

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ И ОБЩАЯ БИОЛОГИЯ / PHYSICAL-CHEMICAL AND GENERAL BIOLOGY

Оригинальная статья / Original article

УДК 602.3:579.8

DOI: 10.21285/2227-2925-2017-7-2-89-97

ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССОВ БАКТЕРИАЛЬНОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ НА ПРИМЕРЕ КОСТОМУКШСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

© Н.А. Сидорова, С.А. Трофимова

Петрозаводский государственный университет,
Российская Федерация, 185910, г. Петрозаводск, пр. Ленина, 33.

С целью оптимизации биотехнологических процессов трансформации руды изучена активность микробного концентрата на основе мезофильных хемотрофных микроорганизмов в отношении экстракции металлов из руд в составе отвалов Костомукшского горнодобывающего комбината. В эксперименте использованы биогенные выщелачивающие растворы. Эффективность выщелачивания руды оценивалась по изменению количества бактерий, редокс-потенциалу, кислотности и концентрации металла. Благодаря использованию хемотрофов в процессе трансформации руды достигнуто увеличение выхода металла на 63% по сравнению с традиционным химическим выщелачиванием. Эффект опосредован как прямым окислением металлов в составе руды, так и дополнительным окислением руды реокисленными микроорганизмами в растворе. Результаты работы направлены на решение проблемы комплексной переработки отходов обогащения горнодобывающих предприятий.

Ключевые слова: горнодобывающие предприятия, руда, трансформация, окисление, металлы, хемотрофы.

Формат цитирования: Сидорова Н.А., Трофимова С.А. Особенности процессов бактериальной трансформации техногенного сырья на примере Костомукшского месторождения // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2017. Т. 7, N 2. С. 89–97. DOI: 10.21285/2227-2925-2017-7-2-89-97

FEATURES OF BACTERIAL TRANSFORMATION PROCESSES IN TECHNOGENIC RAW MATERIALS ON THE EXAMPLE OF KOSTOMUKSHA DEPOSIT

© N.A. Sidorova, S.A. Trofimova

Petrozavodsk state University,
33, Lenin Ave., Petrozavodsk, 185910, Russian Federation

Results of this work are directly connected with a problem solution in complex processing of ore enrichment waste at the mining enterprises. In order to optimize the biotechnological transformation processes ore concentrate was studied for microbial activity of mesophilic chemotrophic microorganisms due to their ability to extract metals from ore dumps at the Kostomuksha mining plant. In the experiment biogenous leaching solutions were used. Efficiency of ore leaching was estimated by change of quantity of bacteria, redox potential, acidity and concentration of metal. Due to chemotrophic microorganisms in the ore transformation process metal yield improvement was achieved by 63% compared with traditional chemical leaching. The effect is mediated both by direct oxidation of metals in ore composition, and additional ore oxidation by reoxidated microorganisms in solution.

Keywords: mining enterprises, ore, transformation, oxidation, metals, chemotrophs

For citation: Sidorova N.A., Trofimova S.A. Features of bacterial transformation processes in technogenic raw materials on the example of Kostomuksha deposit. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya* [Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology]. 2017, vol. 7, no. 2, pp. 89-97 (in Russian). DOI: 10.21285/2227-2925-2017-7-2-89-97

ВВЕДЕНИЕ

В России, как и во всем мире, неуклонно растет добыча извлекаемой из недр горной массы: общий объем которой составляет 850 млрд т в год, а ежегодный прирост приближается к 7 млрд т [7, 10,11]. На долю ежегодно добываемых из недр железных руд в России приходится 334,9 млн т, из которых около 31 млн (примерно 10%) составляют железные руды, извлеченные из недр в Республике Карелия на Костомукшском и Корпанганском железорудных месторождениях [2, 3]. Только треть добываемого сырья при обогащении на Костомукшском ГОКе (ОАО «Карельский окатыш») превращается в окатыши – полуфабрикат металлургического производства железа, а более 20 млн т ежегодно становятся отходами и складированы в хвостохранилище на месте бывшего оз. Костомукшского. На территории Баренцев Евро-Арктического региона в России помимо АО «Карельский окатыш» в Костомукше действует также целый комплекс горнодобывающих предприятий: Оленегорский горно-обоганительный комбинат, ОАО «ОЛКОН» в г. Оленегорске, Ковдорский горно-обоганительный комбинат, Кольская горно-металлургическая компания. И все эти предприятия можно рассматривать не только как важные составляющие народнохозяйственного комплекса страны, но и как объекты размещения промышленных отходов [1].

С другой стороны, вскрышные породы, хвосты обогащения, забалансовые руды и др. этих предприятий являются источниками, так называемого, техногенного сырья: концентратов цветных металлов, щебеночно-песчаных смесей, композиционных строительных материалов, аккумулятором микроэлементов для производства комплексных органо-минеральных удобрений, что позволяет отнести их к техногенным месторождениям [12, 13]. Техногенные месторождения существенно отличаются от природных, в частности, поверхностным расположением преимущественно раздробленного материала и его уникальным поликомпонентным минеральным составом, требующим предварительного исследования, предопределяющего обоснованный выбор и прогнозирование эффективности технологий переработки отходов [5]. Вместе с тем, нарастающее накопление техногенных ресурсов свидетельствует о несовершенстве используемых технологий добычи, обогащения и переработки исходного минерального сырья предприятиями горно-промышленного сектора экономики [4, 6]. Для оптимизации биотехнологических процессов трансформации техногенных ресурсов поставлена цель: изучить активность

микробного концентрата на основе мезофильных хемогетеротрофных микроорганизмов в отношении экстракции металлов из руд в составе отвалов Костомукшского горнодобывающего комбината.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Для изучения процессов бактериального выщелачивания металлов использованы сообщества хемотрофных бактерий, полученные при инкубировании проб руды Костомукшского ГОКа. Согласно литературным данным по месторождению [3] среднее содержание общего Fe составляет 32,2%, магнетитового Fe – 26,45%, S – 0,21%, P – 0,07%. Средний химический состав руды Основной залежи, %: SiO₂ – 48,01; TiO₂ – 0,09; Al₂O₃ – 2,71; Fe₂O₃ – 25,96; FeO – 15,96; MnO – 1,93; K₂O – 1,11; Na₂O – 0,52.

Измельченную руду массой 200 г с размером частиц 1 мм и меньше смешивали с 1 дм³ стерильной дистиллированной воды и инкубировали в термостате при 28 °С. При выделении чистых культур бактерий из микробных ассоциаций использовали методику предельных десятикратных разведений и посев микроорганизмов на элективные среды.

Для выделения Fe-восстанавливающих бактерий использована среда следующего состава (г): пептон – 4,0; глюкоза – 3,0; MgSO₄ – 0,1; CaCl₂ – 0,05; MnSO₄ – 0,01; FeCl₃ – 0,001; тиамин – 0,2 мг; биотин – 0,02 мг; (NH)₂Fe-лимоннокислый (закаисная соль) – 0,25; H₂O – 1 л. Кислотность среды до стерилизации устанавливается 7,0 с помощью 10%-х растворов NaOH и H₂SO₄.

Сульфат-восстанавливающие бактерии выделяли на среде Сильвермана и Люндгрена 9К, состоящей из двух растворов. Первый раствор (г): (NH₄)₂SO₄ – 3,0; K₂HPO₄ – 0,5; KCl – 0,1; MgSO₄ × 7H₂O – 0,5; Ca(NO₃)₂ × 4H₂O – 0,01, 700 мл H₂O. Второй раствор: в 300 мл дистиллированной воды растворяли 44,2 г FeSO₄ × 7H₂O и добавляют 1 мл 10N H₂SO₄. Растворы стерилизовали (при 1,0 атмосфере 20 минут) и смешивали перед посевом; pH среды – 2,5.

Для выделения силикатных бактерий использована среда Зака (г): MgSO₄ × 7H₂O – 0,15; NaCl – 0,15; MnSO₄ – 0,05; FeSO₄ – 0,05; K(AlSi₃O₈) – 2,0; CaCO₃ – 2,0; Ca₃(PO₄)₂ – 1,5; сахароза или крахмал – 20; агар – 15; H₂O – 1 л.

Для выделения гетеротрофов использован триптоно-соевый агар (ТУ 9385-009-11161893-2013), для выделения плесневых грибов – агар Сабура (ТУ 385-003-11161893-

2014) ООО «Sredoff».

В качестве критериев чистоты культуры использовали морфологическое однообразие клеток под микроскопом (за исключением полиморфных бактерий) и наличие одиночных колоний на агаризованных средах. Общее микробное число определяли с помощью подсчета колониеобразующих единиц (КОЕ) бактерий, выросших в результате посева 0,1 мл культуральной смеси на плотные питательные среды. Биологическое выщелачивание руды в присутствии микроорганизмов проводили в колбах Эрленмейера объемом 250 мл. Колбы помещали на шейкер (180 об/мин) при 27 °С и независимо кислородном режиме для приближения условий эксперимента к природным. Учитывалось, что в мезофильном диапазоне температур при бактериальной трансформации исходного сырья происходит переход металлов в растворимые соединения; генерация «окислителя» типа Fe^{3+} и растворение металла осуществляется в соответствии с реакцией

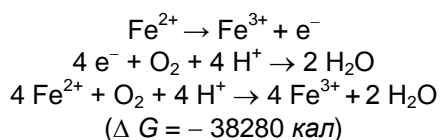


Схема лабораторного эксперимента соответствовала чановому выщелачиванию металлов из руды [8] и включала три этапа:

1. Получение рабочего раствора металла при помощи эффективных групп микроорганизмов.
2. Выщелачивание руды экспериментальным раствором.
3. Бактериальное доокисление осадка руды.

На протяжении 14 сут эксперимента отслеживались четыре основных параметра: количество клеток микроорганизмов, Eh – редокс потенциал среды, pH – кислотность, $[M]$ – концентрация металла. Количество бактерий определяли прямым подсчетом с помощью микроскопа MOTIC и модульного программного обеспечения ZEN («Carl Zeiss», Германия). На цифровых изображениях препаратов оценивали количество клеток в поле зрения, при этом использовали до 20 полей зрения, а полученные данные усредняли. Количество клеток в 1 мл среды рассчитывали по формуле

$$X = N_m \times 1,22 \times 10^7,$$

где X – число клеток в 1 мл; N_m – среднее арифметическое число клеток в m полях зрения; $1,22 \times 10^7$ – коэффициент, рассчитанный для объема анализируемой пробы – 2 мкл

площади покровного стекла – 324 мм² и площади поля зрения микроскопа – 0,0132 мм².

Определение окислительно-восстановительного потенциала проводили с помощью рН-метра «рН-METR № 5123» с использованием хлорсеребряного электрода сравнения (ЭВЛ-1МЗ.1) и измерительного электрода – (ЭПВ-10-100). Кислотность среды измеряли с помощью рН-метра «рН-673М». В эксперименте использовались электрод сравнения – хлорсеребряный (ЭВЛ-1МЗ.1) и измерительный электрод – стеклянный. Изменение концентрации металла (Fe^{3+} и Fe^{2+}) оценивалось с помощью метода комплексонометрического титрования трилоном Б по Резникову А. А. с соавторами [9]. Трилон Б представляет собой слабую четырехосновную этилендиаминтетрауксусную кислоту и дигидрат ее динатриевой соли ($Na_2H_2Y \times 2H_2O$). Для титрования использовали 0,05N раствор трилона Б. В три колбы на 100 мл последовательно добавляли 10 мл испытуемого выщелачивающего раствора, 3 мл 2N раствора NaOH и индикатор мурексид до появления малиновой окраски. Содержимое колб титровали трилоном Б до появления фиолетового цвета раствора. По результатам титрования рассчитывали средний объем трилона Б и массу металла (г/л) в испытуемом растворе.

Потеря металла в процессе бактериальной трансформации руды учитывалась, как результат переотложения в нерастворимые формы. Контрольные величины устанавливались при постановке реакции химического выщелачивания металла из раствора. Результаты исследования считались статистически достоверными при доверительном интервале 0,95.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

По результатам изучения качественного и количественного разнообразия микроорганизмов в биогенных растворах установлено присутствие шести основных групп микроорганизмов: железо-восстанавливающие бактерии, сульфат-восстанавливающие бактерии, силикатные бактерии, маслянокислые бактерии, представители псевдомонадного комплекса и плесневые грибы. Максимальная концентрация – до 37×10^6 клеток в 1 мл установлена для представителей рода *Pseudomonas*, для Fe-восстанавливающих бактерий – 31×10^6 клеток в 1 мл, сульфат-восстанавливающих – 12×10^6 клеток в 1 мл. Минимальное число клеток зарегистрировано для плесневых грибов (8×10^6) и маслянокислых бактерий (4×10^6) (рис. 1).

Обнаруженные в составе руды хемотрофные микроорганизмы образовывали на поверхности агаризованных сред одиночные ко-

лонии, отличающиеся по спектру микро- и макроскопических свойств: размеру, особенностям роста, профилю, цвету пигмента, характеру края, поверхности, консистенции. Доминировали три типа колоний:

1 – мутные, слизеобразные колонии с неровными очертаниями (*Pseudomonas*);

2 – круглые, кремовые с ровным краем и матовой поверхностью (*Thiobacillus*);

3 – серые с выраженным коричневым центром (*Leptothrix*) (рис. 2).

Морфологические признаки выделенных изолятов соответствовали палочковидным микробактериям (рис. 3), способным к движению и неподвижным. Бактерии отличались по форме

терминальных участков клетки и размеру – от $0,8 \pm 0,3$ мкм до $2,36 \pm 0,62$ мкм.

В результате проведенной серии экспериментов получены два типа выщелачивающих растворов: биогенный раствор, содержащий микроорганизмы и биогенный раствор без микроорганизмов. Второй вариант биогенного раствора подвергали центрифугированию в течение 15 мин при 5,5 тыс. оборотов в минуту. Бактериальные клетки из раствора удаляли за счет обработки последнего смесью 2% тимола и этанола в соотношении 1:1.

В первом случае, к 14 сут эксперимента количество извлеченного металла в процессе биовыщелачивания оказалось равным 4,28 г/л

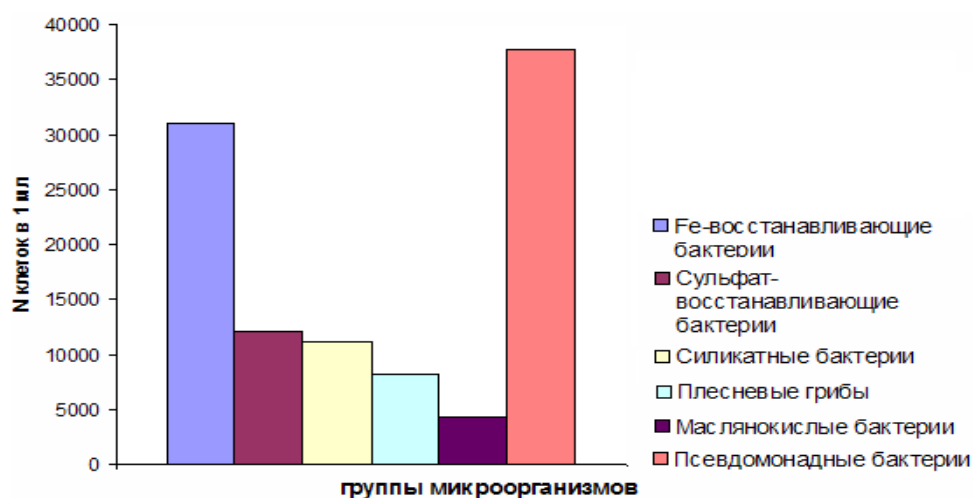


Рис. 1. Основные группы микроорганизмов, выделенные в составе руды Костомукшского месторождения

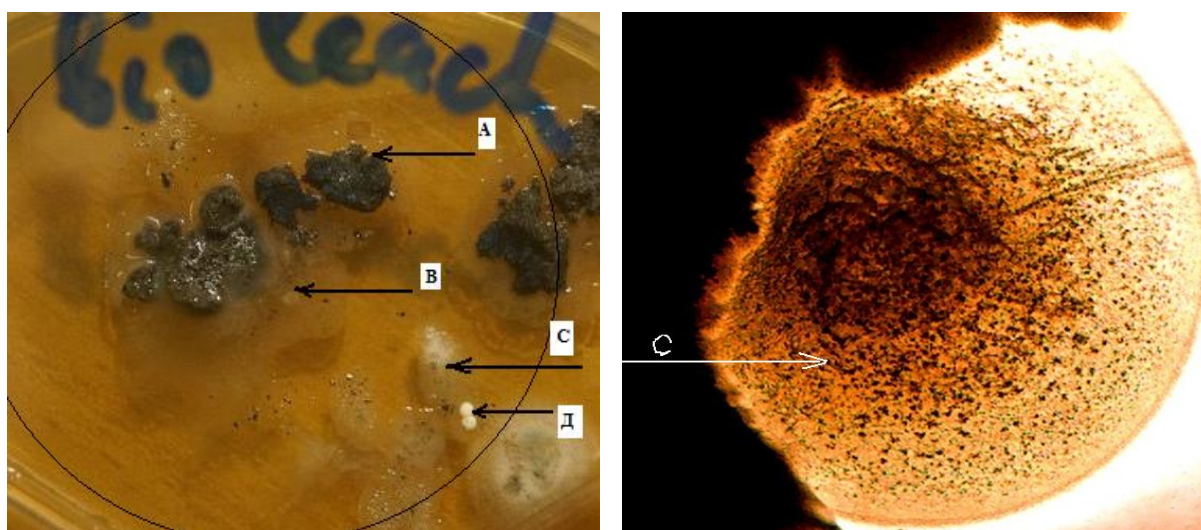


Рис. 2. Рост хемотрофов на агаризованной среде.
 А – фрагменты руды; В – слизеобразные колонии; Д – кремовые колонии;
 С – серые колонии с коричневым центром



Рис. 3. Морфологическое разнообразие хемогетеротрофов. А – монобактерии; В – фрагменты руды

или 76,1% при нулевых потерях в результате переотложения в нерастворимые формы (табл. 1).

Во втором варианте опыта количество извлеченного металла снизилось до 2,70 г/л (51,6 %), а потери в результате переотложения составили 11,4%. В обоих случаях процесс бивыщелачивания сопровождался увеличением редокс - потенциала среды и численности микроорганизмов (вариант опыта № 1) при постепенном закислении исследуемой среды. В контроле концентрация извлеченного металла не превышала 0,9 г/л (13,2%) при потерях в результате переотложения – 18,9%. Также наблюдались процессы противоположные опытным: процесс биовыщелачивания сопровождался увеличением pH исследуемой среды (рис. 4) при постепенном снижении редокс - потенциала (рис. 5).

Использование биогенных растворов, как с участием микроорганизмов (вариант 1), так и без них (вариант 2) существенно сказывался на изменении Eh культурального раствора. На 1 – 3 сут эксперимента величины Eh в 1 и 2 вариантах снижались, в среднем, на 80–150 мВ благодаря уменьшению концентрации Fe³⁺

и постепенному переходу Fe²⁺ в раствор. Далее Fe²⁺ окислялось мезофильными хемотрофами до Fe³⁺, что и приводило к увеличению Eh.

Численность бактерий за 14 сут эксперимента увеличилась почти в 13 раз. С 5×10⁷ клеток в 1 мл – в первые сутки до 64×10⁷ клеток в 1 мл – на 14-е сут процесса трансформации руды (рис. 6).

Максимальной численности хемотрофы достигали к концу эксперимента, что соответствовало наибольшим показателям Eh (680 мВ) благодаря увеличению скорости роста и окислительной активности микроорганизмов. В первом и втором варианте опыта процесс бактериального выщелачивания руды происходил в два этапа средней продолжительностью от 3 до 5–6 сут. На первом этапе (0–3-е сутки) различий в основных параметрах: количестве клеток микроорганизмов, Eh – редокс - потенциале среды, pH – кислотности и концентрации металла не обнаружено. На втором этапе (6–14-е сутки) наблюдалось активное окисление Fe²⁺ до Fe³⁺ при увеличении Eh, подкислении пульпы и росте числа клеток бактерий.

Таблица 1

Извлечение металла в процессе бактериальной трансформации руды

Вариант опыта	Выщелачивающий раствор	Извлечение		Потери, %
		г/л	%	
1	Биогенный с микроорганизмами	4,28	76,1	0
2	Биогенный без микроорганизмов	2,70	51,6	11,4
3	Химическое выщелачивание	0,90	13,2	18,9

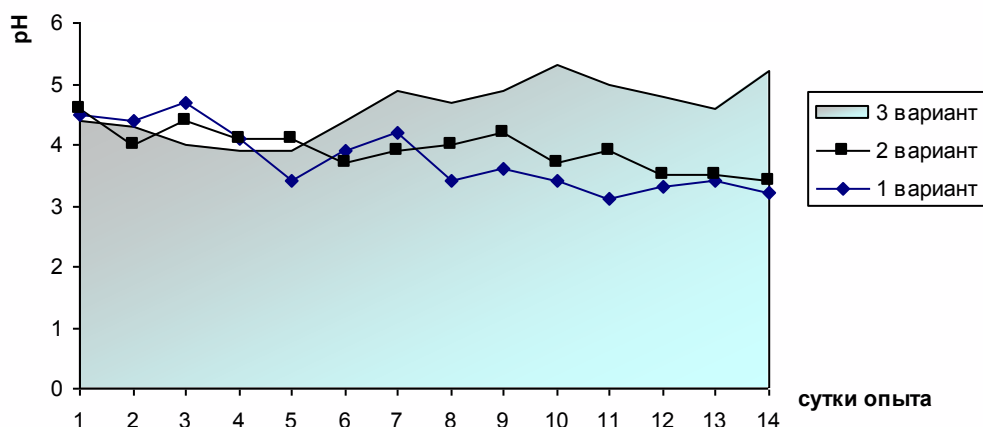


Рис. 4. Изменение pH раствора в процессе трансформации руды

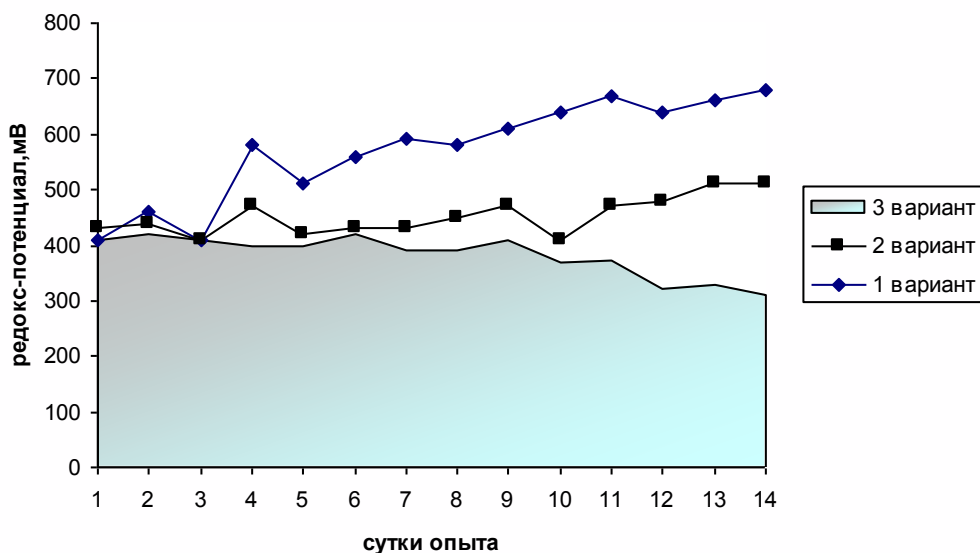


Рис. 5. Изменение редокс-потенциала (мВ) раствора в процессе трансформации руды

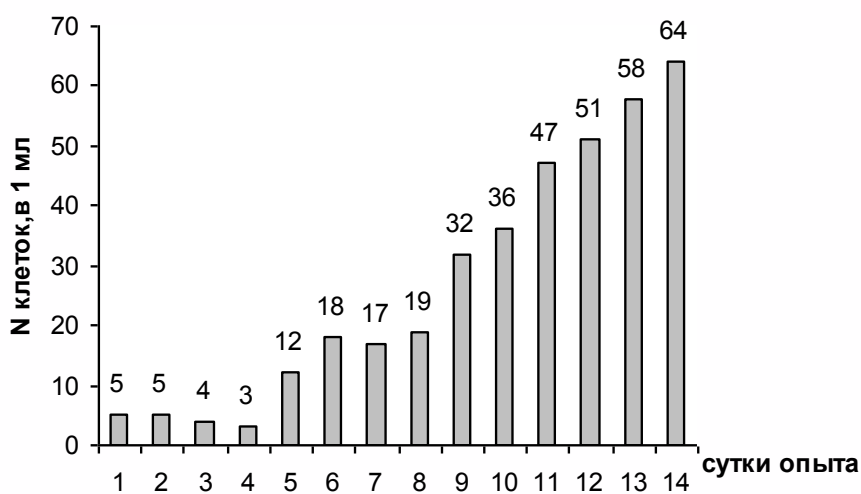


Рис. 6. Изменение количества бактерий (N клеток/мл $\times 10^7$) в процессе трансформации руды

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты свидетельствуют о ведущей роли хемотрофных мезофильных микроорганизмов в процессе трансформации руды. Благодаря их каталитической активности в ходе эксперимента зафиксировано увеличение выхода металла на 63% по сравнению с традиционным химическим выщелачиванием, предполагающее использование хлорирования в расплаве хлористых солей при температуре 105 °С, применение кислых тиомочевинных, щелочно-цианистых или иных растворов [2]. Такой результат, по-видимому, связан с тем, что биологическое выщелачивание металлов из техногенного сырья происходит в присутствии факультативных и облигатных литотрофных микроорганизмов при помо-

щи контактного механизма за счет прямого окисления микроорганизмами металлов в составе руды. В эксперименте наблюдался также феномен дополнительного окисления руды за счет биохимической активности микроорганизмов в растворе. Учитывая высокую численность псевдомонадного комплекса в составе биогенных растворов (до 37 800/мл) можно предположить, что бактериальная трансформация руды Костомукшского месторождения в основном контролируется гетеротрофными бактериями за счет окисления и возможного ацидолиза – выщелачивания с помощью органических соединений, образующихся в результате специфического метаболизма данной группы микроорганизмов [14].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бодуэн А.Я., Фокина С.Б., Петров Г.В., Серебряков М.А. Современные гидрометаллургические технологии переработки упорного золотосодержащего сырья // Современные проблемы науки и образования. 2014. N 6. URL: <http://www.Science-education.ru/article/viewid=15619/> (дата обращения: 11.08.2016).
2. Голик В.И., Комащенко В.И. Практика выщелачивания металлов из отходов переработки руд // Известия ТулГУ. Науки о Земле. 2016. N 3. С. 13–23.
3. Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Карелия в 2014 г. // Министерство по природопользованию и экологии Республики Карелия. Петрозаводск, 2014. 272 с.
4. Заулочный П.А., Седелникова Г.В. Биогеотехнология и ее использование в процессах переработки минерального сырья // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2009. N 6. С. 139–149.
5. Зоря В.Н., Коровушкин В.В., Пермяков А.А., Волынкина Е.П. Исследование минерального состава и кристаллической структуры железосодержащих компонентов техногенных отходов металлургического комплекса // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2015. Т. 58, N 5. С. 359–366.
6. Мелентьев Г.Б. Инновационная техноэкология и новые задачи технологической минералогии // Рациональное использование ресурсов. 2009. N 9. С. 40–51.
7. Совмен В.К., Гуськов В.Н., Белый А.В.,

- Кузина З.П., Дроздов С.В., Савушкина С.И., Майоров А.М., Закраевский М.П. Переработка золотосодержащих руд с применением бактериального окисления в условиях Крайнего Севера. Новосибирск: Наука, 2007. 144 с.
8. Польшкин С.И., Адамов Э.В., Панин В.В. Технология бактериального выщелачивания цветных и редких металлов. М.: Недра. 1982. 286 с.
9. Резников А.А., Муликовская Е.П., Соколов И.Ю. Методы анализа природных вод. М.: Недра, 1970. 488 с.
10. Торгоев И.А., Шамырканов У.М. Техногенные месторождения Кыргызстана // Вестник КРСУ. 2001. Т. 2, N 4. С. 149–153.
11. Усманова Т.В. Техногенные месторождения, сформировавшиеся на объектах горнопромышленного производства в Хакасии // Вестник науки Сибири. 2012. N 3 (2). С. 9–15.
12. Утилизация отходов – проблемы, пути решения // Аналитический обзор ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ. 2015. URL: http://www.extech.ru/files/anr_2015/anr_5.pdf/ (дата обращения 23.09.16).
13. Чайкина Г.М., Антонинова Н.Ю. Техногенные месторождения территорий Уральского федерального округа и проблема землепользования // Известия Самарского научного центра РАН. 2011. Т. 13, N 1. С. 1241–1245.
14. Sharma P., Verma A. Microbial Reclamation of Metals from Ores and Industrial Waste Waters // Indian Journal Microbiol. 2012. N 31(1). P. 1–26.

REFERENCES

1. Boduen A.Ya., Fokina S.B., Petrov G.V., Serebryakov M.A. Modern hydrometallurgical

technologies for processing resistant gold-containing raw materials. *Sovremennye problemy*

nauki i obrazovaniya [Modern problems of science and education]. 2014, no. 6. (in Russian) Available at: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=15619> (accessed 11.08.2016)

2. Golik V.I., Komashchenko V.I. The practice of leaching metals from ore processing waste. *Izvestiya TulGU. Nauki o Zemle* [Proceedings of Tula State University. Earth sciences]. 2016, no 3, pp. 13–23. (in Russian)

3. State report on the state of the environment of the Republic of Karelia in 2014. *Ministerstvo po prirodopol'zovaniyu i ekologii Respubliki Kareliya* [Ministry of Nature Management and Ecology of the Republic of Karelia]. Petrozavodsk, 2014, 272 p. (in Russian)

4. Zaulochnyi P.A., Sedel'nikova G.V. Biotechnology and its use in the processing of mineral raw materials. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal)* [Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal)]. 2009, no. 6, pp. 139–149. (in Russian)

5. Zorya V.N. Investigation of the mineral composition and crystal structure of iron-containing components of man-caused waste of the metallurgical complex. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Chernaya metallurgiya* [News of Higher Educational Institutions. Ferrous metallurgy]. 2015, vol. 58, no. 5, pp. 359–366. (in Russian)

6. Melent'ev G.B. Innovative technoecology and new problems of technological mineralogy. *Ratsional'noe ispol'zovanie resursov* [Rational use of resources]. 2009, no. 9, pp. 40–51. (in Russian)

7. Sovmen V.K., Gus'kov V.N., Belyi A.V., Kuzina Z.P., Drozdov S.V., Savushkina S.I., Majorov A.M., Zakraevskii M.P. *Pererabotka zolotonosnykh rud s primeneniem bakterial'nogo*

okisleniya v usloviyakh Krainego Severa [Processing of gold-bearing ores with the use of bacterial oxidation in the conditions of the Far North]. Novosibirsk, Nauka Publ., 2007, 144 p.

8. Pol'kin S.I., Adamov E.V., Panin V.V. *Tekhnologiya bakterial'nogo vyshchelachivaniya tsvetnykh i redkikh metallov* [Technology of bacterial leaching of non-ferrous and rare metals]. Moscow, Nedra Publ., 1982, 286 p.

9. Reznikov A.A., Mulikovskaya E.P., Sokolov I.Yu. *Metody analiza prirodnykh vod* [Methods of analysis of natural waters]. Moscow, Nedra Publ., 1970, 488 p.

10. Torgoev I.A., Shamyrganov U.M. Technogenic deposits of Kyrgyzstan. *Vestnik KRSU* [Bulletin of the KRSU]. 2001, vol. 2, no. 4, pp. 149–153. (in Russian)

11. Usmanova T.V. Technogenic deposits formed at mining facilities in Khakassia. *Vestnik nauki Sibiri* [Bulletin of Siberian Science]. 2012, no 3 (2), pp. 9–15. (in Russian)

12. Waste management – problems, solutions. *Analiticheskii obzor FGBNU NII RINKTsE* [Analytical Review of FGBNU Research Institute of RINKCE], 2015. (in Russian) Available at: http://www.extech.ru/files/anr_2015/anr_5.pdf/ (accessed 23.09.16)

13. Chaikina G.M., Antoninova N.Yu. Technogenic deposits in the territories of the Urals Federal District and the problem of land use. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN* [Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]. 2011, vol. 13, no. 1, pp. 1241–1245. (in Russian)

14. Sharma P., Verma A. Microbiol Reclamation of Metals from Ores and Industrial Waste Waters. *Indian Journal Microbiol.* 2012, no. 31(1), pp. 1–26.

Критерии авторства

Сидорова Н.А., Трофимова С.А. выполнили экспериментальную работу, на основании полученных результатов провели обобщение и написали рукопись. Сидорова Н.А., Трофимова С.А. имеют на статью равные авторские права и несут равную ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

Sidorova N.A., Trofimova S.A. carried out the experimental work, on the basis of the results summarized the material and wrote the manuscript. Sidorova N.A., Trofimova S.A. have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ
Принадлежность к организации

Наталья А. Сидорова
Петрозаводский государственный
университет,
К.б.н., доцент курса микробиологии
vanlis@petsu.ru

Светлана А. Трофимова
Петрозаводский государственный
университет,
К.б.н., доцент кафедры биологии
и методики обучения
trofimova.sa@mail.ru

Поступила 21.06.2016

AUTHOR'S INDEX
Affiliations

Natalia A. Sidorova
Petrozavodsk State University,
Ph.D. (Biology), Associate Professor
Microbiology Course
vanlis@petsu.ru

Svetlana A. Trofimova
Petrozavodsk State University,
Ph.D. (Biology), Associate Professor
Department of Biology and Methods of Teach-
ing
trofimova.sa@mail.ru

Received 21.06.2016