

DOI: 10.25558/VOSTNII.2024.78.91.012

УДК 621:628.3

© И. Я. Шестаков, А. В. Хилюк, 2024

И. Я. ШЕСТАКОВ

д-р техн. наук, проф.,

доцент

Сибирский государственный университет науки

и технологий имени академика М. Ф. Решетнева,

г. Красноярск

e-mail: yakovlevish@mail.ru

А. В. ХИЛЮК

старший преподаватель

Сибирский государственный университет науки

и технологий имени академика М. Ф. Решетнева,

г. Красноярск

e-mail: h-anna7@bk.ru

МЕТОД УДАЛЕНИЯ ИОНОВ МЕТАЛЛОВ ИЗ ПРОМЫВНОЙ И СТОЧНОЙ ВОДЫ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

Отрасль машиностроения, применяющая гальванические технологии, является одним из источников загрязнения гидросферы ионами металлов. Кумулятивный эффект от попадания в живые организмы ионов металлов вместе с водой и продуктами питания известен и требует повышенного внимания к методам, применяемым для очистки сточных вод. Помимо этого, снижение экономических затрат является приоритетным в современном производстве и может быть достигнуто за счет очистки водопроводной воды, применяемой для промывки деталей и содержащей примеси металлов

В результате проведенных опытов по исследованию эффекта поляризации была получена зависимость очистки воды, в частности её сорбционной составляющей, от поляризованности частиц кварцевого песка, помещенного в электрическое поле. Наряду с этим сокращается время, затрачиваемое на адсорбционную очистку с сохранением оптимальных параметров степени очистки воды.

Ключевые слова: СОВМЕЩЕННЫЙ МЕТОД, ПОЛЯРИЗОВАННОСТЬ, СТЕПЕНЬ ОЧИСТКИ, СОРБЕНТ, АДСОРБЦИЯ.

ВВЕДЕНИЕ

В отрасли машиностроения используются технологии гальванического производства, в результате которых происходит включение в сточные воды ионов тяжелых металлов, вследствие чего предъявляются высокие требования к составу используемой для промывки деталей воды [1].

Детали промываются для предотвращения загрязнения технологических растворов

и обеспечения чистоты поверхности готовых изделий. Таким образом, требования к составу воды, используемой для промывки, определяются предельной концентрацией примесей в технологических растворах, а также свойствами и назначением самих покрытий. Предотвращение попадания в электролиты примесей с их последующим накоплением является рациональнее организации их последующего удаления. В соответствии с ГОСТ

9.314–90 в гальваническом производстве может использоваться вода трёх категорий: вода первой категории — соответствует составу водопроводной воды, а вода третьей категории — дистиллированной. С экономической точки зрения, применение дистиллированной воды для промывки деталей затратно.

При наличии в водопроводной воде загрязняющих веществ, концентрация которых превышает ПДК, потребляемая вода подвергается анализу с последующей очисткой от этого вещества. Одним из наиболее встречающихся загрязнений в водопроводной воде является высокое содержание ионов железа, что негативно сказывается на качестве многих покрытий.

Помимо этого, в использованных промывных водах присутствуют примеси ионов металлов, которые необходимо удалять из сточных вод до уровня ПДК, что не всегда достигается применяемыми методами [2, 3].

На рис. 1 представлен пример двухступенчатой противоточной технологической схемы с установкой водоподготовки и очистки промывных вод.

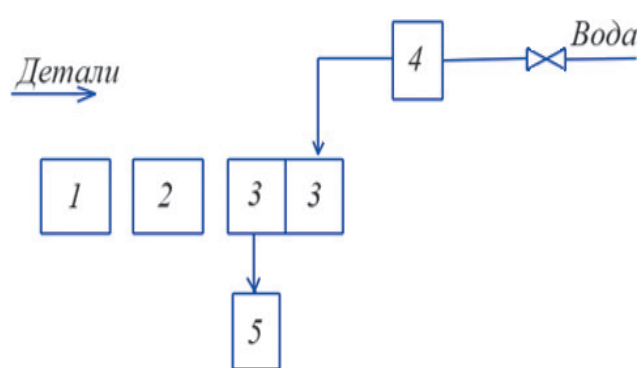


Рис. 1. Двухступенчатая противоточная технологическая схема с одной ванной улавливания; 1, 2, 3 — ванны: химической или электрохимической обработки, улавливания, промывки; 4 — установка водоподготовки водопроводной воды для промывки деталей; 5 — установка доочистки промывных вод от ионов металлов

Для решения задач, связанных с водоподготовкой и очисткой промывных вод, содержащей примеси ионов металлов, предлагается использовать метод совмещенной очистки воды, включающий одновременно

протекающее электрохимическое и адсорбционное воздействие [4]

Материалы и методы исследования. При совмещенном методе очистки воды, включающем одновременно проходящую адсорбцию и электрохимическое воздействие с последующим отстаиванием, наблюдается увеличение степени адсорбционной очистки за счет явления поляризованности [5, 6].

При помещении частиц диэлектрика (кварцевого песка) в электрическое поле происходит поляризованность и в результате создается поверхностная плотность зарядов, способствующая увеличению адсорбционной составляющей процесса очистки.

Поляризованность рассчитывается по формуле:

$$\zeta = k \times \varepsilon_0 \times E \left[\frac{\text{Кл}}{\text{М}^2} \right]$$

где k — диэлектрическая восприимчивость кварцевого песка составляет 2 [7]. ε_0 — элек-

трическая постоянная, $\varepsilon_0 = 0,885 \times 10^{-11} \left[\frac{\Phi}{\text{М}} \right]$
 E — напряженность электрического поля, В/м;

$$E = \frac{U}{\zeta} \left[\frac{\text{В}}{\text{М}} \right]$$

$$\text{В опытах } E = 900 \left[\frac{\text{В}}{\text{М}} \right]$$

Поляризованность в совмещенном методе

$$\text{составила: } 15,93 \times 10^{-9} \left[\frac{\text{Кл}}{\text{М}^2} \right]$$

Удельная поверхность песка $S = 70-100 \frac{\text{см}^2}{\text{г}}$, [8].

Площадь поперечного сечения ёмкости 78,5 см².

Объем засыпаемого песка $V = 157 \text{ см}^3$.

Насыпная плотность кварцевого песка — $1,4 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$.

Масса песка — 219,8 г.

Поверхность песка — $2,2 \times 10^4 \text{ см}^2$.

Половина этой поверхности будет поляризована отрицательно:

$$S_{\text{пол}} = 1,1 \times 10^4 \text{ см}^2.$$

Поверхностный заряд определяется по формуле:

$$Q = \sigma \times S_{\text{пол}}$$

где σ — поверхностная плотность заряда (поляризованность диэлектрика), $\frac{\text{Кл}}{\text{м}^2}$, $\sigma = 15,93 \times 10^{-9} \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2}$, $S_{\text{пол}}$ — площадь поверхности см^2

Поверхностный заряд кварцевого песка равен:

$$Q = 15,93 \times 10^{-9} \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2} \times 0,01 \times 10^4 \text{м}^2 = 0,15 \times 10^{-5} \text{ Кл}$$

При этом степень очистки воды (Y, %) составила 70 %

Увеличение дисперсности кварцевого песка способствует повышению количества заряда на поверхности зерен, следовательно, повышает их адсорбционные свойства. В связи с этим был проведен сравнительный анализ влияния на степень очистки воды различных фракций кварцевого песка при использовании совмещенного метода.

В табл. 1 представлены данные изменения поверхностного заряда в зависимости от применяемой фракции кварцевого песка.

Оптимальным диапазоном выбора размера фракций для достаточной поляризации является размер от 0,15 до 0,6 мм.

На рис. 2 представлены результаты опытов, показывающие изменение степени очистки в зависимости от применяемой фракции кварцевого песка и образующегося поверхностного заряда

При эксплуатации оборудования, содержащего сорбирующий слой, важную роль играет такой показатель, как грязеемкость — масса загрязняющих веществ, которую способен задержать сорбент.

Существенными свойствами зернистого слоя являются: эквивалентный диаметр прохода, порозность и насыпная плотность. Порозность (ϵ) — величина безразмерная, часть

Таблица 1

Зависимость поверхностного заряда от размера фракции кварцевого песка

| Размер фракции, мм | Удельная поверхность кварцевого песка, $\frac{\text{см}^2}{\text{г}}$ | Площадь поверхности песка (Sпол), см^2 | Поверхностный заряд кварцевого песка, Кл |
|--------------------|---|---|--|
| 5-2,5 | 7,4 | $0,0008 \times 10^4 \text{ м}^2$ | $0,012 \times 10^{-5}$ |
| 2,5-1,2 | 18,5 | $0,002 \times 10^4 \text{ м}^2$ | $0,031 \times 10^{-5}$ |
| 1,2-0,6 | 33 | $0,003 \times 10^4 \text{ м}^2$ | $0,047 \times 10^{-5}$ |
| 0,6-0,3 | 66 | $0,007 \times 10^4 \text{ м}^2$ | $0,111 \times 10^{-5}$ |
| 0,3-0,15 | 129 | $0,014 \times 10^4 \text{ м}^2$ | $0,223 \times 10^{-5}$ |
| 0,15-0,088 | 261 | $0,028 \times 10^4 \text{ м}^2$ | $0,446 \times 10^{-5}$ |

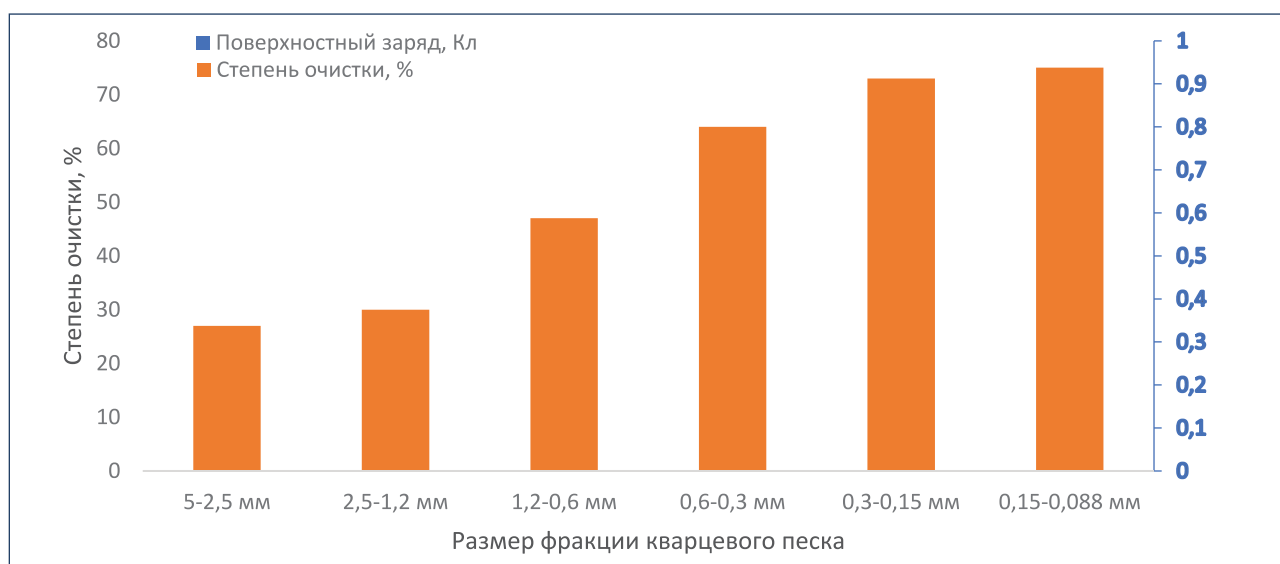


Рис. 2. Изменение степени очистки в зависимости от применяемой фракции кварцевого песка и образующегося поверхностного заряда.

свободного объема в слое сорбента. В зернистом слое, составленного из частиц разного размера, порозность заметно ниже, чем в слое из одинаковых частиц.

Слой адсорбента, который только образовали, состоит из идентичных гранул. Со временем они уменьшаются в размерах. Слой становится полидисперсным: уменьшается порозность, но возрастает гидравлическое сопротивление аппарата. После того, как адсорбционные показатели песка снижены, можно говорить о его замене на новый подготовленный по нормативам сорбент. Опыт применения различных промышленных отходов и побочных продуктов очистки сточных вод в разных отраслях давно известен [9–16] Использованный кварцевый песок рекомендуется использовать в строительных целях. Согласно строительным нормам [17] содержание в песке разной фракционности порошковых и иловатых частиц не должно превышать 1 % по массе для фракции размерами до 5 мм и 1,5 % для фракций остального размера. Пески, подвергающиеся обработке раствором едкого натра (колориметрическая проба для определения органических примесей по ГОСТ 8735 [18], не должны менять окрас самого раствора.

Значение коэффициента фильтрации определяют при испытании песка по ГОСТ 25584 [19]. Помимо этого, есть опыт использования отработанного песка для ремонта дорожного полотна [20] Вещество, известное как Grit Assisted patch (GAP), в конечном итоге более безопасно для окружающей среды, чем асфальт на углеводородной основе. Чтобы сделать песок полезным и использовать в качестве дорожного материала, ученые решили добавить связанную фосфатную керамику (СВРС). СВРС обычно используются для обработки опасных или радиоактивных

отходов с целью их захоронения. Поскольку СВРС содержит ингредиенты, которые инактивируют микробы, исследователи подумали, что это может быть хорошим способом убить патогены и получить материал, который можно безопасно наносить на дороги. Обычные асфальтовые покрытия содержат полициклические ароматические углеводороды, которые представляют опасность для здоровья человека, но новый материал устраняет эту проблему для окружающей среды, поскольку его матрица состоит из оксидов кальция и магния, не токсичных для людей. На данный момент исследователи изучили характеристики GAP в лаборатории, показав, что его прочность на сжатие сопоставима с прочностью асфальтового покрытия, и считают, что долговечность таких дорожных заплаток будет выше, чем у асфальта. Между тем, они работают над дальнейшим повышением прочности GAP на сжатие, чтобы его можно было использовать для других целей. Известна технология активации отработанного кварцевого песка для последующего применения в качестве строительного материала [21]. Так, в работе [22] указаны причины низкого использования отсевов дробления изверженных горных пород при производстве щебня на горных предприятиях, где песок является частой составляющей побочных отходов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование влияния электрического поля на сорбционную составляющую процесса очистки воды показывает эффективность применения совмещенного метода в технологической схеме гальванического производства, как при подготовке (очистке) водопроводной воды для промывки, так и для последующей доочистки промывных сточных вод от ионов металлов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 9.314-90. Вода для гальванического производства и схемы промывок. Общие требования
2. Исхакова И. О., Ткачева В. Э. Инновационные методы очистки сточных вод современного гальванического производства // Вестник Технологического университета. 2016. Т. 19. № 10. С. 143–146.

3. Лиманская Е., Ермоленко Б. В. Некоторые подходы к системному проектированию экологически «Безопасных» гальванических производств // Успехи в химии и химической технологии. 2016. № 9 (178). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/nekotorye-podhody-k-sistemnomu-proektirovaniyu-ekologicheski-bezopasnyh-galvanicheskikh-proizvodstv> (дата обращения: 01.10.2023).
4. Шестаков И. Я., Хилюк А. В. Зависимость степени очистки воды от удельного количества электричества, напряженности электрического поля и времени отстаивания // Сибирский аэрокосмический журнал. 2021. Т. 22. № 3. С. 536–542.
5. Юсупова Рамазанова А. А., Свешникова Д. А., Рамазанов А. Ш. Электросорбция соединений бора на активированных углях. Адсорбция бора на поляризованном активированном угле КМ-2 // Вестник Дагестанского государственного университета. 2006. № 1. С. 38–44.
6. Хамалетдинова Н. М., Кузнецова О. В., Егорочкин А. Н. [и др.] Поляризационный эффект при сорбции и удерживании сорбатов в газовой хроматографии // Журнал физической химии. 2009. Т. 83. № 8. С. 1553–1557.
7. Физический энциклопедический словарь. М.: Советская энциклопедия, 1983. 928 с.
8. ГОСТ 24104-88 Песок для строительных работ (в ред. Изменения N 1, утв. Постановлением Госстроя СССР от 22.06.1989 N 109, Изменения N 2, принятого Постановлением Госстроя РФ от 04.12.2000 N 115)
9. Al-Ghouti M. A. et al. The removal of dyes from textile wastewater: a study of the physical characteristics and adsorption mechanisms of diatomaceous earth // Journal of environmental management. 2003. Т. 69. No. 3. P. 229–238.
10. Ali I., Asim M., Khan T. A. Low cost adsorbents for the removal of organic pollutants from wastewater // Journal of environmental management. 2012. Vol. 113. P. 170–183.
11. Aydın H., Bulut Y., Yerlikaya Ç. Removal of copper (II) from aqueous solution by adsorption onto low-cost adsorbents // Journal of environmental management. 2008. Vol. 87. No. 1. P. 37–45.
12. Jain A. K. et al. Utilization of industrial waste products as adsorbents for the removal of dyes // Journal of hazardous materials. 2003. Vol. 101. No. 1. P. 31–42.
13. Martin M. J. et al. Activated carbons developed from surplus sewage sludge for the removal of dyes from dilute aqueous solutions // Chemical engineering journal. 2003. Vol. 94. No. 3. P. 231–239.
14. Hegazi H. A. Removal of heavy metals from wastewater using agricultural and industrial wastes as adsorbents // HBRC journal. 2013. Vol. 9. No. 3. P. 276–282.
15. Sari A., Çıtak D., Tuzen M. Equilibrium, thermodynamic and kinetic studies on adsorption of Sb (III) from aqueous solution using low-cost natural diatomite // Chemical Engineering Journal. 2010. Vol. 162. No. 2. P. 521–527.
16. Chutia P. et al. Adsorption of AS (V) on surfactant-modified natural zeolites // Journal of Hazardous Materials. 2009. Vol. 162. No. 1. P. 204–211.
17. ГОСТ 8736-2014 Песок для строительных работ. Технические условия (с Поправками, с Изменением N 1).
18. ГОСТ 8735-88 Песок для строительных работ. Методы испытаний (с Изменениями N 1, 2, с Поправкой)
19. ГОСТ 25584-2016 Грунты. Методы лабораторного определения коэффициента фильтрации (с Поправками).
20. Sabino De Gisi, Giusy Lofrano, Mariangela Grassi, Michele Notarnicola, Characteristics and adsorption capacities of low-cost sorbents for wastewater treatment // Sustainable Materials and Technologies. 2016. Vol. 9. P. 10–40.
21. Митина Н. А., Верещагин В. И. Строительные материалы на основе активированного кварцевого песка // Известия ТПУ. 2009. № 3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/stroitelnye-materialy-na-osnove-aktivirovannogo-kvartsevogo-peska> (дата обращения: 12.01.2024).

22. Капустин Ф. Л.; Перепелицын В. А., Пономарев В. Б. и др. Повышение эффективности использования отсеков дробления скальных горных пород. // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2017. № 3. С. 103–107.

DOI: 10.25558/VOSTNII.2024.78.91.012

UDC 621:628.3

© I. Y. Shestakov, A. V. Khilyuk, 2024

I. Y. SHESTAKOV

Doctor of Engineering Sciences, Professor,

Associate Professor

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk

e-mail: yakovlevish@mail.ru

A. V. KHILYUK

Senior Lecturer

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk

e-mail: h-anna7@bk.ru

METHOD OF REMOVAL OF METAL IONS IN WASHING AND WASTE WATER OF ELECTROPLATING INDUSTRIES

The mechanical engineering industry, which uses electroplating technologies, is one of the sources of contamination of the hydrosphere with metal ions. The cumulative effect of the ingress of metal ions into living organisms together with water to food products is known and requires increased attention to the methods used for wastewater treatment. In addition, the reduction of economic costs is a priority in modern production and can be achieved by cleaning tap water used for washing parts.

The article presents a theoretical justification of the dielectric polarization process in a combined method of water purification, including electrochemical action and adsorption.

As a result of the experiments conducted to study the effect of polarization, the dependence of water purification, in particular its sorption component, on polarization was obtained

Keywords: COMBINED METHOD, POLARIZATION, DEGREE OF PURIFICATION, SORBENT, ADSORPTION

REFERENCES

1. GOST 9.314-90. Water for galvanic production and flushing schemes. General requirements. [In Russ.].
2. Iskhakova I. O., Tkacheva V. E. Innovative methods of wastewater treatment of modern electroplating production // Bulletin of the Technological University [Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta]. 2016. Vol. 19. No. 10. P. 143–146. [In Russ.].
3. Limanskaya E., Ermoolenko B.V. Some approaches to system design of environmentally «Safe» galvanic production // Advances in Chemistry and Chemical Technology [Uspekhi v khimii i khimicheskoy tekhnologii]. 2016. No. 9 (178).URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/nekotorye-podhody-k-sistemnomu-proektirovaniyu-ekologicheskii-bezopasnyh-galvanicheskikh-proizvodstv> (date of access: 01.10.2023). [In Russ.].

4. Shestakov I. Ya., Khilyuk A. V. Dependence of the degree of water purification on the specific amount of electricity, electric field strength and settling time // *Siberian Aerospace Journal*. 2021. Vol. 22. No. 3. P. 536–542. [In Russ.].

5. Yusupova Ramazanova A. A., Sveshnikova D. A., Ramazanov A. Sh. Electrosorption of boron compounds on activated carbons. Adsorption of boron on polarized activated carbon KM-2 // *Bulletin of Dagestan State University [Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo universiteta]*. 2006. No. 1. P. 38–44. [In Russ.].

6. Khamaletdinova N. M., Kuznetsova O. V., Egorochkin A. N. [et al.] Polarization effect in sorption and retention of sorbates in gas chromatography // *Journal of Physical Chemistry [Zhurnal fizicheskoy khimii]*. 2009. Vol. 83. No. 8. P. 1553–1557. [In Russ.].

7. *Physical Encyclopedic Dictionary*. Moscow: Soviet Encyclopedia, 1983. 928 p. [In Russ.].

8. GOST 24104-88 Sand for construction work (as amended by Amendment No. 1, approved by Resolution of the USSR Gosstroy of 22.06.1989 No. 109, Amendment No. 2, adopted by Resolution of the Russian Federation Gosstroy of 04.12.2000 No. 115). [In Russ.].

9. Al-Ghouti M. A. et al. The removal of dyes from textile wastewater: a study of the physical characteristics and adsorption mechanisms of diatomaceous earth // *Journal of environmental management*. 2003. T. 69. No. 3. P. 229–238.

10. Ali I., Asim M., Khan T. A. Low cost adsorbents for the removal of organic pollutants from wastewater // *Journal of environmental management*. 2012. Vol. 113. P. 170–183.

11. Aydın H., Bulut Y., Yerlikaya Ç. Removal of copper (II) from aqueous solution by adsorption onto low-cost adsorbents // *Journal of environmental management*. 2008. Vol. 87. No. 1. P. 37–45.

12. Jain A. K. et al. Utilization of industrial waste products as adsorbents for the removal of dyes // *Journal of hazardous materials*. 2003. Vol. 101. No. 1. P. 31–42.

13. Martin M. J. et al. Activated carbons developed from surplus sewage sludge for the removal of dyes from dilute aqueous solutions // *Chemical engineering journal*. 2003. Vol. 94. No. 3. P. 231–239.

14. Hegazi H. A. Removal of heavy metals from wastewater using agricultural and industrial wastes as adsorbents // *HBRC journal*. 2013. Vol. 9. No. 3. P. 276–282.

15. Sarı A., Çıtak D., Tuzen M. Equilibrium, thermodynamic and kinetic studies on adsorption of Sb (III) from aqueous solution using low-cost natural diatomite // *Chemical Engineering Journal*. 2010. Vol. 162. No. 2. P. 521–527.

16. Chutia P. et al. Adsorption of As (V) on surfactant-modified natural zeolites // *Journal of Hazardous Materials*. 2009. Vol. 162. No. 1. P. 204–211.

17. GOST 8736-2014 Sand for construction works. Technical conditions (with Amendments, with Amendment No. 1). [In Russ.].

18. GOST 8735-88 Sand for construction works. Test methods (with Amendments No. 1, 2, with Amendment). [In Russ.].

19. GOST 25584-2016 Soils. Laboratory methods for determination of filtration coefficient (with Amendments). [In Russ.].

20. Sabino De Gisi, Giusy Lofrano, Mariangela Grassi, Michele Notarnicola, Characteristics and adsorption capacities of low-cost sorbents for wastewater treatment // *Sustainable Materials and Technologies*. 2016. Vol. 9. P. 10–40.

21. Mitina N.A., Vereshchagin V.I. Construction materials based on activated quartz sand // *TPU News*. 2009. No. 3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/stroitelnye-materialy-na-osnove-aktivirovannogo-kvartsevogo-peska> (date of access: 12.01.2024). [In Russ.].

22. Kapustin F. L.; Perepelitsyn V. A., Ponomarev V. B. et al. Improving the efficiency of using crushed rock screenings. // *Physical and technical problems of mineral development [Fiziko-tekhnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh]*. 2017. No. 3. P. 103–107. [In Russ.].