

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА КИНЕТИКУ ПРОЦЕССА БАКТЕРИАЛЬНО-ХИМИЧЕСКОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ МЕТАЛЛОВ

В. А. Иодис, С. О. Очеретяна

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Научно-исследовательский геотехнологический центр  
Дальневосточного отделения Российской академии наук» (НИГТИ ДВО РАН), г.Петропавловск-Камчатский, Россия

**Аннотация:** Дана оценка влияния ультразвуковой обработки рудной пульпы на кинетику процесса бактериально-химического выщелачивания металлов. В ходе проведения экспериментов была принята интенсивность ультразвуковых колебаний – 4,0, 7,2, 11,0, 21,0 Вт/см<sup>2</sup> при частоте 22 кГц и полной мощности генератора ультразвуковых колебаний 400 Вт. Ультразвуковая обработка в проточной камере смонтированной лабораторной установки проводилась в течение 30 минут. Через промежутки 1, 3, 10, 15 и 30 минут осуществлялся отбор проб, определялись pH, Eh и количество клеток микроорганизмов в 1 мл рудной пульпы. Анализ литературных данных показал, что ультразвуковая обработка интенсивностью более 20 Вт/см<sup>2</sup> твердой фазы рудной пульпы в течение 15–20 минут обеспечивает очистку поверхности кристаллических фаз от оксидных пленок. Это позволяет интенсифицировать процесс бактериально-химического выщелачивания. Проведенные эксперименты показали, что ультразвуковое воздействие при интенсивности от 21 Вт/см<sup>2</sup> и выше при продолжительности процесса более 1 200 секунд, частоте колебаний 22 кГц инактивирует микроорганизмы, что снижает кинетику процесса бактериально-химического выщелачивания. Из этого следует, что для повышения кинетики процесса выщелачивания целесообразно отдельно воздействовать ультразвуком на рудную пульпу для очистки поверхности от оксидных пленок, далее смешивать пульпу с бактериальной суспензией и затем проводить процесс бактериально-химического выщелачивания.

**Ключевые слова:** бактериально-химическое выщелачивание, ультразвуковое воздействие, рудная пульпа, оксидные пленки, pH, Eh, хемолитотрофные микроорганизмы, лабораторная установка

**Для цитирования:** Иодис В. А., Очеретяна С. О. Исследование влияния ультразвукового воздействия на кинетику процесса бактериально-химического выщелачивания металлов. *Маркшейдерия и недропользование*. 2024. №5. С. 44–48. [https://doi.org/10.56195/20793332\\_2024\\_5\\_44\\_48](https://doi.org/10.56195/20793332_2024_5_44_48).

## STUDY OF THE INFLUENCE OF ULTRASONIC INFLUENCE ON THE KINETICS OF THE PROCESS OF BACTERIAL-CHEMICAL LEACHING OF METALS

V. A. Iodis, S. O. Ocheretyana

Research Geotechnological Center, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatsky,  
Russian Federation

**Abstract:** This work was carried out to study the effect of ultrasonic treatment of ore pulp on the kinetics of the process of bacterial-chemical leaching of metals. The intensities of ultrasonic vibrations chosen for the experiment were 4.0, 7.2, 11.0, 21.0 W/cm<sup>2</sup>, at a frequency of 22 kHz, and the total power of the ultrasonic vibration generator was 400 W. Ultrasonic treatment in the flow chamber of a mounted laboratory installation was carried out for 30 minutes. After 1, 3, 10, 15 and 30 minutes, samples were taken, pH, Eh and the number of microorganism cells in 1 ml of ore pulp were determined. Analysis of literature data showed that ultrasonic treatment with an intensity of more than 20 W/cm<sup>2</sup> of the solid phase of ore pulp for 15–20 minutes ensures the cleaning of the surface of crystalline phases from oxide films. This will intensify the process of bacterial-chemical leaching. The experiments showed that ultrasonic exposure at an intensity of 21 W/cm<sup>2</sup> and higher, with a process duration of more than 1200 s, and an oscillation frequency of 22 kHz, inactivates microorganisms, which will reduce the kinetics of the bacterial-chemical leaching process. It follows from this that in order to increase the kinetics of the process, it is advisable to separately apply ultrasound to the ore pulp to clean the surface of oxide films, then mix the pulp with a bacterial suspension and carry out the process of bacterial-chemical leaching.

**Keywords:** bacterial-chemical leaching, ultrasonic influence, ore pulp, oxide films, pH, Eh, chemolithotrophic microorganisms, laboratory installation

**For citation:** Iodis V. A., Ocheretyana S. O. Study of the influence of ultrasonic influence on the kinetics of the process of bacterial-chemical leaching of metals. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2024;(5):44–48. (In Russ.). [https://doi.org/10.56195/20793332\\_2024\\_5\\_44\\_48](https://doi.org/10.56195/20793332_2024_5_44_48).

## Введение

Одним из направлений повышения кинетических характеристик бактериально-химического выщелачивания руд является использование воздействия различных физических полей в процессе реакторного бактериально-химического окисления минеральных компонентов пульпы. Наиболее эффективным вариантом представляется интенсификация бактериально-химических процессов с применением ультразвуковой активации.

Существуют данные [1–3], что ультразвуковая обработка при интенсивности более 20 Вт/см<sup>2</sup> твердой фазы рудной пульпы в течение 15–20 минут в условиях кавитационного режима с кумулятивными струями обеспечивает высокую степень очистки поверхности кристаллических фаз от оксидных пленок, что позволяет существенно интенсифицировать процесс бактериально-химического выщелачивания. Однако применение ультразвука может как стимулировать, так и снижать рост численности микроорганизмов, находящихся в пульпе. Использование ультразвукового воздействия интенсивностью более 10 Вт/см<sup>2</sup> с частотами от 20 до 100 кГц для резкого снижения численности бактерий исследуется с середины XX века [4]. Резкое снижение численности микроорганизмов при ультразвуковой обработке зависит не только от интенсивности излучения, но также от частоты колебаний, продолжительности процесса обработки, давления и температуры [5].

## Цель работы

Исследование влияния ультразвуковой обработки рудной пульпы на кинетику процесса бактериально-химического выщелачивания металлов.

### Материал и методы исследования

**Руда.** В работе использовали образцы сульфидных руд медно-никелевого месторождения Шануч. Исходное содержание металлов в образце руды: 4,32–4,79% Ni; 0,61–0,75% Cu; 0,094–0,12% Co [6, 7]. Степень измельчения руды 100% – 100 мкм.

**Бактериальная культура.** Увеличение биомассы находящихся на руде микроорганизмов проводили в элективной среде для кислотолюбивых хемолитотрофных бактерий 9К (*Acidithiobacillus ferrooxidans*, *Acidiphilium* spp. [7, 8]) с тиосульфатом натрия, обеспечивающей выход и накопление этих бактерий в жидкой фазе пульпы. Нарботку биомассы клеток микроорганизмов из руды проводили стационарно в колбах Эрленмейера (V = 250 мл), используя орбитальный шейкер-инкубатор (Biosan, марки ES-20/80) при температуре 22°C на протяжении от 2,5 до 6,5 суток. Соотношение измельченной руды к элективной питательной среде составляло 1:8.

**Лабораторная установка.** Исследования кинетики процесса бактериально-химического выщелачивания металлов при обработке ультразвуком твердой фазы рудной пульпы проводились на смонтированной лабораторной установке [9]. Установка включает камеру обработки рудной пульпы, камеру водяного охлаждения, генератор ультразвуковых колебаний [10–12], перистальтические насосы и измеритель температуры марки ИРТ-4/16.

## Эксперимент

Перед началом эксперимента элективную питательную среду объемом 720 мл фильтровали через двойной обеззоленный фильтр «Белая лента» (D = 11 см) и обрабатывали ультрафиолетом в течение 1 часа. Приготовление питательной среды осуществлялось по [13]. Далее ее смешивали с из-

мельченной рудой (90 г) в соотношении 1:8 и оставляли при температуре 30°C. По истечению 2,5, 4,5, 5,5, 6,5 суток проводили отбор нулевой пробы объемом 20 мл. Ее центрифугировали при частоте вращения 1 тыс. об/мин на протяжении 10 минут, разделяя пульпу на жидкую и твердую фазы и обеспечение концентрирования клеток кислотолюбивых бактерий в жидкой части пульпы. Жидкую часть использовали для определения pH, Eh и биомассы кл/мл ( $N_{кл}$ ). Оставшуюся смесь питательной среды и измельченной руды (≈790 мл) помещали в мерную емкость установки. После включения перистальтических насосов, которые заполняли пульпой камеру ультразвуковой обработки, осуществлялась подача охлаждающей воды в камеру охлаждения и включение генератора ультразвуковых колебаний.

Для эксперимента были выбраны интенсивности колебаний 4,0, 7,2, 11,0, 21,0 Вт/см<sup>2</sup> при частоте 22 кГц. Ультразвуковая обработка в проточной камере проводилась в течение 30 минут. Через 1, 3, 10, 15 и 30 минут осуществляли отбор проб объемом 20 мл, затем пробу центрифугировали при 1 тыс. об/мин на протяжении 10 минут и определяли pH, Eh и  $N_{кл}$ . Центрифугирование проб проводили в центрифуге лабораторной марки ElmiCM-6M. Определение pH, Eh осуществлялось на pH-метре/ионометре Mettler-Toledo Seven Compact S220 (погрешность pH ±0,002, Eh ±0,2 мВ). Определение  $N_{кл}$  в жидкой фазе пульпы проводили методом прямого подсчета клеток при помощи камеры Горяева.

## Результаты исследований, обсуждение результатов

Исследования показали, что ультразвуковое воздействие оказывает влияние назначения pH и Eh рудной пульпы, что подтверждается исследованиями [14–15]. В процессе ультразвуковой обработки в рудных пульпах кавитация вызывает образование свободных радикалов  $OH^-$  и  $H^+$ , которые вступают в реакции с минералами пульпы [16–18]. Образующиеся гидроксильный,  $\cdot OH$  и водородный,  $H$  радикалы могут вступать во вторичные реакции. Как показал анализ публикаций, при ультразвуковой обработке значения pH рудных пульп растут до 7,9%, значения Eh падают, что объясняется эффектом образования гидроксильных радикалов и  $H^+$ -ионов [2, 19].

Как показал эксперимент, на значения pH и Eh также влияет изменение количества клеток микроорганизмов, что подтверждается исследованиями [20]. При возрастании  $N_{кл}$  значение pH увеличивается, при этом значение Eh падает. Соответственно, при снижении числа микроорганизмов pH уменьшается, а значение Eh возрастает.

Результаты исследования представлены на рисунках 1–3.

Возрастание  $N_{кл}$  при ультразвуковой обработке с интенсивностью 4,2, 7,2 Вт/см<sup>2</sup> в первые 60 секунд можно объяснить сбиванием с частиц сульфидной руды хемолитотрофных микроорганизмов, т.е. частичным разрушением бактериальной пленки (рис. 3).

Дальнейшее снижение числа планктонных клеток в следующие 120 секунд обработки свидетельствует об частичном ингибировании и инактивации. В следующие 420 секунд процесса (интенсивность – 4,2 Вт/см<sup>2</sup>) и 120 секунд процесса (7,2 Вт/см<sup>2</sup>) фиксировалось увеличение числа клеток, что объясняется полным разрушением бактериальной пленки и частичным разрушением частиц руды.

Далее, в течение 1200 секунд процесса фиксировался процесс ингибирования и резкого снижения числа клеток микроорганизмов. При интенсивности излучения 4,2 Вт/см<sup>2</sup> и продолжительности процесса 1 800 секунд численность

планктонных бактерий выросла 2,33 раза, однако при 7,2 Вт/см<sup>2</sup> численность бактерий снизилась на 10 %.

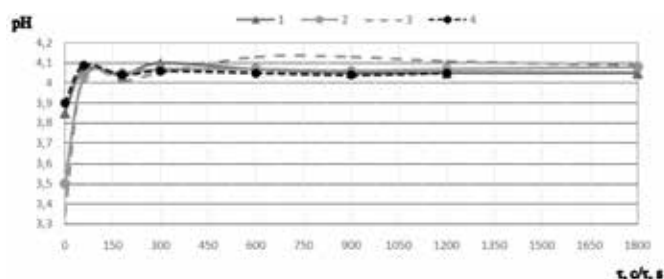


Рис. 1. Изменение значения pH при ультразвуковом воздействии на рудную пульпу с питательной средой для микроорганизмов: 1–4,0 Вт/см<sup>2</sup>; 2–7,2 Вт/см<sup>2</sup>; 3–11,0 Вт/см<sup>2</sup>; 4–21,0 Вт/см<sup>2</sup>

Fig. 1. Change in pH value when exposed to ultrasonic influence on ore pulp with a nutrient medium for microorganisms: 1–4.0 W/cm<sup>2</sup>; 2–7.2 W/cm<sup>2</sup>; 3–11.0 W/cm<sup>2</sup>; 4–21.0 W/cm<sup>2</sup>

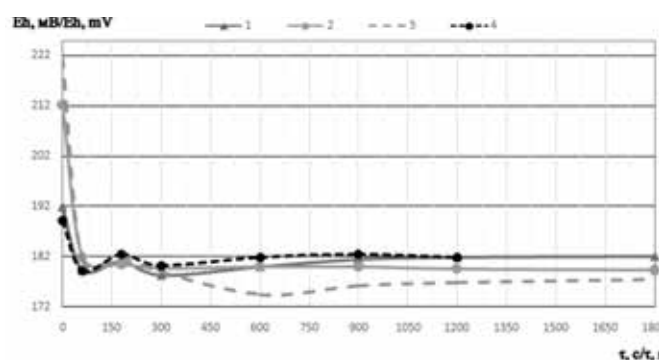


Рис. 2. Изменение значения Eh при ультразвуковом воздействии на рудную пульпу с питательной средой для микроорганизмов: 1–4,0 Вт/см<sup>2</sup>; 2–7,2 Вт/см<sup>2</sup>; 3–11,0 Вт/см<sup>2</sup>; 4–21,0 Вт/см<sup>2</sup>

Fig. 2. Change in the value of Eh when exposed to ultrasonic influence on ore pulp with a nutrient medium for microorganisms: 1–4.0 W/cm<sup>2</sup>; 2–7.2 W/cm<sup>2</sup>; 3–11.0 W/cm<sup>2</sup>; 4–21.0 W/cm<sup>2</sup>

При интенсивностях 11 и 21 Вт/см<sup>2</sup> в первые 60 секунд процесса ультразвуковой обработки наблюдалась, как и при интенсивностях 4,2, 7,2 Вт/см<sup>2</sup>, возрастание числа планктонных микроорганизмов происходило в 1,25–2 раза, что также можно объяснить сбиванием с частиц сульфидной руды sessильных микроорганизмов и разрушением бактериальных пленок, однако далее происходило снижение числа планктонных клеток до окончания ультразвукового воздействия.

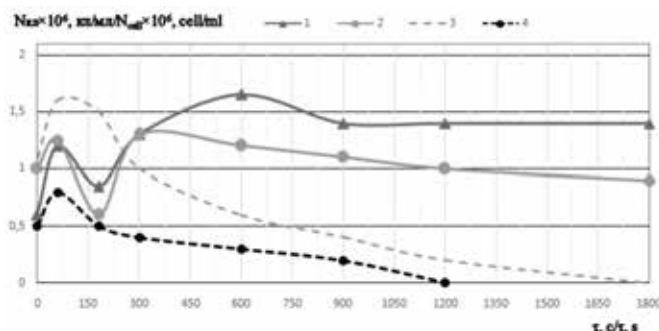
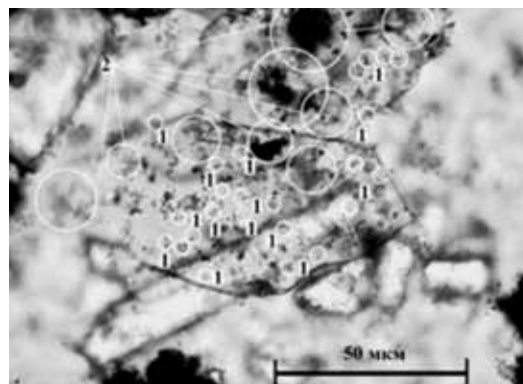


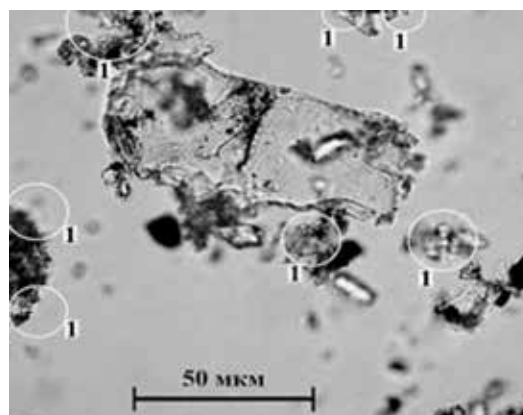
Рис. 3. Изменение количества клеток хемолитотрофных микроорганизмов в рудной пульпе при ультразвуковом воздействии: 1–4,0 Вт/см<sup>2</sup>; 2–7,2 Вт/см<sup>2</sup>; 3–11,0 Вт/см<sup>2</sup>; 4–21,0 Вт/см<sup>2</sup>

Fig. 3. Change in the number of cells of chemolithotrophic microorganisms in the ore pulp under the ultrasonic influence: 1–4.0 W/cm<sup>2</sup>; 2–7.2 W/cm<sup>2</sup>; 3–11.0 W/cm<sup>2</sup>; 4–21.0 W/cm<sup>2</sup>

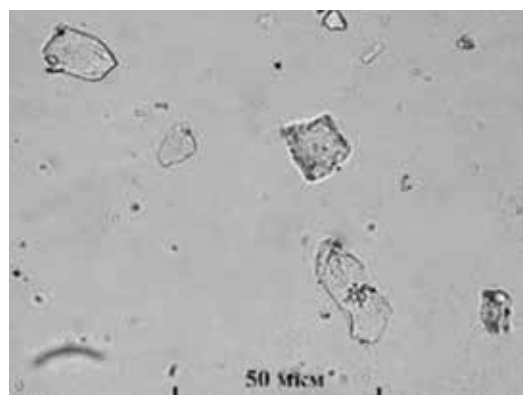
При интенсивности 11,0 Вт/см<sup>2</sup> резкое снижение численности бактерий до нуля наступала через 1 800 секунд процесса ультразвуковой обработки, а при 21,0 Вт/см<sup>2</sup>—через 1 200 секунд. Это подтвердили микроскопические исследования на тринокулярном микроскопе марки «Микромед 3 (вар. 3 LED М)» с видеоокуляром марки «TourCam UCMOS05100KPA», приведенные на рисунке 4.



а (а)



б (b)



в (c)

Рис. 4. Микрофотография рудной пульпы, биопленок и хемолитотрофных микроорганизмов: а) до ультразвуковой обработки, 1 – хемолитотрофные микроорганизмы; 2 – биопленки; б) после ультразвуковой обработки при интенсивности 11 Вт/см<sup>2</sup>, продолжительности 1 800 с, 1 – биопленки; в) после ультразвуковой обработки при интенсивности 21 Вт/см<sup>2</sup>, продолжительности 1200 с

Fig. 4. Microphotograph of ore pulp, biofilms and chemolithotrophic microorganisms: а) before ultrasonic treatment, 1 – chemolithotrophic microorganisms; 2 – biofilms; б) after ultrasonic treatment at an intensity of 11 W/cm<sup>2</sup>, duration 1800 s, 1 – biofilms; в) after ultrasonic treatment at an intensity of 21 W/cm<sup>2</sup>, duration 1200 s

На основании результатов исследований можно сделать вывод, что для повышения кинетики процесса бактериально-химического выщелачивания необходимо воздействовать ультразвуком на рудную пульпу, а только потом смешивать обработанную пульпу с бактериальной суспензией.

### Заключение

Как показывает анализ литературных источников, ультразвуковая обработка интенсивностью более 20 Вт/см<sup>2</sup> твердой фазы рудной пульпы в течение 15–20 минут обеспечивает очистку поверхности кристаллических фаз от оксидных пленок, что интенсифицирует процесс бактериально-химического выщелачивания. Как показали проведенные экспе-

рименты, ультразвуковое воздействие при интенсивности от 21 Вт/см<sup>2</sup> и выше, продолжительности процесса более 1200 секунд, частоте колебаний 22 кГц инактивирует микроорганизмы, что снижает кинетику процесса бактериально-химического выщелачивания. Из этого следует, что для повышения кинетики процесса целесообразно отдельно воздействовать ультразвуком на рудную пульпу, а затем смешивать ее с бактериальной суспензией для проведения процесса бактериально-химического выщелачивания.

Воздействие ультразвука представляет большой интерес для дальнейшего изучения. Необходимо более детально выявить механизмы ультразвукового воздействия как на минеральные частицы пульпы, так и на жизнедеятельность хемолитотрофных микроорганизмов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Блайда ИА, Васильева ТВ. Влияние ультразвука на процессы биовыщелачивания металлов и десульфуризации углей. *Микробиология и биотехнология*. 2017;(4):6–20. [Blajda IA, Vasil'eva TV. The influence of ultrasound on the processes of bioleaching of metals and desulfurization of coals. *Microbiology and biotechnology*. 2017;(4):6–20 (In Russ.)].
2. Глембоцкий ВА, Соколов МА, Якубович ИА. [и др.] Ультразвук в обогащении полезных ископаемых. Алма-Ата: Наука, 1972. 229 с. [Glembockij VA, Sokolov MA, Yasybovich, et al. Ultrasound in mineral processing. Alma-Ata, 1972 (In Russ.)].
3. Гроо ЕА., Алгебраистова НК, Жижаев АМ. [и др.] Исследование влияния ультразвуковой обработки для интенсификации процессов извлечения золота из труднообогатимого сырья. *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2012;(2):89–96. [Groo EA, Algebraistova NK, Zhizhaev AM, et al. Study of the influence of ultrasonic treatment to intensify the processes of extracting gold from difficult-to-process raw materials. *Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal)*. 2012;(2):89–96 (In Russ.)].
4. Хмельов ВН, Сливин АН, Барсуков РВ. [и др.] Применение ультразвука высокой интенсивности в промышленности. Алт. Гос. Техн. ун-т, БТИ. Бийск: изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2010. 196 с. [Hmelyov VN, Slivin AN, Barsukov RV, et al. Application of high-intensity ultrasound in industry. Bijsk, 2010 (In Russ.)].
5. Очеретяна С. О. Краткий обзор влияния ультразвука на инактивацию микроорганизмов участвующих в биовыщелачивании металлов (влияние ультразвука на удаление биопленки). *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2021;19:230–236. [Ocheretyana SO. A brief review of the influence of ultrasound on the inactivation of microorganisms involved in the bioleaching of metals (the effect of ultrasound on the removal of biofilm). *Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal)*. 2021;19:230–6 (In Russ.)]. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2021\_11\_19\_230.
6. Hajnasova TS, Truhin YuP. Bioleaching of a sulphide cobalt-copper-nickel ore in a continuous reactor system. *Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal)*. 2020;46:167–85 (In Russ.)].
7. Хайнасова ТС. Биовыщелачивание сульфидной кобальт-медно-никелевой руды с применением стандартной и модифицированной сред 9К. *Успехи современного естествознания*. 2019;(12):175–180. [Hajnasova TS. Bioleaching of sulfide cobalt-copper-nickel ore using standard and modified 9K media. *Advances in modern natural science*. 2019;(12):175–80 (In Russ.)]. DOI: 10.17513/use.37286.
8. Хайнасова ТС, Пашкевич РИ. Таксономический анализ культуры ацидофильных хемолитотрофных микроорганизмов, принимающей участие в биовыщелачивании сульфидной руды месторождения Шануч. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2019;(10):28–33. [Hajnasova TS, Pashkevich RI. Taxonomic analysis of the culture of acidophilic chemolithotrophic microorganisms taking part in the bioleaching of sulfide ore from the Shanuch deposit. *International Journal of Applied and Fundamental Research*. 2019;(10):28–33 (In Russ.)]. DOI: 10.17513/mjpf.12862.
9. Иодис ВА. Лабораторный реактор для ультразвукового воздействия на пульпу кобальт-медно-никелевой руды. *Горный журнал*. 2023;(12):81–87. [Iodis VA. Laboratory reactor for ultrasonic treatment of cobalt-copper-nickel ore pulp. *Gornyi Zhurnal*. 2023;(12):81–7 (In Russ.)]. DOI: 10.17580/gzh.2023.12.13.
10. Хмелев ВН. Ультразвуковые аппараты для интенсификации процессов. *Труды Всероссийской акустической конференции: мат-лы III Всерос. конф. М., 2020. С. 191–194.* [Hmelev VN. Ultrasonic devices for process intensification. *Proceedings of the All-Russian Acoustic Conference: materials of the III All-Russian Conference*. 2020:191–94 (In Russ.)].
11. Хмелев ВН, Барсуков РВ, Барсуков АР. [и др.] Ультразвуковой технологический аппарат с пятью рабочими инструментами различного диаметра для проведения научных исследований. *Южно-Сибирский научный вестник*. 2022;4(44):106–109. [Hmelyov VN, Barsukov RV, Barsukov AR, et al. Ultrasonic technological apparatus with five working instruments of various diameters for scientific research. *South Siberian Scientific Bulletin*. 2022;4(44):106–9 (In Russ.)]. DOI: 10.25699/SSSB.2022.44.4.003.

12. Иодис В. А. Разработка системы контроля параметров рудной пульпы в процессе ультразвуковой обработки. *Вестник Забайкальского государственного университета*. 2023;29(3):45–55. [Iodis VA. Development of a system for monitoring the parameters of ore pulp in the process of ultrasonic processing. *Bulletin of the Transbaikalian State University*. 2023;29(3):45–55 (In Russ.)]. DOI: 10.2109/2227-9245-2023-29-3-45-55.
13. Очеретяна СО. Влияние pH и аэрации на смешанную культуру хемолитотрофных ацидофильных бактерий. *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2022;10:246–255. [Ocheretyana SO. The influence of pH and aeration on a mixed culture of chemolithotrophic acidophilic bacteria. *Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal)*. 2022;12:246–55 (In Russ.)]. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2022\_12\_10\_246.
14. Викулин ПД, Викулина ВБ. Влияние ультразвука на изменение pH воды. *Вода и экология: проблемы и решения*. 2019;4(80):3–8. [Vikulin PD, Vikulina VB. The influence of ultrasound on the change in pH of water. *Water and ecology: problems and solutions*. 2019;4(80):3–8 (In Russ.)]. DOI: 10.23968/2305-3488.2019.24.4.3-8.
15. Kang W, Xun H, Kong X, et al. Effects from changes in pulp nature after ultrasonic conditioning on high-sulfur coal flotation. *Mining Science and Technology*. 2009;19:498–507.
16. Mao Y, Xia W, Peng Y et al. Ultrasonic-assisted flotation of fine coal: A review. *Fuel Processing Technology*. 2019;195:106150. DOI: 10.1016/j.fuproc.2019.106150.
17. Ambedkar B, Nagarajan R, Jayanti S. Ultrasonic coal-wash for de-sulfurization. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2011;18(3):718–26. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2010.09.006.
18. Saikia BK, Dutta AM, Saikia L, et al. Ultrasonic assisted cleaning of high sulphur Indian coals in water and mixed alkali. *Fuel Processing Technology*. 2013;123:107–13. DOI: 10.1016/j.fuproc.2014.01.037.
19. Cao D, Xu X, Jiang S. Ultrasound-electrochemistry enhanced flotation and desulphurization for fine coal. *Separation and Purification Technology*. 2021;258:117968. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2020.117968>.
20. Киореску АВ. Воздействие периодического ультразвукового облучения на окисление серы смешанной культурой ацидофильных хемолитотрофных микроорганизмов. *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2020;12:25–32. [Kioresku AV. The effect of periodic ultrasonic irradiation on the oxidation of sulfur by a mixed culture of acidophilic chemolithotrophic microorganisms. *Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal)*. 2020;12:25–32 (In Russ.)]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-12-0-25-32.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

## ABOUT THE AUTHORS



**Иодис Валентин Алексеевич** — кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Научно-исследовательский геотехнологический центр Дальневосточного отделения Российской академии наук» (НИГТЦ ДВО РАН), Камчатский край, г. Петропавловск-Камчатский, Россия, <https://orcid.org/0000-0001-8002-0658>, ResearcherID AEF-2566-2022, Scopus Author ID — 58790763900, e-mail: iodisva@mail.ru

**Valentin A. Iodis** — Cand. Sci. (Eng.), Leading Researcher, Research Geotechnological Center, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, Kamchatka Krai, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-8002-0658>, ResearcherID AEF-2566-2022, Scopus Author ID — 58790763900, e-mail: iodisva@mail.ru



**Очеретяна Светлана Олеговна** — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Научно-исследовательский геотехнологический центр Дальневосточного отделения Российской академии наук» (НИГТЦ ДВО РАН), Камчатский край, г. Петропавловск-Камчатский, Россия, <https://orcid.org/0009-0008-6221-8239>, e-mail: blossom-so@yandex.ru

**Svetlana O. Ocheretyana** — Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher, Research Geotechnological Center, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, Kamchatka Krai, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russian Federation, <https://orcid.org/0009-0008-6221-8239>, e-mail: blossom-so@yandex.ru

**Критерии авторства / Contribution:**

Авторы заявляют о равном вкладе каждого в работу над статьей / The authors declare equal contribution from everyone to the work on the article.

**Конфликт интересов / Conflict of interest:**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.