



УДК [669.213.6:576.8]:502.3

Автохтонные микробные сообщества из отходов кучного выщелачивания золотосодержащих руд: путь к решению проблемы загрязнения окружающей среды

М. П. Белых^{1,2}, С. В. Петров¹, И. Н. Стоянов¹, А. Ю. Чикин²,
Н. Л. Белькова^{2,3}

¹Иркутский научно-исследовательский институт благородных и редких металлов и алмазов, Иркутск

²Иркутский государственный университет, Иркутск

³Лимнологический институт СО РАН, Иркутск

E-mail: Belykhmarina606@gmail.com

Аннотация. Микробиологические и химические исследования автохтонных микробных сообществ отходов кучного выщелачивания (КВ) золота показали, что биодеструкция содержащихся там цианидов и тиоцианатов осуществляется ими при щелочных значениях pH в средах, содержащих 260 и 150 ПДК данных соединений соответственно. Разнообразие доминирующих представителей микробных ассоциаций, способных к разрушению цианидсодержащих соединений, определено по гену 16S рДНК и представлено родами *Hydrogenophaga* и *Pseudomonas*. Обсуждаются условия оптимизации культивирования и биотехнологический потенциал автохтонной микробиоты из отходов КВ.

Ключевые слова: кучное выщелачивание золотосодержащих руд, автохтонные микробные сообщества, молекулярно-генетическая идентификация, 16S рДНК, *Hydrogenophaga*, *Pseudomonas*.

Введение

Кучное выщелачивание (КВ) золотосодержащих руд – это процесс извлечения драгоценного металла из подготовленного и уложенного в специальный штабель минерального сырья раствором цианида натрия с последующим извлечением золота из циркулирующих растворов [3; 6]. Отходы КВ не подвергаются дальнейшей переработке и обычно размещаются на месте производства [3; 8], становясь потенциальными источниками загрязнения окружающей среды цианидсодержащими соединениями. Цианиды – это соли цианистоводородной кислоты. Они чрезвычайно ядовиты и экологически опасны. Регулярное поступление высоких концентраций цианидов в виде отходов золотодобывающей промышленности создаёт большую опасность для экосистемы в целом и для здоровья человека в частности.

На сегодняшний день для решения проблемы детоксикации промышленных отходов КВ преимущественно используются химические методы

[17]. Эти методы являются дорогостоящими, не исключают повторного загрязнения окружающей среды используемыми реагентами и эффективны для свободного цианида (HCN , CN^-) и цианидов, слабо связанных с металлами. Известно, что в процессе КВ значительная часть цианидов связывается в комплексные соединения с тяжёлыми металлами [9], которые устойчивы в природном окружении и могут разрушаться в биогеохимических преобразованиях. Изучение биодеструкции цианидсодержащих соединений открывает широкие возможности для развития новых экологически эффективных и экономически выгодных ремедиационных технологий очистки отходов КВ.

В ранее проведённых экспериментах показано, что культуры, изолированные из отходов золотодобывающей промышленности, способны разрушать цианиды и родственные им соединения, используя их для реализации своих физиологических функций [20; 22; 23]. Известен ряд штаммов *Pseudomonas stutzeri*, *P. putida*, *P. fluorescens*, *P. pseudoalcaligenes*, *Bacillus pumilus*, *Alcaligenes xylosooxidans*, *Thiobacillus thioparus*, *Paracoccus thiocyanatus*, *Thioalkalivibrio thiocyanoxidans* и др. [10; 17; 21 и др.], которые используются в технологиях обезвреживания отходов КВ в странах с тёплым климатом. Однако использование известных штаммов в регионах с резко континентальным климатом невозможно, так как возникает трудность в поддержании культур в активном функциональном состоянии при значительных суточных и сезонных колебаниях температур. В некоторых случаях отдельные члены микробных ассоциаций в виде изолированных культур не могут использовать химически стабильные соединения из-за энергетических барьеров [14], поэтому автохтонные микроорганизмы и их сообщества представляют большой биотехнологический потенциал для разработки методов биодegradации цианидсодержащих соединений до простых веществ и решения проблемы загрязнения окружающей среды.

Целью настоящего исследования является изучение автохтонных микробных сообществ из отходов КВ.

Материалы и методы

Отбор проб для исследования проводили в 2012 г. на одном из золоторудных месторождений на территории Республики Саха (Якутия). Пробы руды, переработанной методом КВ, заливали парафином, транспортировали и хранили до исследования при температуре 4 °С.

Химический анализ водной фазы руды проводили с использованием следующих методов: ионный состав кальция, магния и хлоридов измеряли титриметрическим методом (ПНД Ф 14.1:2.95–97, ПНД Ф 14.1:2.98–97, ПНД Ф 14.1:2.96–97, соответственно), сульфатов – турбидиметрическим (ПНД Ф 14.1:2.159–2000), цианидов и тиоцианатов – фотометрическим с пиридином и барбитуровой кислотой (ПНД Ф 14.1:2.56–96, ПНД Ф 14.1:2:4.156–99, соответственно), а общее солесодержание – гравиметрическим (ПНД Ф 14.1:2:4.114–97). Элементный состав металлов определяли методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой (ПНД Ф 14.1:2:4.135–98).

Для оптимизации условий культивирования и определения биотехнологического потенциала микробных сообществ отходов КВ проводили посев 1 мл водной вытяжки (1 г руды на 100 мл стерильной $H_2O_{\text{дист.}}$) в 150–200 мл селективной среды, рекомендованной [5; 10] ($г/дм^3$): K_2HPO_4 – 3,0; $CaCl_2$ – 0,25; $MgCl_2 \times 6H_2O$ – 0,01. Эта среда содержала предложенные нами модификации: с наличием или отсутствием $FeCl_3$ ($0,01 г/дм^3$) и $NaHCO_3$ ($0,5 г/дм^3$), с разными концентрациями цианидов ($NaCN$ 0,025, 0,07 и $0,25 г/дм^3$), тиоцианатов ($KSCN$ 0,025, 0,25 и $0,6 г/дм^3$) и смеси этих соединений (суммарная концентрация CN^- и SCN^- -ионов $0,35 г/дм^3$). В качестве дополнительного источника углерода добавляли ацетат натрия ($8,3 г/дм^3$) или сахарозу ($5,0 г/дм^3$), использовали следующие значения pH: 2, 8, 10 (рис. 1). Для предотвращения улетучивания цианида колбы инкубировали с резиновыми (для сред, содержащих CN^-) и ватно-марлевыми (для сред, содержащих SCN^-) пробками на орбитальном шейкере (New Brunswick Scientific, США) при $28^\circ C$ и 160 об/мин. Конечную концентрацию цианидов и тиоцианатов измеряли в экспериментах фотометрическим методом с пиридином и барбитуровой кислотой (ПНД Ф 14.1:2.56-96 и ПНД Ф 14.1:2:4.156-99, соответственно).

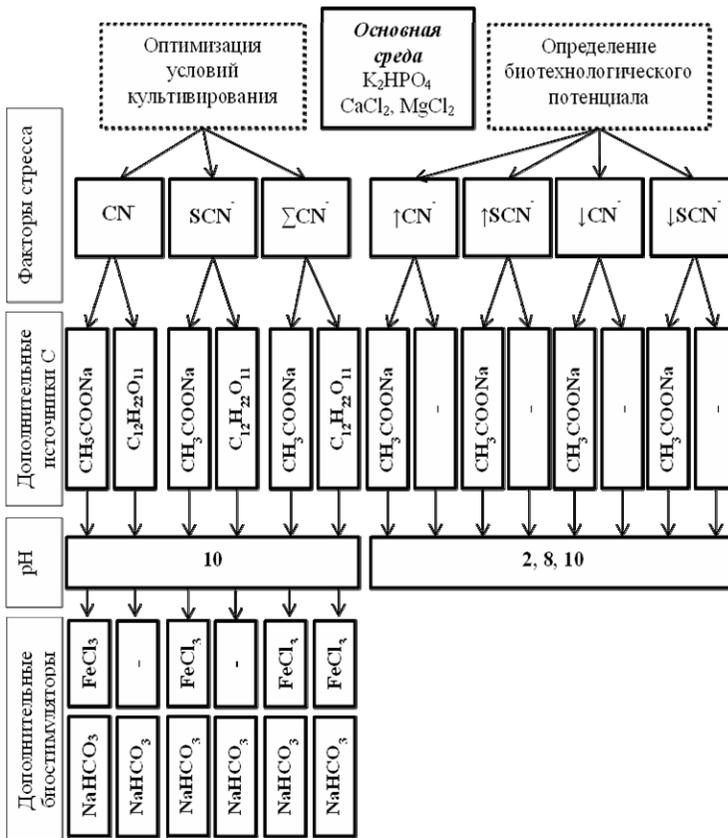


Рис. 1. Схема экспериментов по оптимизации условий культивирования и определения биотехнологического потенциала микробных сообществ отходов КВ

Кинетику роста накопительной культуры определяли путём измерения оптической плотности на спектрофотометре КФК-2-УХЛ 4.2 (Россия) при длине волны $\lambda = 590$ нм в кюветах объёмом 2,5 мл и толщиной 0,5 см. В качестве контроля использовали стерильную селективную среду без пробы. По полученным данным строили кинетические кривые роста бактерий в полулогарифмических координатах.

Идентификацию накопительных культур проводили молекулярно-генетическим анализом фрагментов гена 16S рРНК [4]. Выделение ДНК осуществляли коммерческим набором AxyPrep Bacterial Genomic DNA (Axygen Biosciences, США). Амплификацию вели на консервативных бактериальных праймерах (500L–1350R), ампликоны анализировали в агарозном геле, элюировали методом замораживания-оттаивания с последующим клонированием и секвенированием [4]. Нуклеотидные последовательности определяли на автоматическом секвенаторе ABI310A (ABI PRISM 310 Genetic Analyzer) в ЦПК «Геномика» СО РАН (г. Новосибирск). Сравнительный анализ полученных последовательностей проводили с помощью пакета программ FASTA [24]. Нуклеотидные последовательности полученных изолятов депонированы в международную базу данных и им присвоены следующие номера: HG514309–HG514358.

Результаты и обсуждение

Химический анализ водной фазы руды, переработанной методом КВ, показал наличие высоких концентраций сульфатов, цианидов и тиоцианатов и значительное содержание таких тяжёлых металлов, как медь, железо и мышьяк (табл.). В ходе добычи и обогащения руд резко интенсифицируются процессы окисления, приводящие зачастую к весьма высоким концентрациям сульфат-ионов и тяжёлых металлов [12]. За счёт выщелачивания меди, железа и мышьяка из исходного связанного состояния происходит их переход в подвижную форму в составе растворимых комплексов, в отходах КВ детектируются повышенные значения этих металлов по сравнению с ПДК. Кроме этого, в технологическом процессе КВ применяют относительно высокие концентрации цианидсодержащих соединений, что объясняет наличие в составе исследуемых образцов 267,1 и 2,8 мг/дм³ цианидов и тиоцианатов соответственно (см. табл.).

Таблица

Химический состав жидкой фазы руды, переработанной методом КВ

| Определяемые компоненты | Концентрация, мг/дм ³ | ПДК (водные объекты рыбохозяйственного назначения), мг/дм ³ |
|-------------------------|----------------------------------|--|
| рН, ед | 10,2 | – |
| Общее солесодержание | 2064,0 | – |
| Катионы | | |
| Кальций | 22,0 | 180,0 |
| Магний | н. д. | 40,0 |
| Анионы | | |
| Сульфаты | 355,1 | 100,0 |

Окончание табл.

| Определяемые компоненты | Концентрация, мг/дм ³ | ПДК (водные объекты рыбохозяйственного назначения), мг/дм ³ |
|-------------------------|----------------------------------|--|
| Хлориды | 35,5 | 300,0 |
| Цианиды | 267,1 | 0,05 |
| Тиоцианаты | 2,8 | 0,1 |
| Элементы | | |
| Медь | 280,0 | 0,001 |
| Цинк | 0,01 | 0,01 |
| Железо | 1,2 | 0,1 |
| Мышьяк | 1,6 | 0,05 |

Примечание: «н. д.» – концентрация компонента не детектирована

Учитывая, что отходы КВ в естественных условиях хранятся длительное время, их можно рассматривать как аналог накопительной культуры, в которой развивается особое специфическое микробное сообщество, способное расти в присутствии высоких концентраций цианистых соединений. Для оптимизации условий культивирования микробных ассоциаций в селективную среду как стрессовые факторы вводили цианид, тиоцианат или комплекс CN^- и SCN^- -ионов. Для активации автохтонной микробиоты в качестве биостимуляторов в среды с щелочной реакцией вносили дополнительные источники углерода (ацетат или сахарозу), гидрокарбонат натрия и/или хлорид железа (III).

В ходе определения кинетики роста накопительных культур из 10 предложенных нами модификаций среды S-образная кривая роста была отмечена в средах, содержащих тиоцианаты и комплекс CN^- и SCN^- -ионов (рис. 2). В прочих модификациях стабильный рост микроорганизмов не детектирован.

При использовании в селективных средах дополнительных источников углерода рост отмечен как с ацетатом натрия, так и с сахарозой (см. рис. 2, А). Ввиду того, что цианид способен вступать в химическую реакцию с некоторыми кето-группами (реакция Kiliani) [18], введения сахарозы или аналогичных источников углерода в питательные среды следует избегать, поэтому для биостимуляции автохтонного микробного сообщества, адаптированного к высоким концентрациям цианидсодержащих соединений, может быть использован ацетат натрия.

В модификациях, содержащих комплекс CN^- и SCN^- -ионов и хлорид железа (III), переход из лаг-фазы в фазу ускоренного роста накопительной культуры происходит после 210 ч культивирования (рис. 3, А). По-видимому, $FeCl_3$ выступает как ингибитор роста микробного сообщества и его использование в качестве биостимулятора нецелесообразно. Однако при введении хлорида железа (III) в среды с тиоцианатом рост культуры наблюдается после 72 ч и соответствует S-образной кривой (см. рис. 2, Б; 3, Б). Это объясняется тесной взаимосвязью биогеохимических циклов железа и серы [7].

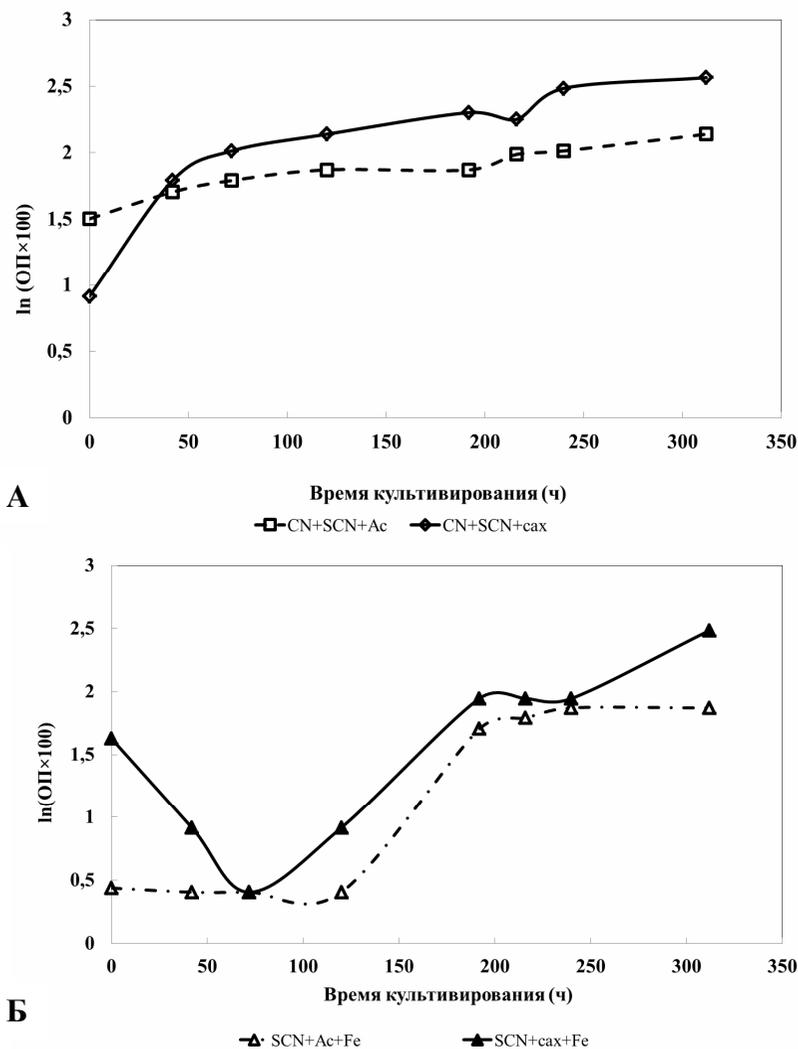


Рис. 2. Кривые роста накопительных культур из отходов КВ в модифицированных средах, содержащих комплекс CN^- и SCN^- -ионы (А) и тиоцианат (Б)

Наличие высоких концентраций цианидов и тиоцианатов в среде обитания микробных сообществ приводит не только к адаптации (появление цианидрезистентного дыхания [1; 2]) последних, но и к выработке ими ферментов, катализирующих деградацию цианистых соединений [19; 23]. Для определения биотехнологического потенциала микробных сообществ отходов КВ (см. рис. 1), использовали модификации среды с низкими и высокими концентрациями цианидов (NaCN 0,025 и 0,25 г/дм³) и тиоцианатов (KSCN 0,025 и 0,25 г/дм³), в качестве дополнительного источника углерода вводили ацетат натрия. В экспериментах кроме модификаций с щелочными значениями рН, которые характерны для отходов КВ, использовали моди-

фикации с кислыми условиями среды, так как в процессе добычи и обогащения руд при окислении сульфидов прослеживается подкисление среды [13; 15]: культивирование вели при 2, 8 и 10 рН (см. рис. 1). Известно, что синильная кислота под действием сильных кислот легко переходит в газообразное состояние [11], поэтому для предотвращения улетучивания HCN культивирование проводили с резиновыми пробками.

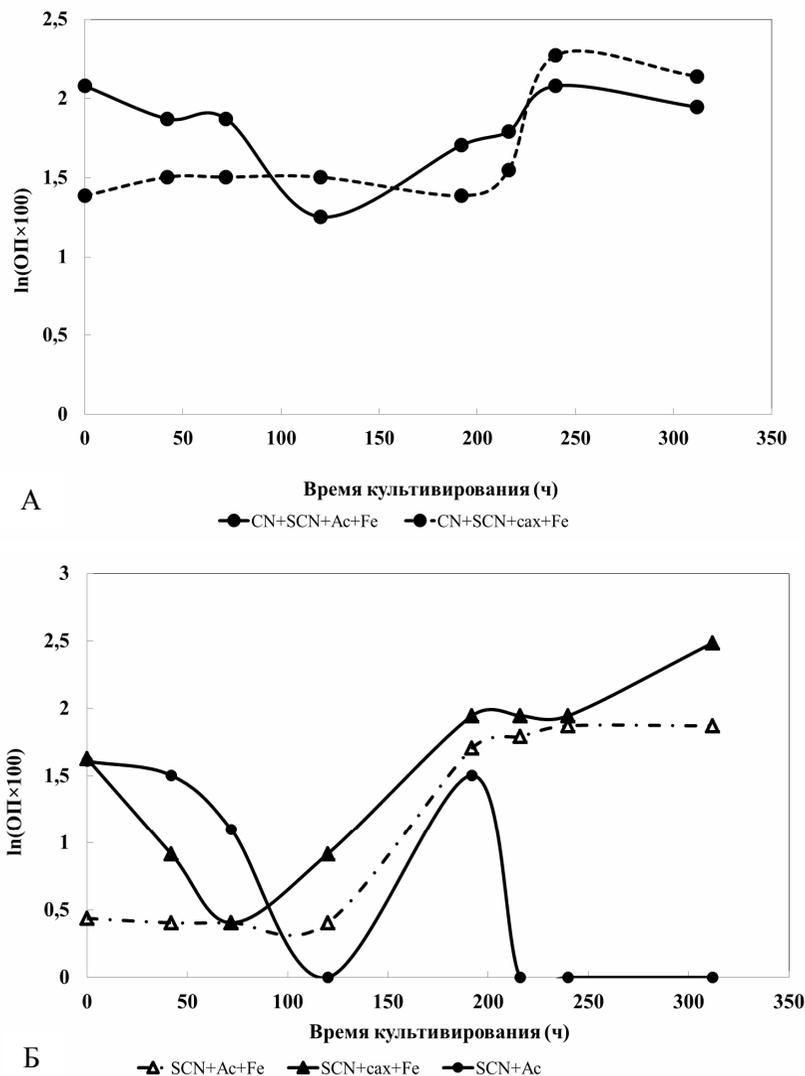


Рис. 3. Кривые роста накопительных культур из отходов КВ в модифицированных средах, содержащих комплекс CN⁻, SCN⁻-ионы и FeCl₃ (А) и тиоцианат и FeCl₃ (Б)

Эксперименты показали, что эффективная деструкция цианидов до содержания 0,4–3,3 мг/дм³ идёт в модификациях, содержащих 13 мг/дм³ (260 ПДК) этого соединения, как в щелочной, так и в кислой среде (рис. 4, А). Введение ацетата натрия как биостимулятора в данном случае не влияет на процесс разрушения цианида. Однако в модификациях, содержащих 130 мг/дм³ CN⁻ (2600 ПДК), значительная деградация цианида (до 38 мг/дм³) отмечается только в щелочной среде при введении дополнительного источника углерода. Другие модификации являются неэффективными для культивирования и стимуляции роста микробного сообщества отходов КВ.

Полное обезвреживание тиоцианатов (до содержания < 0,02 мг/дм³) прослеживается в модификациях с 15 мг/дм³ (150 ПДК) этого соединения при щелочных значениях рН (рис. 4, Б). В модификациях, содержащих 150 мг/дм³ (1500 ПДК) SCN⁻, его деградация (до 43,1 мг/дм³) также отмечается в щелочной среде, она более эффективна при введении ацетата натрия. Обращает на себя внимание детекция цианида (0,45–11,7 мг/дм³) во всех модификациях, где не идёт эффективная деструкция тиоцианата, что может быть связано с биохимическим преобразованием тиоцианата в цианид.

Таким образом, показано, что эффективная деструкция цианидов и тиоцианатов автохтонными микробными сообществами в отходах КВ происходит в средах, содержащих 260 и 150 ПДК данных соединений соответственно. Ацетат натрия при щелочных значениях рН выступает в качестве биостимулятора микробного сообщества и приводит к повышению ферментативной активности в присутствии 130 мг/дм³ CN⁻ и 150 мг/дм³ SCN⁻.

В результате идентификации накопительных культур, способных к деструкции цианидсодержащих соединений, выявлено невысокое разнообразие, представленное генотипами, относящимися к филуму Протеобактерий (классы Альфа-, Бета- и Гаммапротеобактерии). Сравнительный анализ показал, что процент гомологии с ближайшими родственниками варьирует от 98,3 до 99,9, что позволяет определить их родовую и видовую принадлежность [12]. Нами идентифицированы и зарегистрированы в международной базе данных представители родов *Pseudomonas* spp. (HG514309–HG514343), *Hydrogenophaga* spp. (HG514344–HG514356), *Brevundimonas* sp. (HG514358) и *Methylobacterium* sp. (HG514357).

Как видно из рис. 5, контрольная проба, не содержащая CN⁻ и SCN⁻ ионов, а также дополнительный источник углерода, характеризуется наибольшим разнообразием микробного сообщества, включающего разные штаммы *Pseudomonas* spp., *Hydrogenophaga* sp. и *Brevundimonas* sp. Отсутствие некоторых штаммов (*Pseudomonas* sp. и *Brevundimonas* sp.) в накопительных культурах, содержащих цианид и тиоцианат, объясняется ингибированием данными соединениями активности штаммов и/или отсутствием у них ферментативных систем, способных к детоксикации цианистых соединений.

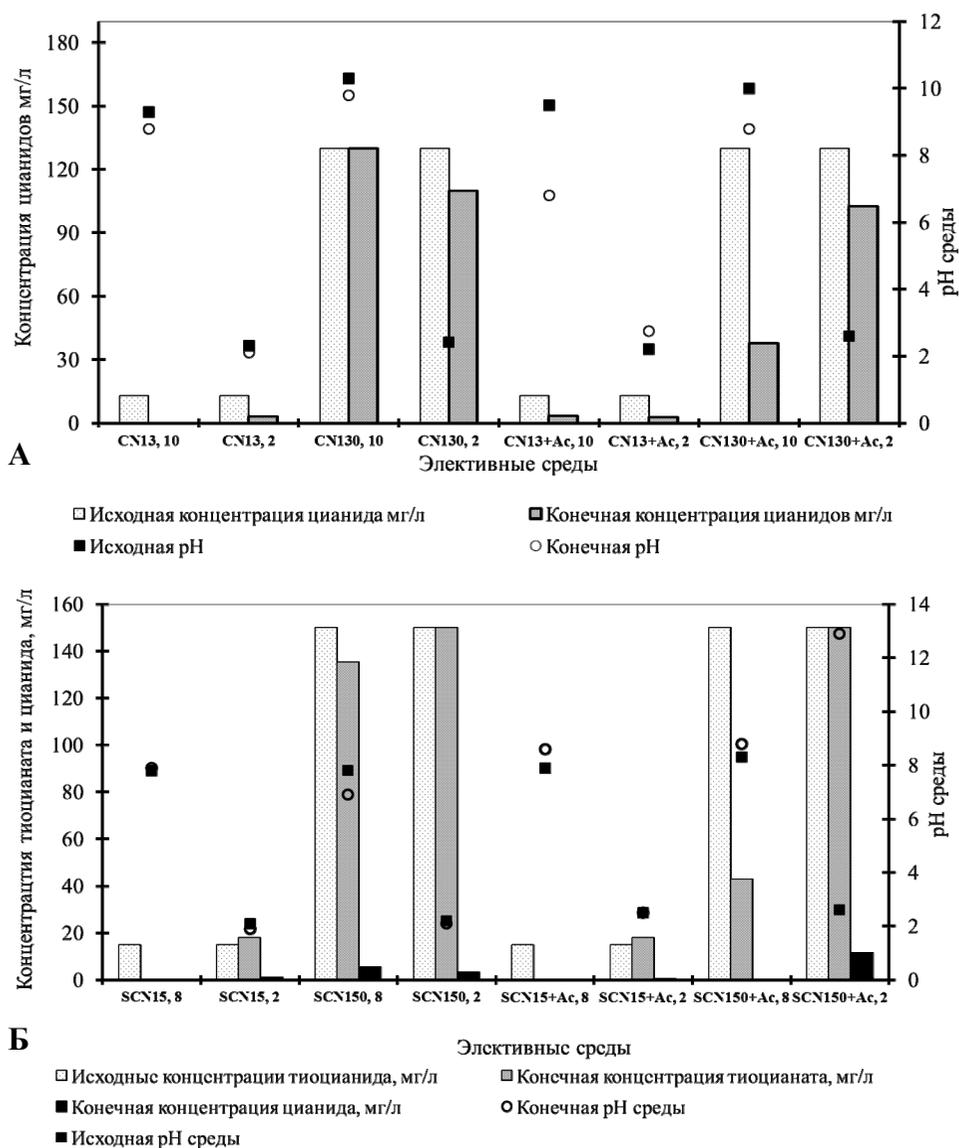


Рис. 4. Результаты химического анализа культуральной жидкости накопительных культур, способных к деструкции цианидов (А) и тиоцианата (Б) из отходов КВ в различных условиях среды

Из модифицированной среды, содержащей цианид и ацетат натрия, был изолирован штамм *Pseudomonas* sp., который так же детектирован в модификации, не имеющей в своём составе факторов стресса и содержащей только дополнительный источник углерода. Можно предположить, что в качестве единственного источника углерода и азота данный штамм использует только ацетат натрия.

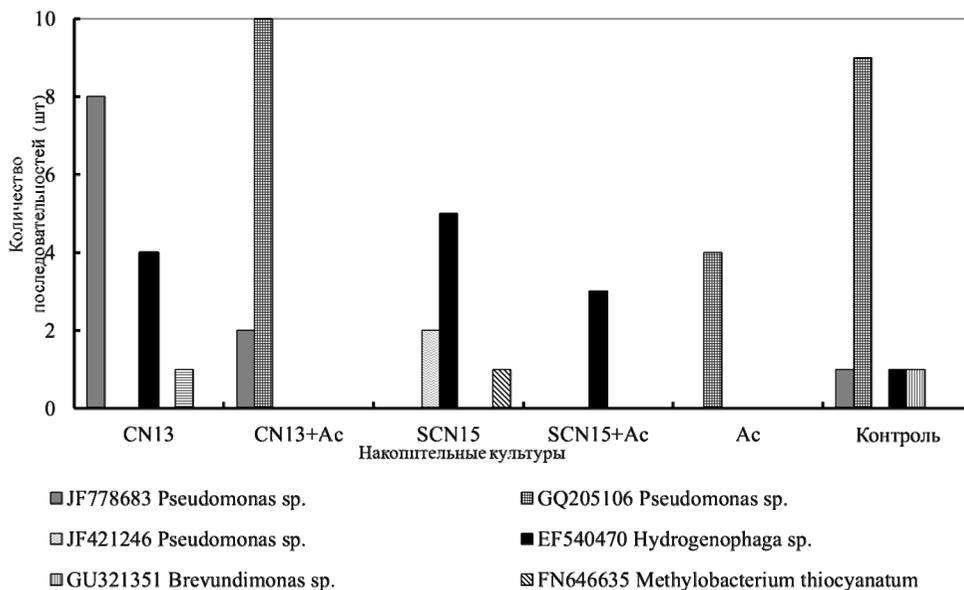


Рис. 5. Разнообразие микробных сообществ, выделенных из накопительных сред, в которых прослеживается деструкция цианидсодержащих соединений

Штаммы *Hydrogenophaga* spp. и *Pseudomonas* spp. были идентифицированы в накопительных средах как с цианидом, так и тиоцианатом, что свидетельствует о их способности к деструкции цианидсодержащих соединений и возможности использования в биотехнологии очистки отходов горнодобывающей промышленности. Дополнительно обезвреживание тиоцианатов проводит *Methylobacterium thiocyanatum*, который отмечен только в среде с SCN^- и способен использовать цианат и тиоцианат в качестве единственного источника азота и серы [16].

Выводы

1. Оптимальными условиями для роста микробного сообщества из отходов КВ являются модификации ранее предложенной среды [5; 10], содержащие в качестве источника азота как SCN^- ион, так и смесь цианида с тиоцианатом.

2. Для биостимуляции автохтонного микробного сообщества, адаптированного к высоким концентрациям цианидсодержащих соединений, рекомендуется использовать ацетат натрия.

3. Хлорид железа в модификациях, содержащих комплекс CN^- и SCN^- -ионов, ингибирует рост микробного сообщества, а в модификациях с тиоцианатом выступает в качестве биостимулятора.

4. Эффективная деструкция микробным сообществом цианидов и полная деградация тиоцианатов идёт в средах, содержащих 260 и 150 ПДК данных соединений, при щелочных значениях pH.

5. Ацетат натрия в щелочных условиях среды повышает ферментативную активность микробного сообщества, развивающегося в присутствии $130 \text{ мг/дм}^3 \text{ CN}^-$ и $150 \text{ мг/дм}^3 \text{ SCN}^-$.

6. Виды *Hydrogenophaga* spp. и *Pseudomonas* spp., разрушающие как цианиды, так и тиоцианаты, могут быть использованы в биотехнологии очистки отходов горнодобывающей промышленности.

Список литературы

1. Акименко В. К. Альтернативные оксидазы микроорганизмов / В. К. Акименко. – М. : Наука, 1989. – 263 с.
2. Акименко В. К. Цианидрезистентное дыхание микроорганизмов / В. К. Акименко // Успехи микробиологии. – 1981. – Т. 16. – С. 3–30.
3. Арнс В. Ж. Физико-химическая геотехнология / ред. В. Ж. Арнс. – М. : Изд-во Москов. гос. горного ун-та, 2001. – 656 с.
4. Белькова Н. Л. Молекулярно-генетические методы анализа микробных сообществ / Н. Л. Белькова // Разнообразии микробных сообществ внутренних водоемов России. – Ярославль : Изд-во ООО «Принтхаус», 2009. – С. 53–63.
5. Выделение аборигенного сообщества бактерий, способного к утилизации цианида, тиоцианата и аммония из стоков металлургического завода / Н. В. Григорьева [и др.] // Прикладная биохимия и микробиология. – 2008. – № 5. – С. 554–558.
6. Дементьев В. Е. Кучное выщелачивание золота и серебра / В. Е. Дементьев, Г. Я. Дружинина, С. С. Гутков. – Иркутск : ОАО «Иргиредмет», 2004. – 352 с.
7. Заварзин Г. А. Введение в природоведческую микробиологию / Г. А. Заварзин, Н. Н. Колотилова. – М. : Университет, 2001. – 256 с.
8. Каравайко Г. И. Роль микроорганизмов в выщелачивании металлов из руды / Г. И. Каравайко, С. И. Кузнецов, А. И. Голомзик. – М. : Наука, 1972. – 248 с.
9. Комплексные соединения [Электронный ресурс] / Н. Т. Кузнецов [и др.]. – МИТХТ, 2001. – URL : http://www.alhimik.ru/compl_soed/content.htm.
10. Механизм деструкции цианида и тиоцианата ассоциацией штаммов *Pseudomonas putida* и *Pseudomonas stutzeri* / Н. В. Григорьева [и др.] // Микробиология. – 2006. – № 3. – С. 320–328.
11. Некрасов Б. В. Основы общей химии / Б. В. Некрасов. – М. : Химия, 1973. – Т. 2. – 656 с.
12. Пиневиц А. В. Микробиология. Биология прокариот / А. В. Пиневиц. – СПб. : Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2007. – Т. 1. – 347 с.
13. Птицын А. Б. Теоретическая геохимия / А. Б. Птицын. – Новосибирск : Гео, 2006. – 180 с.
14. Экология микроорганизмов / А. И. Нетрусов [и др.]. – М. : Академия, 2004. – 272 с.
15. Юргенсон Г. А. Минеральная ассоциация в гидрогенном осадке дренажных вод месторождения вольфрама Антонова гора (Восточное Забайкалье) / Г. А. Юргенсон, Л. В. Замана, Е. Н. Котова // Литосфера. – 2009. – № 2. – С. 87–94.
16. A novel pink-pigmented facultative methylotroph, *Methylobacterium thiocyanatum* sp. nov., capable of growth on thiocyanate or cyanate as sole nitrogen sources / A. P. Wood [et al.]. // Arch Microbiol. – 1998. – Vol. 169, N 2. – P. 148–58.
17. Akcil A. Destruction of cyanide in gold mill effluents: biological versus chemical treatments / A. Akcil // Biotechnol. Adv. – 2003. – N 21. – P. 501–511.

18. Bacterial degradation of cyanide and its metal complexes under alkaline conditions / V. M. Luque-Almagro [et al.] // Appl. Environ. Microbiol. – 2005. – N 71. – P. 940–947.
19. Baxter J. The impact of bioaugmentation on metal cyanide degradation and soil bacteria community structure / J. Baxter, S. P. Cummings // Biodegradation. – 2004. – N 17. – P. 207–217.
20. Dubey S. K. Biological cyanide destruction by microorganisms / S. K. Dubey, D. S. Holmes // World J. Microbiol. Biotechnol. – 1995. – Vol. 11. – P. 257–265.
21. Gupta N. Enzymatic mechanism and biochemistry for cyanide degradation: a review / N. Gupta, C. Balomajumder, V. K. Agarwal // J. of Hazardous Materials. – 2010. – N 176. – P. 1–13.
22. Johnson B. Biological removal of sulfurous compounds from inorganic wastewaters / B. Johnson // Environmental technologies to treat sulfur pollution: principles and engineering. – London : IWA Publishing. – 2000. – P. 175–205.
23. Knowles J. Microorganisms and Cyanide / J. Knowles // Bacteriological Reviews, Sept. – 1976. – Vol. 40, N 3. – P. 652–680.
24. Sequence similarity searching. FASTA [Electronic resource] – URL: <http://www.ebi.ac.uk/Tools/sss/fasta>.

Autochthonous Microbial Communities from the Wastes of Heap Leaching of Gold-Bearing Ores: the Way of Solving the Problem of Environmental Pollution

M. P. Belykh^{1,2}, V. F. Petrov¹, I. N. Stoyanov¹, A. Yu. Chikin²,
N. L. Belkova^{2,3}

¹ *Research Institute of Precious and Rare Metals and Diamonds IRGIREDMET, Irkutsk*

² *Irkutsk State University, Irkutsk*

³ *Limnological Institute SB RAS, Irkutsk*

Annotation. Microbiological and chemical research of autochthonous microbial communities of the wastes of heap leaching showed that biodestruction of cyanides and thiocyanates could occur under alkaline conditions. In this case, their content is 260 ppm and 150 ppm, respectively. The diversity of dominant representatives of microbial associations which are able to destruct cyanide-bearing compounds was determined in accordance with 16S rDNA and is presented by species of *Hydrogenophaga* and *Pseudomonas*. The optimization conditions of cultivation and biotechnological potential of autochthonous microbiota from the wastes of heap leaching are discussed.

Key words: heap leaching of gold-bearing ores, autochthonous microbial communities, molecular-genetic identification, 16S rDNA, *Hydrogenophaga*, *Pseudomonas*.

Белых Марина Петровна
аспирант, инженер
Иркутский научно-исследовательский
институт благородных и редких металлов
и алмазов «Иргиредмет»
664025, г. Иркутск, бульвар Гагарина, 38

Belykh Marina Petrovna
Postgraduate, Engineer
Research Institute of Precious and Rare
Metals and Diamonds IRGIREDMET
38 Gagarin Blvd., Irkutsk, 664025
phone: (3952)33-07-81

тел.: (3952)33–07–81
Иркутский государственный университет
664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1
тел.: (3952)68–32–48
e-mail: Belykhmarina606@gmail.com

Irkutsk State University
1, K. Marx st., Irkutsk, 664003
tel.: (3952)68–32–48
e-mail: Belykhmarina606@gmail.com

Петров Сергей Владимирович
ведущий научный сотрудник
Иркутский научно-исследовательский
институт благородных и редких
металлов и алмазов «Иргиредмет»
664025, г. Иркутск, бульвар Гагарина, 38
тел.: (3952)33–07–81
e-mail: svpetrov@mail.ru

Petrov Sergey Vladimirovich
Leading Research Scientist
Research Institute of Precious and Rare
Metals and Diamonds IRGIREDMET
38, Gagarin blvd., Irkutsk, 664025
tel.: (3952)33–07–81
e-mail: svpetrov@mail.ru

Стоянов Иван Николаевич
заведующий аналитической группой
Иркутский научно-исследовательский
институт благородных и редких металлов
и алмазов «Иргиредмет»
664025, г. Иркутск, бульвар Гагарина, 38
тел.: (3952)33–07–81
e-mail: stoyanov_i@mail.ru

Stoyanov Ivan Nikolaevich
Head of Analytical Group
Research Institute of Precious and Rare
Metals and Diamonds IRGIREDMET
38, Gagarin blvd., Irkutsk, 664025
tel.: (3952)33–07–81
e-mail: stoyanov_i@mail.ru

Чикин Андрей Юрьевич
доктор технических наук, профессор
Иркутский государственный университет
664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1
тел.: (3952)68–32–48
e-mail: anchik53@mail.ru

Chikin Andrey Yuryevich
Doctor of Sciences (Technics), Professor
Irkutsk State University
1, K. Marx st., Irkutsk, 664003
tel.: (3952)68–32–48
e-mail: anchik53@mail.ru

Белькова Наталья Леонидовна
кандидат биологических наук, старший
научный сотрудник
Лимнологический институт СО РАН
664033, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3
тел.: (3952)42–54–15
Иркутский государственный университет
664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1
тел.: (3952) 24–18–70
e-mail: belkovan@mail.ru
belkova@lin.irk.ru

Bel'kova Natalia Leonidovna
Candidate of Sciences (Biology)
Senior Research Scientist
Limnological Institute SB RAS
3, Ulan-Batorskaya st., Irkutsk, 664033
tel.: (3952)42–54–15
Irkutsk State University
1, K. Marx st., Irkutsk, 664003
tel.: (3952) 24–18–70
e-mail: belkovan@mail.ru
belkova@lin.irk.ru