Модифицированные сорбенты на основе диатомитов

Нгуен Вьет Кыонг¹, П.С. Короткова², Э.Н. Ханмамедова², Л.С. Григорьева²

¹ Ханойский архитектурный институт; Инг Нгуен Трай, район Тхань Сюань, г. Ха Нинь, Вьетнам;

² Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26

АННОТАЦИЯ

Введение: качество воздушной среды в помещениях во многом зависит от присутствия в ней химических токсичных веществ. К основным источникам загрязнения можно отнести большую группу отделочных полимерсодержащих строительных материалов, мебель на основе MDF, HDF. В числе путей решения проблемы, связанной с обеспечением выполнения требований нормативов к качеству воздушной среды в помещениях, — разработка и применение новых эффективных строительных материалов с использованием заполнителей, обладающих высокой сорбционной способностью. Приведены результаты исследования влияния низкотемпературной неравновесной плазмы на сорбционные характеристики заполнителей на основе диатомита.

Материалы и методы: в качестве исследуемых материалов были выбраны диатомиты Ирбитского месторождения, кварцевый песок. Исследование влияния низкотемпературной плазмы на изменение характеристик модифицированных диатомитов выполнялось методом комбинационного рассеяния (КР) на Раман-спектрометре Senterra. Изменение сорбционных характеристик диатомитов определялось весовым методом.

Результаты: получены плазмомодифицированные опытные образцы сорбента на основе диатомита с более высокими сорбционными характеристиками по сравнению с исходными. Анализ результатов, полученных методом КР, подтвердил структурное изменение на поверхности плазмомодифицированных образцов с образованием дополнительных активных центров и радикалов.

Выводы: модифицированные сорбенты способны обеспечивать более эффективное поглощение токсичных веществ по сравнению с контрольными образцами и после проведения дополнительных технологических исследований могут быть рекомендованы к внедрению в производство строительных материалов, обладающих дополнительными свойствами для обеспечения нормативных требований к качеству воздушной среды в помещениях.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: сорбент, сорбат, низкотемпературная неравновесная плазма, диатомит, модификация, токсичность, химическая сорбция

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Нгуен Вьет Кыонг, Короткова П.С., Ханмамедова Э.Н., Григорьева Л.С. Модифицированные сорбенты на основе диатомитов // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. Вып. 7. С. 862–869. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.7.862-869

Modified sorbents based on diatomites

Nguyen Viet Cong¹, Polina S. Korotkova², Elnara N. Khanmamedova²,
Larisa S. Grigoryeva²

¹ Khanoi Architectural University; Đường Nguyễn Trãi, Thanh Xuan District, Hanoi City, Vietnam;

² Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU);
26 Yaroslavl'skoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction: the quality of the air environment in the premises depends mainly on the presence of toxic chemical substances in it. An urgent task is the development and application of new efficient building materials using aggregates with high sorption capacity. The paper presents the results of a study of the influence of a low-temperature nonequilibrium plasma on the sorption characteristics of diatomite-based aggregates.

Materials and methods: the diatomites of the Irbit deposit, quartz sand were chosen as the materials under study. The study of the effect of low-temperature plasma on the change in the characteristics of modified diatomites was performed using the Raman spectrometer Senterra. The change in the sorption characteristics of diatomites was determined by the gravimetric method.

Results: plasma-modified prototypes of a diatomite-based sorbent, with higher sorption characteristics than the initial ones, were obtained. Analysis of the results obtained by the method of Raman scattering confirmed the structural change on the surface of plasma-modified samples with the formation of additional active centers and radicals.

Conclusions: modified sorbents are able to provide more efficient absorption of toxic substances in comparison with the control samples. After additional technological research, they can be recommended for introduction into the production of

building materials with additional properties to ensure the regulatory requirements for the quality of the air environment in the premises.

KEYWORDS: sorbent, sorbate, low-temperature nonequilibrium plasma, diatomite, modification, toxicity, chemical sorption

FOR CITATION: Nguyen Viet Cong, Korotkova P.S., Khanmamedova E.N., Grigoryeva L.S. Modified sorbents based on diatomites. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2019; 14:7:862-869. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.7.862-869 (rus.).

ВВЕДЕНИЕ

Для обеспечения поступательного развития строительной отрасли требуется внедрение перспективных технологий, включающих разработку новых эффективных или модифицированных традиционных строительных материалов с расширенной областью применения. Влияние окружающей среды, ее экологичность, в том числе и время, которое человек проводит в помещении, в значительной степени оказывают существенное влияние на состояние его здоровья. Экологичность во многом зависит от качества воздушной среды. Негативное влияние, прежде всего, оказывают содержащиеся в ней канцерогенные и токсичные летучие вещества.

К основным источникам загрязнения воздушной среды следует отнести: продукты сгорания бытового газа; строительные материалы, выделяющие в процессе производства и эксплуатации различные токсичные химические вещества, доля которых составляет до восьмидесяти процентов от общего количества, обнаруженных в воздушной среде помещений [1].

К перспективным направлениям создания новых видов строительных материалов следует отнести необходимость придания им дополнительной функциональности, в частности придание способности поглощения токсинов путем введения наполнителей, обладающих сорбционной способностью — сорбентов. Промышленность строительных материалов относится к наиболее материалоемким производствам. В связи с этим для обеспечения ее нужд необходимы сырьевые источники, имеющие большой объем запасов природных ресурсов. К таким источникам природных сорбентов можно отнести и опал-кристобалитовые породы.

Запасы диатомита в России, отметил в выступлении В.А. Мельниченко на V Российском конгрессе переработчиков пластмасс, составляют около 350 млн т — 30 % от общемировых. Однако по производству диатомита на долю РФ и стран СНГ приходится всего 4 %, поэтому свои потребности Россия удовлетворяет в основном за счет импорта [2]. Значительные запасы диатомитов в России

известны в Ульяновской, Ростовской, Свердловской областях, Краснодарском крае. К крупным месторождениям относятся Камышловское, Ирбитское месторождения, находящиеся в Свердловской области.

Опал-кристобалитовые породы представляют диатомиты, опоки, трепелы, обсидианы, перлиты, пехштейны, спонголиты, радиоляриты. Диатомиты очень ценны тем, что в них содержание аморфного диоксида кремния составляет до 70 % [3].

В геологическом словаре¹ диатомит характеризуется как рыхлая землистая или слабосцементированная, пористая и легкая осадочная горная порода, которую слагают преимущественно кремнеземистые обломки панцирей (скелетов) диатомовых водорослей — диатомей и радиолярий, до 50 %. Основной компонент по составу — кристаллогидраты диоксида кремния — опалы вида $m\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Авторы в работе [4] отметили, что диатомит представлен рентгеноаморфным опалом и α -модификацией кварца.

Опал-кристобалитовые породы используются в качестве сырья в промышленности, в том числе и в строительной области [5].

Ключевые свойства, которые определяют разнообразное применение, это невысокая плотность, большая пористость.

В статье [6] показано, что введение диатомита в качестве наполнителя в композицию позволяет уменьшать среднюю плотность материала, не снижая его прочностные показатели. Исследователи [7] уточнили, что введение диатомита от 3 до 10 % при производстве облегченных силикатных изделий позволяет получать материал с улучшенными теплофизическими свойствами. Другие направления применения диатомита в строительной области — это возможность его введения при создании цементных вяжущих [8], получение силикатов кальция и материалов на их основе из природного и техногенного сырья [9]. Интересные работы ведутся по созданию

¹ Геологический словарь. URL: <http://www.cnsnb.ru/AKDil/0042/base/RD/000421.shtm> (дата обращения: 12.07.2019).

полимерно-матричных композитов, в которых диатомит применяется в качестве наполнителя [10].

Значительная часть диатомитового сырья используется для производства сорбентов и фильтров [11]. Как показали авторы [12–15] адсорбирующая способность по отношению к углеводородам нефти увеличивается у отработанного кизельгура по сравнению с природным. При создании композиционных адсорбентов на основе нанокристаллов с пористой матрицей, введение MnO_2 приводит к увеличению адсорбционной емкости по отношению к Pb^{2+} более, чем в шесть раз [16].

На свойства диатомитов, как сорбирующего материала, существенное влияние оказывает подготовка и обработка природного сырья.

Проведенные исследования по химической модификации [17], термообработке [18], электрохимическому воздействию [19] и электростатическому обогащению [20] сорбентов позволяют повысить их сорбционные свойства: скорость и емкость.

Актуальным направлением модификации строительных материалов является использование плазменных технологий [21–23].

Данная работа — продолжение ранее начатых исследований по модификации сорбентов на основе природных цеолитов и бентонитов [24, 25].

Цель работы — изучение влияния низкотемпературной плазмы на сорбционную способность диатомитов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве исходных образцов выбраны диатомиты Ирбитского месторождения Свердловской области. Химический состав представлен в табл. 1 [3].

В качестве сорбатов использовался фенол (C_6H_5OH) ГОСТ 23519-93 «Фенол синтетический технический».

Повышение сорбционных свойств минеральных сорбентов на основе диатомитов может достигаться модификацией поверхностных и приповерхностных слоев. Модификация диатомита осуществлялась в низкотемпературной плазме в межэлектродном объеме плазмотрона, на электроды которого подавался переменный электрический ток с частотой 40 КГц и напряжением 8000 В.

Исследование влияния низкотемпературной плазмы на изменение характеристик модифицированных диатомитов выполнялось методом комбинационного рассеяния (КР) на Раман-спектрометре Senterra.

Изменение сорбционных характеристик диатомитов определялось весовым методом.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В результате воздействия низкотемпературной плазмы изменяются сорбционные характеристики диатомитов.

Для определения влияния воздействия низкотемпературной плазмы на сорбционные свойства диатомитов были проведены исследования по изменению активности их поверхности. Природные диатомиты обладают преимущественно пористой структурой, сложным химико-минералогическим составом при высоком содержании оксида кремния SiO_2 (более 70 %). Химический состав исследуемого диатомита Ирбитского происхождения в основном представлен оксидом кремния (72–79,5 %) как в кристаллическом, так и в аморфном состоянии.

Табл. 1. Химический состав диатомитов Ирбитского месторождения

Table 1. The chemical composition of diatomites Irbit field

Соединение / Compound	Содержание, масс. % / Mass content, %
Диоксид кремния / Silicon dioxide — SiO_2	72,0–79,5
Оксид алюминия + оксид титана (IV) / Aluminum oxide + Titanium oxide (IV) — $Al_2O_3 + TiO_2$	6,8–10,45
Оксид железа (III) + оксид железа(II) / Iron (III) oxide + Iron (II) oxide — $Fe_2O_3 + FeO$	2,87–5,94
Оксид кальция / Calcium oxide — CaO	0,2–0,9
Оксид магния / Magnesium oxide — MgO	1–1,3
Оксид натрия / Sodium oxide — Na_2O	0,4
Оксид калия / Potassium oxide — K_2O	1,1
Оксид серы (VI) / Sulfur Oxide (VI) — SO_3	0,25
Потери при прокаливании / Loss on ignition	6,5

Табл. 2. Изменение сорбционных свойств плазмомодифицированного диатомита**Table 2.** Changes in the sorption properties of plasma-modified diatomite

Сорбат / Sorbate	Время (в часах) / Time (in hours)							Образец диатомита / Diatomite sample
	0	1	7	24	48	72	120	
Фенол, масс. % к диатомиту / Phenol, mass. % diatomite	0	0,05	1	4	6	6,3	7	Не обработанный / natural
	0	1	3	10	12	14	15	Обработанный / processed

Для оценки воздействия низкотемпературной плазмы на кристаллическую фазу SiO_2 в качестве исследуемого объекта выбран кварцевый песок. Результаты анализа полученных данных по изменению характера поверхности плазмомодифицированного кварцевого песка методом КР на Раман-спектрометре Senterra позволяют сделать вывод о переходе из кристаллической в более активную аморфную структуру (рис. 1). Это подтверждается отсутствием пика ($465,07 \text{ см}^{-1}$) на кривой 2.

Для изучения модифицирующего воздействия низкотемпературной плазмы на диатомиты были выполнены экспериментальные исследования по определению изменения их свойств, в результате воздействия низкотемпературной неравновесной плазмы. В процессе проведения экспериментов для сравнительного анализа полученных результатов были задействованы контрольные составы, включающие

диатомиты аналогичного дисперсного состава, не подвергавшиеся плазмохимической обработке.

Исследование поверхностных слоев диатомитов выполнено методом спектроскопии КР. Исследования проводились на Раман-спектрометре Senterra, высокая чувствительность и разрешающая способность которого сравнима с разрешающей способностью комбинационных Фурье-спектрометров. Длина волны возбуждения составляла 532 нм , мощность возбуждения 10 мВт , апертура 50 мкм , время накопления 60 с , разрешающая способность 3 см^{-1} . В табл. 3 приведены результаты изменения отклика приемного преобразователя (ПП) спектрометра для исходного и плазмомодифицированного диатомита.

В предварительных исследованиях регулирование управляющих уровней переменных: апертуры, длины волны и поляризации источника воз-

Рис. 1. Модификация поверхности кварцевого песка: 1 — контрольный образец; 2 — плазмомодифицированный**Fig. 1.** Surface modification of quartz sand: 1 — control sample; 2 — plasma-modified

Табл. 3. Сравнительная характеристика активных фаз образцов

Table 3. Comparative characteristics of the active phases of the samples

№	Длина волны / Wavenumber	Отклик ПП спектрометра КР / Receive Transmitter Response spectrometer KR	
	λ , см ⁻¹ / λ , cm ⁻¹	Необработанный / Natural	Обработанный / Processed
1	200	105	120
2	400	160	170
3	600	200	280
4	800	250	370
5	1000	340	520
6	1200	470	750
7	1400	630	1150
8	1600	1000	1750

буждения, не привело к качественному изменению отклика. Однако результаты изменения отклика ПП спектрометра КР от длины волны показывают увеличение отклика ПП у плазмохимического модифицированного образца по сравнению с контрольным образцом. Это может свидетельствовать о повышении реакционной способности поверхности плазмомодифицированных диатомитов, что возможно связано с появлением дополнительных функциональных групп и пролонгированным временем возврата из метастабильного состояния. Это предположение согласуется с повышением их сорбционной способности (см. табл. 2).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Модификация природных диатомитов в низкотемпературной плазме приводит к увеличению сорбционной способности, скорость сорбции увеличивается до трех раз, а общая сорбционная емкость плазмомодифицированных цеолитов повышается более чем в два раза. Воздействие низкотемпературной плазмы сопровождается возникновением тепловых эффектов на поверхности диатомитов, обуславливающих структурные изменения, что приводит к повышению сорбционных свойств модифицированных диатомитов Ирбитского месторождения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жилье. Комплексный взгляд / под общ. ред. В.М. Агапкина. М. : АВЧ, 2001. 975 с.
2. Мельниченко В.А. Аморфный диоксид кремния как сырье для производства модифицирующих добавок // V Российский конгресс переработчиков пластмасс. 2011.
3. Мешков А.В., Никифоров Е.А., Сенник Н.А., Субботин Р.К., Маневич В.Е. Диатомит — кремнеземсодержащий материал для стекольной промышленности // Стекло и керамика. 2012. № 5. С. 34–39.
4. Смирнов П.В. Результаты комплексных исследований вещественного состава диатомитов Ирбитского месторождения // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2016. Т. 327. № 6. С. 93–104. URL: http://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/30944/1/bulletin_tpu-2016-v327-i6-10.pdf
5. Москалец П.В., Овчаренко Э.А., Жанабергенова Д.Р., Тюмина Т.П. Использование диатомитов Пензенской области в строительной отрасли // Об-

- разование и наука в современном мире. Инновации. 2016. № 3. С. 56–65.
6. Pimraksa K., Chindaprasirt P. Lightweight bricks made of diatomaceous earth, lime and gypsum // Ceramics International. 2009. Vol. 35. Issue 1. Pp. 471–478. DOI: 10.1016/j.ceramint.2008.01.013
7. Galán-Arboledas R.J., Cotes-Palomino M.T., Bueno S., Martínez-García C. Evaluation of spent diatomite incorporation in clay based materials for lightweight bricks processing // Construction and Building Materials. 2017. Vol. 144. Pp. 327–337. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.03.202
8. Staněk T., Nečas R., Boháč M., Zezulová A., Rybová A. Properties of mixtures of cement with various raw materials // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 379. P. 012010. DOI: 10.1088/1757-899X/379/1/012010
9. Гладун В.Д., Акатьева Л.В., Белова В.В., Вошкин А.А., Холькин А.И. Получение силикатов кальция и материалов на их основе из природного и

техногенного сырья // Scientific Articles. Technomat. Infotel – medbiopharm. 2006. С. 414–423.

10. Cacciotti I., Rinaldi M., Fabbri J., Nanni N. Innovative polyetherimide and diatomite based composites: influence of the diatomite kind and treatment // Journal of Materials Research and Technology. 2019. Vol. 8. Issue 2. Pp. 1737–1745. DOI: 10.1016/j.jmrt.2018.12.004

11. Anil U.E., Al E., Kayaci K., Kara F. Fabricating of diatomite based ceramic water filter by a novel casting method // Advances in Science and Technology. 2014. Vol. 91. Pp. 48–53. DOI: 10.4028/www.scientific.net/ast.91.48

12. Ващенко В.В., Руденко Е.Ю., Бахарев В.В., Муковнина Г.С., Ермаков В.В. Изучение возможности очистки сточных вод от нефти отработанным кизельгуром // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2017. Т. 19. № 5. С. 36–39. URL: http://www.ssc.smr.ru/media/journals/izvestia/2017/2017_5_36_39.pdf

13. Бурлака С.Д., Бруйка М.Р. Использование природных и искусственных сорбентов для очистки нефтесодержащих сточных вод // Научные труды КубГТУ. 2017. № 7. С. 71–77.

14. Руденко Е.Ю., Макеева Е.Н., Ващенко В.В., Бахарев В.В., Муковнина Г.С., Ермаков В.В. Влияние способов модификации на свойства отработанного кизельгура, используемого для удаления нефти из сточных вод // Экология и промышленность России. 2019. Т. 23. № 1. С. 20–25. DOI: 10.18412/1816-0395-2019-1-20-25

15. Skubiszewska-Zięba J., Charnas B., Lebeda R., Gun'ko V.M. Carbon-mineral adsorbents with a diatomaceous earth/perlite matrix modified by carbon deposits // Microporous and Mesoporous Materials. 2012. Vol. 156. Pp. 209–216. DOI: 10.1016/j.micromeso.2012.02.038

16. Li S., Li D., Su F., Ren Y., Qin G. Uniform surface modification of diatomaceous earth with amorphous manganese oxide and its adsorption characteristics for lead ions // Applied Surface Science. 2014. Vol. 317. Pp. 724–729. DOI: 10.1016/j.apsusc.2014.08.184

17. Benkacem T., Hamdi B., Chamayou A., Balard H., Calvet R. Physicochemical characterization

of a diatomaceous upon an acid treatment: a focus on surface properties by inverse gas chromatography // Powder Technology. 2016. Vol. 294. Pp. 498–507. DOI: 10.1016/j.powtec.2016.03.006

18. Aguedal H., Hentit H., Merouani D.R., Id-dou A., Shishkin A., Jumas J.C. Improvement of the sorption characteristics of diatomite by heat treatment // Key Engineering Materials. 2016. Vol. 721. Pp. 111–116. DOI: 10.4028/www.scientific.net/kem.721.111

19. Voytyuk A.A., Moskvicheva E.V., Shchitov D.V., Katerinin K.V., Sidiyakin P.A., Lykova E.Yu. Composite-sorbent based on natural mineral and waste of biological treatment of wastewater (effluent) // Key Engineering Materials. 2017. Vol. 736. Pp. 183–186. DOI: 10.4028/www.scientific.net/kem.736.183

20. Moradi S., Moseley D., Hrach F., Gupta A. Electrostatic beneficiation of diatomaceous earth // International Journal of Mineral Processing. 2017. Vol. 169. Pp. 142–161. DOI: 10.1016/j.minpro.2017.11.008

21. Volokitin G.G., Vlasov V.A., Skripnikova N., Volokitin O., Shekhovtsov V. Plasma technologies in construction industry // Key Engineering Materials. 2018. Vol. 781. Pp. 143–148. DOI: 10.4028/www.scientific.net/kem.781.143

22. Volokitin O.G., Shekhovtsov V.V., Maslov E.A. Plasma technology of silicate melts obtaining in mineral fibers production // Advanced Materials Research. 2014. Vol. 880. Pp. 233–236. DOI: 10.4028/www.scientific.net/amr.880.233

23. Власов В.А., Волокитин Г.Г., Скрипникова Н.К., Волокитин О.Г. Плазменные технологии создания и обработки строительных материалов. Томск, 2018. 513 с.

24. Бруйка М.Г., Григорьева Л.С., Григорьева А.И. Плазмомодифицированные сорбенты на основе цеолитсодержащих горных пород Хотынецкого месторождения // Строительство: наука и образование. 2017. Т. 7. № 4 (25). С. 3. DOI: 10.22227/2305-5502.2017.3.2

25. Bruyako M., Grigoreva L. Effective sorbents based on plasma-modified aluminosilicate minerals // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 365. P. 032027. DOI: 10.1088/1757-899X/365/3/032027

Поступила в редакцию 30 апреля 2019 г.

Принята в доработанном виде 1 июня 2019 г.

Одобрена для публикации 26 июня 2019 г.

ОБ АВТОРАХ: Нгуен Вьет Кыонг — кандидат технических наук, заведующий кафедрой технологии строительных материалов факультета ПГС; Ханойский архитектурный институт; Инг Нгуен Трай, район Тхань Сюань, г. Ха Нинь, Вьетнам; cong.vlxdkt@gmail.com;

Полина Сергеевна Короткова — бакалавр; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; stroitmat@mgsu.ru;

Эльнара Натиг кызы Ханмамедова — бакалавр; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; stroitmat@mgsu.ru;

Лариса Станиславовна Григорьева — кандидат химических наук, доцент кафедры строительных материалов и материаловедения; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; grigoryevals@mgsu.ru.

REFERENCES

1. *Accommodation: a comprehensive view*. Moscow, AVCH Publ., 2001; 976. (rus.).
2. Mel'nichenko V.A. Amorphous silicon dioxide as a raw material for the production of modifying additives. *V Russian Congress of Plastics Processors*. 2011. (rus.).
3. Meshkov A.V., Nikiforov E.A., Senik N.A., Subbotin R.K., Manevich V.E. Diatomite — silica material for glass industry. *Glass and Ceramics*. 2012; 5:34-39. (rus.).
4. Smirnov P.V. The results of comprehensive studies of the material composition of diatomites of the Irbit sky field. *News of Tomsk Polytechnic University. Georesource engineering*. 2016; 327(6):93-104. URL: http://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/30944/1/bulletin_tpu-2016-v327-i6-10.pdf (rus.).
5. Moskalets P.V., Ovcharenko E.A., Zhana-bergenova D.R., Tyumina T.P. The use of diatomites of the Penza region in the construction industry. *Education and science in the modern world. Innovation*. 2016; 3:56-65. (rus.).
6. Pimraksa K., Chindaprasirt P. Lightweight bricks made of diatomaceous earth, lime and gypsum. *Ceramics International*. 2009; 35(1):471-478. DOI: 10.1016/j.ceramint.2008.01.013
7. Galán-Arboledas R.J., Cotes-Palomino M.T., Bueno S., Martínez-García C. Evaluation of spent diatomite incorporation in clay based materials for lightweight bricks processing. *Construction and Building Materials*. 2017; 144:327-337. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.03.202
8. Staněk T., Nečas R., Boháč M., Zezulová A., Rybová A. Properties of mixtures of cement with various raw materials. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018; 379:012010. DOI: 10.1088/1757-899X/379/1/012010
9. Gladun V.D., Akat'yeva L.V., Belova V.V., Voshkin A.A., Khol'kin A.I. Preparation of calcium silicates and materials based on them from natural and man-made materials. *Scientific Articles. Technomat. Infotel medbiopharm*. 2006; 414-423. (rus.).
10. Cacciotti I., Rinaldi M., Fabbri J., Nanni N. Innovative polyetherimide and diatomite based composites: influence of the diatomite kind and treatment. *Journal of Materials Research and Technology*. 2019; 8(2):1737-1745. DOI: 10.1016/j.jmrt.2018.12.004
11. Anil U.E., Al. E., Kayaci K., Kara. F. Fabricating of diatomite based ceramic water filter by a novel casting method. *Advances in Science and Technology*. 2014; 91:48-53. DOI: 10.4028/www.scientific.net/ast.91.48
12. Vashchenko V.V., Rudenko Ye.Yu., Bakharev V.V., Mukovnina G.S., Yermakov V.V. The study of the possibility of wastewater treatment from oil spent kieselguhr. *Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2017; 19(5):36-39. URL: http://www.ssc.smr.ru/media/journals/izvestia/2017/2017_5_36_39.pdf (rus.).
13. Burlaka S.D., Bruyaka M.R. The use of natural and artificial sorbents for the purification of oily wastewater. *Scientific works of KubGTU*. 2017; 7:71-77. (rus.).
14. Rudenko Ye.Yu., Makeyeva Ye.N., Vashchenko V.V., Bakharev V.V., Mukovnina G.S., Yermakov V.V. The influence of methods of modification on the properties of spent kieselgur used to remove oil from wastewater. *Ecology and Industry of Russia*. 2019; 23(1):20-25. DOI: 10.18412/1816-0395-2019-1-20-25 (rus.).
15. Skubiszewska-Zięba J., Charnas B., Lebeda R., Gun'ko V.M. Carbon-mineral adsorbents with a diatomaceous earth/perlite matrix modified by carbon deposits. *Microporous and Mesoporous Materials*. 2012; 156:209-216. DOI: 10.1016/j.micromeso.2012.02.038
16. Li S., Li D., Su F., Ren Y., Qin G. Uniform surface modification of diatomaceous earth with amorphous manganese oxide and its adsorption characteristics for lead ions. *Applied Surface Science*. 2014; 317:724-729. DOI: 10.1016/j.apsusc.2014.08.184
17. Benkacem T., Hamdi B., Chamayou A., Balard H., Calvet R. Physicochemical characterization of a diatomaceous upon an acid treatment: a focus on surface properties by inverse gas chromatography. *Powder Technology*. 2016; 294:498-507. DOI: 10.1016/j.powtec.2016.03.006
18. Aguedal H., Hentit H., Merouani D.R., Id-dou A., Shishkin A., Jumas J.C. Improvement of the Sorption Characteristics of Diatomite by Heat Treatment. *Key Engineering Materials*. 2017; 721:111-116. DOI: 10.4028/www.scientific.net/kem.721.111

19. Voytyuk A.A., Moskvicheva E.V., Shchitov D.V., Katerinin K.V., Sidiyakin P.A., Lykova E.Yu. Composite-sorbent based on natural mineral and waste of biological treatment of wastewater (effluent). *Key Engineering Materials*. 2017; 736:183-186. DOI: 10.4028/www.scientific.net/kem.736.183
20. Moradi S., Moseley D., Hrach F., Gupta A. Electrostatic beneficiation of diatomaceous earth. *International Journal of Mineral Processing*. 2017; 169:142-161. DOI: 10.1016/j.minpro.2017.11.008
21. Volokitin G.G., Vlasov V.A., Skripnikova N., Volokitin O., Shekhovtsov V. Plasma technologies in construction industry. *Key Engineering Materials*. 2018; 781:143-148. DOI: 10.4028/www.scientific.net/kem.781.143
22. Volokitin O.G., Shekhovtsov V.V., Maslov E.A. Plasma Technology of Silicate Melts Obtaining in Mineral Fibers Production. *Advanced Materials Research*. 2014; 880:233-236. DOI: 10.4028/www.scientific.net/amr.880.233
23. Vlasov V.A., Volokitin G.G., Skripnikova N.K., Volokitin O.G. *Plasma technology for the creation and processing of building materials*. Tomsk, 2018; 513. (rus.).
24. Bruyako M.G., Grigor'yeva L.S., Grigor'yeva A.I. Plasmomodified sorbing agents on the basis of zeolite containing earth materials of the Khotynets deposit occurrence. *Construction: Science and Education*. 2017; 7(4)(25):3. DOI: 10.22227/2305-5502.2017.3.2 (rus.).
25. Bruyako M., Grigoreva L. Effective sorbents based on plasma-modified aluminosilicate minerals. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018; 365:032027. DOI: 10.1088/1757-899X/365/3/032027

Received April 30, 2019

Adopted in a modified form June 1, 2019

Approved for publication June 26, 2019

BIONOTES: **Nguyen Viet Cong** — Ph.D. of Technical Sciences, Head of the Department of Building Materials Technology, Faculty of Industrial and Civil Engineering; **Khanh Architectural University**; Đường Nguyễn Trãi, Thanh Xuan District, Hanoi, Vietnam; cong.vlxdkt@gmail.com;

Polina S. Korotkova — bachelor; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; stroitmat@mgsu.ru;

Elnara N. Khanmamedova — bachelor; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; stroitmat@mgsu.ru;

Larisa S. Grigorieva — Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of Department of Building Materials; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; grigoryevals@mgsu.ru.