 лет. Хабаровск: Издательский дом «Приамурские ведомости», 1999. 176 с.

7. Семлёв В.С., Кондриков Н.Б., Реутов В.А. Получение неорганических материалов (гипса, высокодисперсного диоксида кремни и жидкого натриевого стекла) из минеральных промышленных отходов // Принципы и процессы создания неорганических материалов: Межд. Симпозиум (Третьи Самсоновские чтения), 12–15 апреля 2006 г., Хабаровск: [материалы симпозиума]: Изд-во ТОГУ, 2006. С. 150–152.
8. Патент 2036178 РФ, МПК С04В11/02. Способ производства гипсового вяжущего / В.М. Дымский, Т.С. Шевякова. № 4841147/33; заявл. 29.05.1990; опубл. 27.05.1995.
9. Григорян К.Г., Багинова Л.Г., Айрапетян С.М и др. Вяжущий материал на основе борогипса // Химическая технология, 2016. № 2. С. 50–54.
10. Научное обоснование и разработка технологии переработки отходов производства борной кислоты и комплексности использования минерального сырья: монография / С.А. Патеюк, А.Н. Хатькова, Л.В. Шумилова; Забайкальский государственный университет. Чита: ЗабГУ, 2022. 194 с.
11. Левковский И.А., Усанов Г.И. Производственный потенциал переработки отходов сернокислотного производства // Студенческий научный форум 2014: международная студенческая электронная научная конференция, 2014. С. 58.
12. Патент 2324654 РФ, МПК С01F 11/46; В03D 1/02. Способ переработки гипсосодержащего сырья / В.С.Семлев, В.А.Реутов, Н.Б.Кондриков. № 2006127319/15; заявл. 27.07.2006; опубл. 20.05.08, Бюл. № 14.
13. Патент 2617480 РФ, МПК С04В11/00. Способ изготовления строительных материалов / Э.А. Дмитриев, В.В. Петров, А.Е. Проценко и др. № 2015136342; заявл. 26.08.2015; опубл. 25.04.2017.
14. Химические добавки для арболита: обзор, исследование эффективности, выводы. [Электронный ресурс] URL: <https://stavba.ru/materialy/arbolit/himicheskie-dobavki-arbolita.html#i-6>. (Дата обращения: 12.01.2023).
15. Краснова В.Ф., Зотов Д.А. Применение химических добавок для изготовления арболита // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика, 2018. Т.6. № 4(40). С.38-41.
16. Патент 2095326 РФ, МПК С04В28/00 (С04В28/00; 18:04; 111:20). Строительный раствор / А.В.Василисин, Д.Д.Сологуб. № 95118515/03; заявл. 27.10.1995; опубл. 10.11.1997.
17. А.с. 1512946 А1 СССР, С 04 В 22/00. Комплексная добавка в бетонную смесь / М.И. Минкевич, К.К. Кохановский, С.С. Сандыбаев и др. № 4171454/29-33; заявл. 04.01.87; опубл. 30.11.88, Бюл. № 44.

18. А.с. 1446129 А1 СССР, С 04 В 35/22. Способ получения синтетического волластонита и диоксида серы / В.А. Ершов, Л.В. Юмашев, В.Л. Кузнецова и др. № 4249093/31-33; заявл. 25.05.87; опубл. 23.12.88, Бюл. № 47.
19. Киндалюк Е.Г., Семлёв В.С., Кондриков Н.Б. и др. Выщелачивание шламов борогипса // Химия и химическое образование: IV Межд. Симпозиум, 16–19 мая 2007 г., Владивосток: [сб. науч. тр.]. Владивосток, 2007. С. 182.
20. Семлёв В.С., Киндалюк Е.Г., Француз Д.А. и др. Получение жидкого натриевого стекла // Химия и химическое образование: IV Межд. Симпозиум, 16–19 мая 2007 г., Владивосток : [сб. науч. тр.]. Владивосток, 2007. С. 196–197.
21. А.с. 1440879 А1 СССР, С 03 С 1/00, С 03 В 1/00. Способ получения стекломассы / К.С. Каткова, Т.И. Баландина, Э.П. Серегина и др. № 4171454/29-33; заявл. 04.01.87; опубл. 30.11.88, Бюл. № 44.
22. Голов В.И., Тимофеева Я.О. Экологические проблемы использования бытовых и производственных отходов в качестве удобрений и возможности самоочищения почв от ксенобиотиков и тяжелых металлов // Вестник ТГЭУ. №4, 2005. С. 100–105.
23. Голов В.И., Тимофеева Я.О. Бытовые и промышленные отходы: возможности утилизации и резервы самоочищения почвенного покрова // Вестник ДВО РАН, 2008. № 1. С. 91–97.
24. Патент 2346917 РФ, МПК С05F11/02. Органоминеральное удобрение на основе торфа / А.Н. Тимофеев, Н.И. Игнатов, Т.А. Асеева и др. № 2007114216/12; заявл. 16.04.2007; опубл. 20.02.09.
25. А.с. 1782971 А1 СССР, С 05 В 3/00, С 01 В 25/32. Способ получения дикальцийфосфата / М.Р. Танашева, М.С. Казымбетова. № 4861692/26; заявл. 21.08.90; опубл. 23.12.92, Бюл. № 47.
26. А.с. 1331858 А1 СССР, С 01 С 1/02. Способ получения гранулированной аммиачной селитры / М.И. Кузьменков, С.П. Мартынчик, Г.В. Сушкевич и др. № 3903222/31-26; заявл. 31.05.85; опубл. 23.08.87, Бюл. № 31.
27. А.с. 1333648 А1 СССР, С 02 F 1/58. Способ очистки сточных вод от поливинилового спирта / Г.К. Майлиева, В.Г. Калачева, Б.К. Нигметова и др. № 3975380/31-26; заявл. 07.08.85; опубл. 30.08.87, Бюл. № 32.
28. А.с. 1320172 А1 СССР, С 04 В 17/50, С 04 F 11/08. Способ переработки гипсодержащего сырья на диоксид серы и известь / В.А. Живописцев, О.В. Назарова, Б.Ф. Федюшкин и др. № 4001774/23-26; заявл. 06.01.86; опубл. 30.06.87, Бюл. № 24.

29. А.с. 1763361 А1 СССР, С 01 В 25/01. Способ окускования фосфатного сырья / К.Т. Жантасов, Л.М. Воложин, Е.Б. Грант и др. № 4819516/26; заявл. 25.04.90; опубл. 23.09.92, Бюл. № 35.
30. Гордиенко П.С., Ярусова С.Б., Колзунов В.А. и др. Получение силикатов кальция из отходов переработки борсодержащего минерального сырья // Химическая технология, 2011. Т.12. № 3. С. 142–147.
31. Ярусова С.Б., Гордиенко П.С. Комплексная переработка отходов производства борной кислоты с получением функциональных материалов с заданными свойствами // Социально-экономическое развитие моногородов: традиции и инновации. Всероссийская научно-практическая очно-заочная конференция «» (г. Дальнегорск, 23–24 мая 2013 г.): материалы / Владивосток: ИД Дальневосточного федерального университета, 2013. С. 270–281.
32. Патент 2601608 РФ, МПК С01В 33/24. Способ комплексной переработки борогипса / П.С. Гордиенко, С.Б. Ярусова, А.В. Козин и др. № 2015141651/05; заявл. 30.09.2015; опубл. 10.11.16, Бюл. № 31.
33. Ярусова С.Б., Гордиенко П.С. Комплексная переработка гипсовых промышленных отходов с получением функциональных материалов // Современные проблемы комплексной и глубокой переработки минерального сырья природного и техногенного происхождения (Плаксинские чтения – 2022): материалы международной конференции (г.Владивосток, 4–7 октября 2022 г.): Издательство Дальневосточного федерального университета, 2022. С. 412–415.
34. Ярусова С.Б., Гордиенко П.С. Комплексная переработка отходов производства борной кислоты // Прогрессивные методы обогащения и комплексная переработка природного и техногенного минерального сырья: материалы Международного совещания «» (Плаксинские чтения – 2014), г.Алматы (Республика Казахстан), 16–19 сентября 2014 г. Караганда: ТОО «Арко», 2014. С. 381–384.
35. Функциональные керамические и композитные материалы практического назначения: синтез, свойства, применение: монография / под науч. ред. акад. РАН В.И. Сергиенко. Владивосток: Изд-во ВВГУ, 2022. 246 с.
36. Гордиенко П.С., Баграмян В.В., Ярусова С.Б. и др. Влияние микроволновой обработки на кинетику формирования и морфологию гидросиликатов кальция // Журнал прикладной химии, 2012. Т. 85. Вып. 10. С. 1582–1586.

37. Гордиенко П.С., Ярусова С.Б., Супонина А.П. и др. Влияние ультразвуковой обработки на кинетику формирования гидросиликата кальция из борсодержащих техногенных отходов // Химическая технология, 2014. Т.15, № 10. С. 577–581.
38. Yarusova S.B., Gordienko P.S., Sharma Y.C. and others. Industrial waste as raw material for producing synthetic wollastonite in Russia. International Journal of Environmental Science and Development, 2017. Vol.8. № 1. pp. 1–5.
39. Yarusova S.B., Gordienko P.S., Buravlev I.Yu. and others. Chapter 18 - The use of ultrasonic treatment in technological processes of complex processing of industrial waste: Energetic insights. Energy Aspects of Acoustic Cavitation and Sonochemistry. Editor(s): Oualid Hamdaoui, Kaouther Kerboua, Elsevier, 2022, pp. 299–313.
40. Gordienko P.S., Yarusova S.B., Krysenko G.F. and others. Boron-containing wastes from mineral processing as a sorbent for Sr^{2+} ion removal from aqueous solutions. Pacific science review, 2012. Vol.14. № 3. pp. 269–274.
41. Gordienko P.S., Yarusova S.B., Demidov M.I. and others. Strength of Hydrated Cement Based on Borogypsum. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 753, 2020. 022002.
42. Гордиенко П.С., Крысенко Г.Ф., Ярусова С.Б. и др. Получение «белой сажи» из отходов борного производства // Фундаментальные исследования и прикладные разработки процессов переработки и утилизации техногенных образований: труды V Конгресса с международным участием и конференции молодых ученых «ТЕХНОГЕН-2021». Екатеринбург: УрО РАН, 2021. С. 183–186.
43. Патент 2550188 РФ, МПК В01J 20/10; В01J 20/04; В01J 20/30. Способ получения силикатного сорбента / С.Б. Ярусова, П.С. Гордиенко, О.В. Гриванова. № 2013159093/05; заявл. 30.12.2013; опубл. 10.05.15, Бюл. № 13.
44. Ярусова С.Б., Гордиенко П.С., Юдаков А.А. и др. Кинетика сорбции ионов тяжелых металлов сорбентом, полученным из отходов производства борной кислоты // Химическая технология, 2015. Т.16. № 10. С. 620–624.
45. Экологические исследования на Дальнем Востоке России: история и современность: монография / под ред. В.Ю. Цыганкова, С.Б. Ярусовой; Владивостокский государственный университет. Владивосток: Изд-во ВВГУ, 2022. 380 с.
46. Ярусова С.Б., Панасенко А.Е., Харченко У.В. и др. Синтез сорбента на основе техногенных отходов и возможности его использования для очистки водных сред от различных поллютантов // Инновационные технологии защиты окружающей среды в современном мире: материалы Всероссийской научной конференции с международным

- участием молодых ученых и специалистов, 18-19 марта 2021 г. Казань: Изд-во КНИТУ, 2021. С. 542–545.
47. Yarusova S.B., Gordienko P.S., Kozin A.V. and others. Influence of synthetic calcium silicates on the strength properties of fine-grained concrete. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 2018. Vol. 347. 012041.
48. Kharchenko U., Zemnukhova L., Yarusova S. and others. Use of silicate by-products in water treatment processes and development of eco-friendly self-polishing antifouling coatings. International Journal of Environmental Science and Technology. 2022. Vol.19, Is.7. pp. 5945–5956.
49. Шичалин О.О., Ярусова С.Б., Папынов Е.К. и др. Керамические матрицы на основе волластонита, полученные методом искрового плазменного спекания для иммобилизации кобальта-60 // Физико-химические проблемы адсорбции, структуры и химии поверхности нанопористых материалов: всероссийская конференция с международным участием (к 120-летию со дня рождения М.М.Дубинина), 18-22 октября, 2021, Москва. Сборник тезисов докладов. М.: ИФХЭ РАН, 2021. С. 195–198.
50. Патент 2595682 РФ, МПК С01В 33/24; С30В 7/10; С30В 29/34; С30В 29/62; В82В 3/00; В82У 40/00. Способ получения волластонита / П.С.Гордиенко, С.Б.Ярусова, А.В.Козин и др. № 2015141614/05; заявл. 30.09.2015; опубл. 27.08.16, бюл. № 24.
51. Гордиенко П.С., Козин А.В., Ярусова С.Б. и др. Комплексная переработка отходов производства борной кислоты с получением материалов для стройиндустрии. Архитектура и строительство Дальнего Востока: Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). Отдельные статьи (специальный выпуск). № 12. М: Изд-во «Горная книга», 2014. С. 60–66.
52. Гордиенко П.С., Ярусова С.Б., Козин А.В. и др. Материал на основе синтетического волластонита и его влияние на функциональные свойства мелкозернистого бетона. Перспективные материалы, 2017. № 9. С. 40–48.
53. Данилова С.Н., Ярусова С.Б., Буравлев И.Ю. и др. Модифицирование СВМПЭ волластонитом, синтезированным из отходов борного производства. Полимерные материалы и технологии, 2021. Т.7. № 1. С. 71–82.
54. Ярусова С.Б., Гордиенко П.С., Козин А.В. и др. Многотоннажные отходы на основе гипса сырье для получения волластонита. Технологии переработки отходов с получением новой продукции: материалы III Всероссийской научно-практической

конференции с международным участием, г.Киров, 24 ноября 2021: Вятский государственный университет, 2021. С. 88–91.

55. Данилова С.Н., Харченко У.В., Ярусова С.Б. и др. Использование синтетического волластонита на основе техногенного сырья в полимерах и покрытиях. Керамика и композиционные материалы: тезисы докладов X Всероссийской научной конференции. г.Сыктывкар, 26-27 октября 2021. ФИЦ Коми научный центр УрО РАН. С. 88–89.

Поступила в редакцию 02.04.2023

Сведения об авторах

Ярусова Софья Борисовна

к.х.н., доцент, старший научный сотрудник. ФГБУН «Институт химии» Дальневосточного отделения РАН, пр-т 100-летия Владивостока, 159, Владивосток, 690022, Россия.

E-mail: yarusova_10@mail.ru

Гордиенко Павел Сергеевич

д.т.н., профессор, заведующий лабораторией. ФГБУН «Институт химии» Дальневосточного отделения РАН, пр-т 100-летия Владивостока, 159, Владивосток, 690022, Россия.

E-mail: pavel.gordienko@mail.ru

Данилова Сахаяна Николаевна

м.н.с.; лаборатория «Полимерные композиты для Севера». Институт естественных наук, ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет им.М.К.Аммосова», ул. Белинского, д. 58, Республика Саха (Якутия), Якутск, 677000, Россия.

E-mail: dbsksnsdjjj@mail.ru

Достовалов Демьян Викторович

к.т.н., научный сотрудник. ФГБУН «Институт химии» Дальневосточного отделения РАН, пр-т 100-летия Владивостока, 159, Владивосток, 690022, Россия.

E-mail: demyan.dostovalov@mail.ru

Жевтун Иван Геннадьевич

к.т.н., научный сотрудник. ФГБУН «Институт химии» Дальневосточного отделения РАН, пр-т 100-летия Владивостока, 159, Владивосток, 690022, Россия.

E-mail: jevtun_ivan@mail.ru

Буравлев Игорь Юрьевич

к.х.н., доцент. Политехнический институт. ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», п. Аякс, 10, о. Русский, Владивосток, 690922, Россия.

E-mail: buravlev.i@gmail.com

Охлопкова Айталина Алексеевна

д.т.н., профессор, г.н.с. учебно-научно-технологическая лаборатория «Технологии полимерных нанокompозитов» им.С.А.Слепцовой. Институт естественных наук. ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет им.М.К.Аммосова», ул. Белинского, д. 58, Республика Саха (Якутия), Якутск, 677000, Россия.

E-mail: okhlopkova@yandex.ru

Крысенко Галина Филипповна

к.х.н., научный сотрудник ФГБУН «Институт химии» Дальневосточного отделения РАН, пр-т 100-летия Владивостока, 159, Владивосток, 690022, Россия.

E-mail: gfkrysenko@gmail.com

*S.B. Yarusova, P.S. Gordienko, S.N. Danilova, D.V. Dostovalov, I.G. Zhevtun,
I.Yu Buravlev, A.A. Okhlopko, G.F. Krysenko*

PRODUCTION AND PROSPECTS OF APPLICATION OF SILICATE MATERIALS FROM INDUSTRIAL BORIC ACID PRODUCTION WASTES: A REVIEW

Annotation. In the article the proposed technological schemes of boric acid production waste processing (borogypsum), accumulated on the territory of the Far East region of the Russian Federation in significant volumes, are considered. It is shown that in the list of potential useful products from borogypsum the main segment belongs to obtaining building materials and various compounds based on silicates (silicon dioxide, liquid sodium glass, wollastonite, sodium-calcium-silicate glasses). The results of the authors' own research related to the development of physical and chemical bases of complex processing of borogypsum with obtaining multifunctional mineral fillers based on calcium silicates (including needle wollastonite), silica fume, ceramic matrices, fertilizers are presented.

Keywords: boric acid production wastes, borogypsum, complex processing, silicate materials, calcium hydrosilicates, wollastonite, functional materials.

For citation: Yarusova S.B., Gordienko P.S., Danilova S.N., Dostovalov D.V., Zhevtun I.G., Buravlev I.Yu, Okhlopko A.A., Krysenko G.F. [Production and prospects of application of silicate materials from industrial boric acid production wastes: a review] *Upravlenie tekhnosferoi*, 2023, vol. 6, issue 3. (In Russ.) Available at: <https://technosphere-ing.ru/> pp 362–385.
DOI: 10.34828/UdSU.2023.43.86.006

REFERENCES

1. *Ocherednoe ekologicheskoe CP zafiksirovano v Komsomol'ske-na-Amure* [A new ecological emergency was detected in Komsomolsk-on-Amur]. Available at: <http://www.ecoindustry.ru/NEWS/view/36663.html> (accessed 15.02.2023). (In Russ.).
2. Abdikeyev N.M. *Importozameshchenie v vysokotekhnologichnykh otraslyakh promyshlennosti v usloviyakh vneshnikh sanktsii* [The import substitution in high-tech industries in the conditions of external sanctions]. *Upravlencheskie nauki* [Management Sciences], 2022. vol.12(3). pp. 53–69. (In Russ.).
3. *Importozameshchenie v promyshlennosti: novye proekty i ikh finansirovanie* [Import substitution in industry: new projects and their financing]. Available at: <https://www.garant.ru/news/1581704/> (accessed 12.01.2023). (In Russ.).

4. Yarusova S.B., Gordienko P.S., Pashnina E.V. and others *K voprosu o kompleksnoi pererabotke tekhnogennykh mestorozhdenii, raspolozhennykh na territorii monoprofil'nykh munitsipal'nykh obrazovaniy Primorskogo kraia*. [On the issue of complex processing of technogenic deposits located on the territory of single-industry municipalities of Primorsky Krai] *Materialy regional'noi (s mezhdunarodnym uchastiem) nauchno-prakticheskoi konferentsii «Malye goroda kak faktor razvitiya proizvoditel'nykh sil Dal'nego Vostoka»* [Materials of the regional (with international participation) scientific-practical conference «Small towns as a factor in the development of productive forces of the Far East»]. Vladivostok, 2016. pp. 33–41. (In Russ.).
5. *Rezolyutsiya konferentsii. Materialy nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Sotsial'no-ekonomicheskoe razvitie monogorodov: traditsii i innovatsii»* [Proceedings of the Scientific and Practical Conference with International Participation «Social and Economic Development of Monocities: Traditions and Innovations»]. Vladivostok, 2016. pp. 416–420. (In Russ.).
6. Krasikov I.S. *BOR: flagmanu gornoj khimii Primor'ya – 40 let* [BOR: the flagship of Primorsky Krai's mining chemistry – 40 years old]. Khabarovsk: *Izdatel'skii dom «Priamurskie vedomosti»*, 1999. 176 p. (In Russ.).
7. Semlev V.S., Kondrikov N.B., Reutov V.A. *Poluchenie neorganicheskikh materialov (gipsa, vysokodispersnogo dioksida kremni i zhidkogo natrievogo stekla) iz mineral'nykh promyshlennykh otkhodov* [Obtaining inorganic materials (gypsum, highly dispersed silicon dioxide and liquid sodium glass) from mineral industrial waste] *Printsipy i protsessy sozdaniya neorganicheskikh materialov : Mezhd. Simpozium (Tret'i Samsonovskie chteniya)* [Principles and Processes of Inorganic Materials Construction: International Symposium (Third Samsonov Readings)]. Khabarovsk, 2006. pp. 150–152. (In Russ.).
8. Patent 2036178 RF, MPK C04B11/02. *Sposob proizvodstva gipsovogo vyazhushchego* [Method for the production of gypsum binder]. V.M.Dymskii, T.S.Shevyakova. № 4841147/33; zayavl. 29.05.1990; opubl. 27.05.1995. (In Russ.).
9. Grigoryan K.G., Baginova L.G., Airapetyan S.M and others *Vyazhushchii material na osnove borogipsa* [Borogypsum based binder]. *Khimicheskaya tekhnologiya* [Chemical engineering], 2016. no.2. pp. 50–54. (In Russ.).
10. Pateyuk S.A., Khat'kova A.N., Shumilova L.V. *Nauchnoe obosnovanie i razrabotka tekhnologii pererabotki otkhodov proizvodstva bornoi kisloty i kompleksnosti ispol'zovaniya mineral'nogo syr'ya: monografiya* [Scientific basis and development of boric acid production

- waste recycling technology and complex use of mineral raw materials : monograph]. Chita: ZabGU, 2022. 194 p. (In Russ.).
11. Levkovskii I.A., Usanov G.I. *Proizvodstvennyi potentsial pererabotki otkhodov sernokislotnogo proizvodstva* [Production potential of sulfuric acid production waste processing]. *Mezhdunarodnaya studencheskaya elektronnyaya nauchnaya konferentsiya «Studencheskii nauchnyi forum 2014»* [International Student Electronic Scientific Conference "Student Scientific Forum 2014], 2014. p. 58. (In Russ.).
 12. Patent 2324654 RF, MPK C01F 11/46; B03D 1/02. *Sposob pererabotki gipsosoderzhashchego syr'ya* [Method for processing gypsum-containing raw materials]. V.S.Semlev, V.A.Reutov, N.B.Kondrikov. № 2006127319/15; zayavl. 27.07.2006; opubl. 20.05.08, byul. № 14. (In Russ.).
 13. Patent 2617480 RF, MPK C04B11/00. *Sposob izgotovleniya stroitel'nykh materialov* [Method for the manufacture of building materials] E.A.Dmitriev, V.V.Petrov, A.E.Protsenko, D.Kh. Ri. № 2015136342; zayavl. 26.08.2015; opubl. 25.04.2017. (In Russ.).
 14. *Khimicheskie dobavki dlya arbolita: obzor, issledovanie effektivnosti, vyvody* [Chemical additives for arbolite: review, effectiveness study, conclusions]. Available at: <https://stavba.ru/materialy/arbolit/himicheskie-dobavki-arbolita.html#i-6> (accessed 21.01.2023). (In Russ.).
 15. Krasnova V.F., Zotov D.A. *Primenenie khimicheskikh dobavok dlya izgotovleniya arbolita* [Application of chemical additives for the manufacture of arbolite]. *Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika* [Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice], 2018. vol.6, no.4 (40). pp. 38–41. (In Russ.).
 16. Patent 2095326 RF, MPK C04B28/00 (C04B28/00; 18:04; 111:20). *Stroitel'nyi rastvor* [Building mixture]. A.V.Vasilisin, D.D.Sologub. № 95118515/03; zayavl. 27.10.1995; opubl. 10.11.1997. (In Russ.).
 17. A.s. 1512946 A1 SSSR, S 04 B 22/00. *Kompleksnaya dobavka v betonnyuyu smes'* [Complex additive in concrete mix]. M.I.Minkevich, K.K.Kokhanovskii, S.S.Sandybaev and others. № 4171454/29-33; zayavl. 04.01.87; opubl. 30.11.88, byul. № 44. (In Russ.).
 18. A.s. 1446129 A1 SSSR, S 04 V 35/22. *Sposob polucheniya sinteticheskogo wollastonita i dioksida sery* [Method for producing synthetic wollastonite and sulfur dioxide]. V.A.Ershov, L.V.Yumashev, V.L.Kuznetsova and others. № 4249093/31-33; zayavl. 25.05.87; opubl. 23.12.88, byul. № 47. (In Russ.).

19. Kindalyuk E.G., Semlev V.S., Kondrikov N.B. and others. *Vyshchelachivanie shlamov borogipsa* [Leaching of borogypsum slimes]. *Khimiya i khimicheskoe obrazovanie : IV Mezhd. Simpozium* [Chemistry and Chemical Education : IV Int. Symposium]. Vladivostok, 2007. p. 182. (In Russ.).
20. Semlev V.S., Kindalyuk E.G., Frantsuz D.A. and others. *Poluchenie zhidkogo natrievogo stekla* [Obtaining liquid sodium glass]. *Khimiya i khimicheskoe obrazovanie: IV Mezhd. Simpozium* [Chemistry and Chemical Education : IV Int. Symposium]. Vladivostok, 2007. pp. 196–197. (In Russ.).
21. A.s. 1440879 A1 SSSR, S 03 C 1/00, S 03 B 1/00. *Sposob polucheniya steklomassy* [The method of obtaining glass mass]. K.S.Katkova, T.I.Balandina, E.P.Seregina and others. № 4171454/29-33; zayavl. 04.01.87; opubl. 30.11.88, byul. № 44. (In Russ.).
22. Golov V.I., Timofeeva Ya.O. *Ekologicheskie problemy ispol'zovaniya bytovykh i proizvodstvennykh otkhodov v kachestve udobrenii i vozmozhnosti samoochishcheniya pochv ot ksenobiotikov i tyazhelykh metallov* [Environmental problems of using domestic and industrial waste as fertilizers and the possibility of self-purification of soils from xenobiotics and heavy metals]. *Vestnik TGEU* [Bulletin of the Pacific State Economic University], 2005. no.4. pp. 100–105. (In Russ.).
23. Golov V.I., Timofeeva Ya.O. *Bytovye i promyshlennyye otkhody: vozmozhnosti utilizatsii i rezervy samoochishcheniya pochvennogo pokrova* [Domestic and industrial waste: disposal possibilities and reserves of self-purification of soil cover]. *Vestnik DVO RAN* [Vestnik of Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences], 2008. no.1. pp. 91–97. (In Russ.).
24. Patent 2346917 RF, MPK C05F11/02. *Organomineral'noe udobrenie na osnove torfa* [Organomineral fertilizer based on peat]. A.N.Timofeev, N.I.Ignatov, T.A.Aseeva and others. № 2007114216/12; zayavl. 16.04.2007; opubl. 20.02.09. (In Russ.).
25. A.s. 1782971 A1 SSSR, S 05 B 3/00, S 01 B 25/32. *Sposob polucheniya dikal'tsiifosfata* [Method for obtaining dicalcium phosphate]. M.R.Tanasheva, M.S.Kazymbetova. № 4861692/26; zayavl. 21.08.90; opubl. 23.12.92, byul. № 47. (In Russ.).
26. A.s. 1331858 A1 SSSR, S 01 C 1/02. *Sposob polucheniya granulirovannoi ammiachnoi selitry* [The method of obtaining granulated ammonium nitrate]. M.I.Kuz'menkov, S.P.Martynchik, G.V.Sushkevich and others. № 3903222/31-26; zayavl. 31.05.85; opubl. 23.08.87, byul. № 31. (In Russ.).
27. A.s. 1333648 A1 SSSR, S 02 F 1/58. *Sposob ochistki stochnykh vod ot polivinilovogo spirta* [A method of wastewater treatment from polyvinyl alcohol]. G.K.Mailieva, V.G.Kalacheva,

- B.K.Nigmatova and others. № 3975380/31-26; zayavl. 07.08.85; opubl. 30.08.87, byul. № 32. (In Russ.).
28. A.s. 1320172 A1 SSSR, S 04 V 17/50, S 04 F 11/08. *Sposob pererabotki gipssoderzhashchego syr'ya na dioksid sery i izvest'* [Method for processing gypsum-containing raw materials into sulfur dioxide and lime]. V.A.Zhivopistsev, O.V.Nazarova, B.F.Fedyushkin and others. № 4001774/23-26; zayavl. 06.01.86; opubl. 30.06.87, byul. № 24. (In Russ.).
29. A.s. 1763361 A1 SSSR, S 01 B 25/01. *Sposob okuskovaniya fosfatnogo syr'ya* [The method of agglomeration of phosphate raw materials]. K.T.Zhantasov, L.M.Volozhin, E.B.Grant and others. № 4819516/26; zayavl. 25.04.90; opubl. 23.09.92, byul. № 35. (In Russ.).
30. Gordienko P.S., Yarusova S.B., Kolzunov V.A. and others. *Poluchenie silikatov kal'tsiya iz otkhodov pererabotki borsoderzhashchego mineral'nogo syr'ya* [Production of calcium silicates from boron-containing mineral processing waste]. *Khimicheskaya tekhnologiya* [Chemical engineering], 2011. vol.12. no.3. pp. 142–147. (In Russ.).
31. Yarusova S.B., Gordienko P.S. *Kompleksnaya pererabotka otkhodov proizvodstva bornoi kisloty s polucheniem funktsional'nykh materialov s zadannymi svoistvami* [Complex processing of boric acid production wastes with obtaining functional materials with desired properties]. *Vserossiiskaya nauchno-prakticheskaya ochno-zaochnaya konferentsiya «Sotsial'no-ekonomicheskoe razvitie monogorodov: traditsii i innovatsii»* [Russian Scientific and Practical Part-time Conference «Social and Economic Development of Monocities: Traditions and Innovations»]. Vladivostok, 2013. pp. 270–281. (In Russ.).
32. Patent 2601608 RF, MPK C01B 33/24. *Sposob kompleksnoi pererabotki borogipsa* [The method of complex processing of borogypsum]. P.S.Gordienko, S.B.Yarusova, A.V.Kozin and others. № 2015141651/05; zayavl. 30.09.2015; opubl. 10.11.16, byul. № 31. (In Russ.).
33. Yarusova S.B., Gordienko P.S. *Kompleksnaya pererabotka gipsovykh promyshlennykh otkhodov s polucheniem funktsional'nykh materialov* [Complex processing of gypsum industrial wastes with the production of functional materials]. *Sovremennye problemy kompleksnoi i glubokoi pererabotki mineral'nogo syr'ya prirodnogo i tekhnogenogo proiskhozhdeniya (Plaksinskie chteniya – 2022): materialy mezhdunarodnoi konferentsii* [Modern Problems of Complex and Deep Processing of Mineral Raw Materials of Natural and Technogenic Origin (Plaksin Readings – 2022): Proceedings of the International Conference]. Vladivostok, 2022. pp. 412–415. (In Russ.).
34. Yarusova S.B., Gordienko P.S. *Kompleksnaya pererabotka otkhodov proizvodstva bornoi kisloty* [Complex processing of boric acid production wastes]. *Materialy Mezhdunarodnogo*

- soveshchaniya «Progressivnye metody obogashcheniya i kompleksnaya pererabotka prirodnogo i tekhnogennogo mineral'nogo syr'ya» (Plaksinskie chteniya – 2014)* [Proceedings of the International Workshop «Progressive Methods of Enrichment and Integrated Processing of Natural and Technogenic Minerals» (Plaksin Readings - 2014)]. Karaganda, 2014. pp. 381–384. (In Russ.).
35. *Funktsional'nye keramicheskie i kompozitnye materialy prakticheskogo naznacheniya: sintez, svoystva, primeneniye: monografiya* [Functional Ceramic and Composite Materials of Practical Use: Synthesis, Properties, Application: Monograph]. pod nauch. red. akad. RAN V.I.Sergienko. Vladivostok: Izd. VVGU, 2022. 246 p. (In Russ.).
36. Gordienko P.S., Bagramyan V.V., Yarusova S.B. and others. *Vliyanie mikrovolnovoi obrabotki na kinetiku formirovaniya i morfologiyu gidrosilikatov kal'tsiya* [Effect of microwave treatment on the formation kinetics and morphology of calcium hydrosilicates]. *Zhurnal prikladnoi khimii* [Journal of Applied Chemistry], 2012. vol. 85. no.10. pp. 1582–1586. (In Russ.).
37. Gordienko P.S., Yarusova S.B., Suponina A.P. and others. *Vliyanie ul'trazvukovoi obrabotki na kinetiku formirovaniya gidrosilikata kal'tsiya iz borsoderzhashchikh tekhnogennykh otkhodov* [Effect of ultrasonic treatment on the kinetics of calcium hydrosilicate formation from boron-containing technogenic wastes]. *Khimicheskaya tekhnologiya* [Chemical engineering], 2014. vol.15. no.10. pp. 577–581. (In Russ.).
38. Yarusova S.B., Gordienko P.S., Sharma Y.C. and others. Industrial waste as raw material for producing synthetic wollastonite in Russia. *International Journal of Environmental Science and Development*, 2017. Vol.8. № 1. pp. 1–5. (In Russ.).
39. Yarusova S.B., Gordienko P.S., Buravlev I.Yu. and others. Chapter 18 - The use of ultrasonic treatment in technological processes of complex processing of industrial waste: Energetic insights. *Energy Aspects of Acoustic Cavitation and Sonochemistry*. Editor(s): Oualid Hamdaoui, Kaouther Kerboua, Elsevier, 2022. pp. 299-313. (In Russ.).
40. Gordienko P.S., Yarusova S.B., Krysenko G.F. and others. Boron-containing wastes from mineral processing as a sorbent for Sr²⁺ ion removal from aqueous solutions. *Pacific science review*, 2012. Vol.14. № 3. pp. 269–274. (In Russ.).
41. Gordienko P.S., Yarusova S.B., Demidov M.I. and others. Strength of Hydrated Cement Based on Borogypsum. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 2020. 753. 022002.
42. Gordienko P.S., Krysenko G.F., Yarusova S.B. and others. *Poluchenie «beloi sazhi» iz otkhodov bornogo proizvodstva*. [Obtaining «white soot» from waste boron production] *Fundamental'nye issledovaniya i prikladnye razrabotki protsessov pererabotki i utilizatsii*

- tekhnogennykh obrazovaniy: trudy V Kongressa s mezhdunarodnym uchastiem i Konferentsii molodykh uchenykh «TEKhNOGEN-2021»* [Fundamental research and applied development of processes of recycling and utilization of technogenic formations: Proceedings of V Congress with international participation and Conference of young scientists TECHNOGEN-2021]. Ekaterinburg, 2021. pp. 183–186. (In Russ.).
43. Patent 2550188 RF, MPK B01J 20/10; B01J 20/04; B01J 20/30. *Sposob polucheniya silikatnogo sorbenta* [Method for obtaining silicate sorbent]. S.B.Yarusova, P.S.Gordienko, O.V.Grivanova. № 2013159093/05; zayavl. 30.12.2013 ; opubl. 10.05.15, byul. № 13. (In Russ.).
44. Yarusova S.B., Gordienko P.S., Yudakov A.A. and others. *Kinetika sorbtzii ionov tyazhelykh metallov sorbentom, poluchennym iz otkhodov proizvodstva bornoi kisloty* [Kinetics of heavy metal ion sorption by a sorbent derived from boric acid production waste]. *Khimicheskaya tekhnologiya* [Chemical engineering], 2015. vol.16. no.10. pp. 620–624. (In Russ.).
45. *Ekologicheskie issledovaniya na Dal'nem Vostoke Rossii: istoriya i sovremennost': monografiya* [Environmental Studies in the Russian Far East: History and Modernity: Monograph]. pod red. V.Yu.Tsygankova, S.B.Yarusovoi; *Vladivostokskii gosudarstvennyi universitet*. Vladivostok: Izd-vo VVGU, 2022. 380 p. (In Russ.).
46. Yarusova S.B., Panasenko A.E., Kharchenko U.V. and others. *Sintez sorbenta na osnove tekhnogennykh otkhodov i vozmozhnosti ego ispol'zovaniya dlya ochistki vodnykh sred ot razlichnykh pollyutantov*. [Synthesis of a sorbent based on technogenic wastes and the possibility of its use for purification of aqueous media from various pollutants] *Materialy Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem molodykh uchenykh i spetsialistov «Innovatsionnye tekhnologii zashchity okruzhayushchei sredy v sovremennom mire»* [Materials of the All-Russian Scientific Conference with International Participation of Young Scientists and Specialists «Innovative Technologies of Environmental Protection in the Modern World»]. Kazan', 2021. pp. 542–545. (In Russ.).
47. Yarusova S.B., Gordienko P.S., Kozin A.V. and others. Influence of synthetic calcium silicates on the strength properties of fine-grained concrete. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 2018. vol. 347.
48. Kharchenko U., Zemnukhova L., Yarusova S. and others. Use of silicate by-products in water treatment processes and development of eco-friendly self-polishing antifouling coatings. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 2022. vol.19. Is.7. pp. 5945–5956.

49. Shichalin O.O., Yarusova S.B., Papynov E.K. and others. *Keramicheskie matritsy na osnove wollastonita, poluchennye metodom iskrovogo plazmennogo spekaniya dlya immobilizatsii kobal'ta-60*. [Wollastonite-Based Ceramic Matrices Produced by Spark Plasma Sintering for Cobalt-60 Immobilization]. *Fiziko-khimicheskie problemy adsorbtsii, struktury i khimii poverkhnosti nanoporistykh materialov: vserossiiskaya konferentsiya s mezhdunarodnym uchastiem (k 120-letiyu so dnya rozhdeniya M.M. Dubinina)* [Physico-chemical problems of adsorption, structure and surface chemistry of nanoporous materials: All-Russian Conference with international participation (to the 120th anniversary of M.M. Dubinin)], Moscow, 2021. pp. 195–198. (In Russ.).
50. Patent 2595682 RF, MPK C01B 33/24; C30B 7/10; C30B 29/34; C30B 29/62; B82B 3/00; B82Y 40/00. *Sposob polucheniya wollastonita* [Method for obtaining wollastonite]. P.S.Gordienko, S.B.Yarusova, A.V.Kozin and others. № 2015141614/05; zayavl. 30.09.2015; opubl. 27.08.16, byul. № 24. (In Russ.).
51. Gordienko P.S., Kozin A.V., Yarusova S.B. and others. *Kompleksnaya pererabotka otkhodov proizvodstva bornoj kisloty s polucheniem materialov dlya stroiindustrii* [Complex processing of boric acid production wastes with obtaining materials for the building industry]. *Arkhitektura i stroitel'stvo Dal'nego Vostoka: Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal). Otdel'nye stat'i (spetsial'nyi vypusk)* [Architecture and Construction of the Far East: Mining Information and Analytical Bulletin (scientific and technical journal). Selected articles (special issue)], 2014. no.12. pp. 60–66. (In Russ.).
52. Gordienko P.S., Yarusova S.B., Kozin A.V. and others. *Material na osnove sinteticheskogo wollastonita i ego vliyanie na funktsional'nye svoistva melkozernistogo betona* [Material based on synthetic wollastonite and its effect on the functional properties of fine-grained concrete]. *Perspektivnye materialy* [Perspective Materials], 2017. no. 9. pp. 40–48. (In Russ.).
53. Danilova S.N., Yarusova S.B., Buravlev I.Yu. and others. *Modifitsirovanie SVMPE wollastonitom, sintezirovannym iz otkhodov bornogo proizvodstva* [Modification of UHMWPE with wollastonite synthesized from boron production waste]. *Polimernye materialy i tekhnologii* [Polymer materials and technologies], 2021. vol.7. no.1, pp. 71–82. (In Russ.).
54. Yarusova S.B., Gordienko P.S., Kozin A.V. and others. *Mnogotonnazhnye otkhody na osnove gipsa syr'e dlya polucheniya wollastonita* [Large-tonnage gypsum-based waste raw materials for wollastonite production] *Tekhnologii pererabotki otkhodov s polucheniem novoi produktsii: materialy III Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* [Technologies of waste recycling with obtaining new products: Proceedings of the III All-Russian

Scientific and Practical Conference with International Participation]. Kirov, 2021, pp. 88–91. (In Russ.).

55. Danilova S.N., Kharchenko U.V., Yarusova S.B. and others. *Ispol'zovanie sinteticheskogo wollastonita na osnove tekhnogenogo syr'ya v polimerakh i pokrytiyakh* [Use of synthetic wollastonite based on technogenic raw materials in polymers and coatings] *Keramika i kompozitsionnye materialy: Tezisy dokladov X Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii* [Ceramics and composite materials: Abstracts of the X All-Russian Scientific Conference]. Syktyvkar, 2021. pp. 88–89. (In Russ.).

Received 02.04.2023

About the Authors

Yarusova Sofia Borisovna

Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Senior Researcher. Federal State Budgetary Institution of Science Institute of Chemistry, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, 159 100th Anniversary of Vladivostok Avenue, Vladivostok, 690022, Russia.

E-mail: yarusova_10@mail.ru

Gordienko Pavel Sergeevich

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Laboratory. Federal State Budgetary Institution of Science Institute of Chemistry, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, 159 100th Anniversary of Vladivostok Avenue, Vladivostok, 690022, Russia.

E-mail: pavel.gordienko@mail.ru

Danilova Sakhayana Nikolaevna

junior researcher; laboratory «Polymer composites for the North». Institute of Natural Sciences, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «North-Eastern Federal University named after M.K.Ammosov», st. Belinsky, 58, Republic of Sakha (Yakutia), Yakutsk, 677000, Russia.

E-mail: dbsksnsdjyj@mail.ru

Dostovalov Demyan Viktorovich

Ph.D., researcher. Federal State Budgetary Institution of Science Institute of Chemistry, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, 159 100-th Anniversary of Vladivostok Avenue, Vladivostok, 690022, Russia.

E-mail: demyan.dostovalov@mail.ru

Zhevtun Ivan Gennadievich

Ph.D., researcher. Federal State Budgetary Institution of Science Institute of Chemistry, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, 159 100-th Anniversary of Vladivostok Avenue, Vladivostok, 690022, Russia.

E-mail: jevtun_ivan@mail.ru

Buravlev Igor Yurievich

Ph.D., Associate Professor. Polytechnical Institute. Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Far Eastern Federal University», Ajaks, 10, o. Russian, Vladivostok, 690922, Russia.

E-mail: buravlev.i@gmail.com

Okhlopkova Aitalina Alekseevna

Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher educational-scientific-technological laboratory «Technologies of polymer nanocomposites» named after S.A. Sleptsova. Institute of Natural Sciences. Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «North-Eastern Federal University named after M.K.Ammosov», st. Belinsky, 58, Republic of Sakha (Yakutia), Yakutsk, 677000, Russia.

E-mail: okhlopkova@yandex.ru

Krysenko Galina Filippovna

Candidate of Chemical Sciences, Researcher Federal State Budgetary Institution of Science Institute of Chemistry, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, 159 100-th Anniversary of Vladivostok Avenue, Vladivostok, 690022, Russia.

E-mail: gfkrysenko@gmail.com