

## ПРИМЕНЕНИЕ БИОТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ ТУВЫ

Г. Р. Монгуш<sup>1</sup>



*Аннотация:* в работе рассмотрено понятие «биотехнология», развитие и преобразование биотехнологии, а также возможность применения ее в гидрометаллургии. Описан метод применения бактерий при биовыщелачивании драгоценных металлов. В ходе работы предложено технологическая схема переработки мышьяковистых отходов комбината «Тувакобальт».

*Ключевые слова:* биотехнология, бактерии, биовыщелачивание, технология, переработка, Тувакобальт, Тува.

## APPLICATION OF BIOTECHNOLOGY FOR PROCESSING MINERAL DEPOSITS OF TUVA

G. R. Mongush

*Abstract:* The concept of "biotechnology", its development and transformation among with the possibility of its application in hydrometallurgy is considered in the article. The method of application of bacteria is described at biolixiviation of precious metals. Article offers the technological scheme of processing arsenic waste at the "Tuvacobalt" industrial complex.

*Keywords:* biotechnology, bacteria, biolixiviation, technology, processing, Tuvacobalt, Tuva.

Среди ученых нет единого точного определения понятия «биотехнология». Можно сказать, что биотехнология как наука

---

<sup>1</sup> Монгуш Григорий Романович – инженер Тувинского Института комплексного освоения природных ресурсов Сибирского отделения РАН (ТувИКОПР СО РАН). Научный руководитель – Котельников Валерий Ильич, ученый секретарь ТувИКОПР СО РАН.



изучает методы получения полезных для человека веществ и продуктов в управляемых условиях, используя микроорганизмы, клетки животных и растений или изолированные из клеток биологические структуры. Биотехнология как метод позволила управлять клеточным биосинтезом микроорганизмов, но биотехнология — понятие более широкое, чем микробный синтез, поскольку используются не только микроорганизмы, но и культуры растительных и животных тканей, протопласты, клеточные ферменты и любые биологические системы, способные к биосинтезу или биоконверсии (Биотехнология, 1999).

В настоящее время разработка и освоение биотехнологии занимают важное место в деятельности практически всех стран. Достижение превосходства в биотехнологии является одной из центральных задач в экономической политике развитых стран. Лидерами биотехнологии являются сегодня США и Япония, накопившие многолетний опыт применения биотехнологий для сельского хозяйства, фармацевтической, пищевой и химической промышленности. Прочное положение в производстве ферментных препаратов, аминокислот, белка, медикаментов занимают страны Западной Европы (ФРГ, Франция, Великобритания), а также Россия. Эти государства характеризуются мощным потенциалом новой техники и технологии, интенсивными фундаментальными и прикладными исследованиями в различных областях биотехнологии.

Человек использовал биотехнологию многие тысячи лет: люди занимались пивоварением, пекали хлеб, получали кисломолочные продукты, применяли ферментации для получения лекарственных веществ и переработки отходов. Но только новейшие методы био-

технологии, включая методы генетической инженерии, основанные на работе с рекомбинантными ДНК, привели к «биотехнологическому буму», свидетелями которого являемся мы в настоящее время. Новейшие технологии генетической инженерии позволяют существенно усовершенствовать традиционные биотехнологические процессы, а также получать принципиально новыми, ранее недоступными способами разнообразные ценные продукты.

Развитие и преобразование биотехнологии обусловлено глубокими переменами, происшедшими в биологии в течение последних 25–30 лет. Основу этих событий составили новые представления в области наследственности и методические усовершенствования, которые приблизили человечество к познанию превращений ее материального субстрата и проложили дорогу новейшим промышленным процессам. Помимо этого, ряд важнейших открытий в других областях также повлиял на развитие биотехнологии (см. Таблицу 1).

Таблица 1. Области науки, новейшие результаты которых важны для развития биотехнологии.

Генетическая инженерия	Технология рекомбинантных ДНК.
Биокатализ	Ферменты (выделение, иммобилизация). Целые микробные клетки (иммобилизация, стабилизация).
Иммунология	Моноклональные антитела
Технология ферментации	Производство продуктов, Переработка отходов

Использование научных достижений и практические успехи биотехнологии тесно связаны с фундаментальными исследова-



ниями и реализуются на самом высоком уровне современной науки. В этом плане нельзя не отметить удивительную научную многоликость биотехнологии: ее развитие и достижения теснейшим образом связаны и зависят от комплекса знаний не только наук биологического профиля, но также и многих других (генетика, химическая технология, биохимия, микробиология, электроника, химия, научные основы получения пищевых продуктов, биохимическая технология, биоинженерия, технология пищевой промышленности, механическая технология)

Биотехнология вторгается в металлургию и горнодобывающую промышленность, добычу нефти. Развивается новая отрасль — биогеотехнология.

### **Бактерии**

Существует множество открытия бактерий, микроорганизмов способствующих извлечению благородных металлов.

Честь открытия «живого» золота принадлежит Д. Халлбауэру из Йоханнесбурга. В 1979 г. он описал нитчатые формы самородного золота из руд, залегающих в месторождении — супергиганте Витватерсранд. Столь необычные сгустки золота, по мнению ученого, образовались на месте чехлов нитчатых бактерий. Но в 1991 г. Дж. Уоттерсону из проб, взятых на знаменитых золотых россыпях Аляски, удалось выделить самородное золото в виде гирлянд микроскопических пустотелых шариков. По размерам и форме они точно соответствовали почвенным бактериям.

Необычные агрегаты золота образуются в результате полного замещения бактериальных телец металлом и поэтому имеют вид микроскопических шариков или простых, спирально закру-



ченных и ветвящихся нитей диаметром около 0,002 мм. Если золотом замещаются целые бактериальные колонии, то размер агрегатов достигает нескольких миллиметров.

Оказывается, у старателей, ищущих золотые самородки, есть огромное количество микроскопических помощников — бактерий, поглощающих из среды токсические золотосодержащие соединения и выделяющих чистое золото.

Исследователи провели анализ золотых самородков, найденных на территории двух австралийских золотых приисков, находящихся на расстоянии 3400 км друг от друга: в Новом Южном Уэльсе и Квинсленде. При этом были обнаружены структуры, судя по всему, представляющие собой останки бактерий, заключенные в оболочку из золота.

Генетический анализ выявил во входящей в состав золотых зерен бактериальной биопленке ДНК 30 видов бактерий. Останки представителей одного из них, идентифицированного как *Ralstonia metallidurans*, присутствуют на самородках из обоих приисков, но не содержатся в окружающей почве.

*R. metallidurans* могут жить в среде, содержащей токсические хлориды металлов, в том числе золота. Бактерии поглощают ядовитые соединения и таким образом обезвреживают окружающую среду.

Содержащие хлорид золота комплексы встречаются в природе очень редко, поэтому некоторые специалисты считают, что в процессе образования самородков задействованы также химические комплексы, содержащие тиосульфат золота. Однако способ-

ность бактерий разлагать соединения этой группы на настоящий момент не изучена.

Потенциальными областями применения открытия является выявление новых месторождений по присутствию в почве определенных видов бактерий, а также использование бактерий для добычи золота из бедных руд, а возможно, и из морской воды. Технология таких установок давно разработана (Недолужко, 2006), вопрос за малым – сделать ее рентабельной.

### **Бактериальное выщелачивание**

Бактериальное выщелачивание, избирательное извлечение химических элементов из многокомпонентных соединений посредством их растворения микроорганизмами в водной среде. Благодаря бактериальному выщелачиванию появляется возможность извлекать из руд, отходов производства и т. д. ценные компоненты (медь, уран и др.) или вредные примеси (например, мышьяк в рудах черных и цветных металлов). Впервые запатентовано в США (1958) применительно к извлечению меди и цинка.

Существенная интенсификация процесса выщелачивания достигается в присутствии бактерий. Например, тионовые бактерии *Thiobacillus ferrooxidans* могут применяться для выщелачивания меди, никеля, цинка, мышьяка, кадмия, золота и других металлов. В России и Канаде разрабатываются технологии бактериального выщелачивания мышьяка и вскрытия тонковкрапленного золота из упорных золотосодержащих концентратов перед их цианированием. Это позволяет исключить дорогостоящий процесс обжига, загрязняющий атмосферу ядовитыми соединениями мышьяка (Полькин, 1969).



Упорные руды характеризуются тонковкрапленным (субмикроскопическим) трудно вскрываемым золотом, присутствием минералов сурьмы, меди, мышьяка, двухвалентного железа, а также сульфидов и углистых сланцев. Для переработки этих руд требуется дополнительные операции, что влечет за собой дополнительные затраты.

Бактериальное выщелачивание позволяет решить проблему переработки труднообогатимых руд.

Проводится поиск новых видов микроорганизмов, которые способны функционировать не только в кислой, но и в нейтральной и в щелочной средах.

Как показали опыты, проведенные в СССР и в Индии, специальное внесение бактерий в рудную массу необязательно. Путем адаптации с использованием различных мутагенных факторов можно получить культуру со свойствами, необходимыми для ее промышленного применения.

Бактериальные методы извлечения золота из руд базируются на результатах изучения микрофлоры крупных золоторудных месторождений, позволивших выделить культуры доминирующих видов бактерий и грибов.

Установлено, что повышенной активностью в процессе растворения золота обладают представители родов *Bacillus*, *Bacterium*, *Chromobacterium*, а также полученные на основе индуцированного мутагенеза штаммы бактерий *Bac. mesentericus niger* 12 и 129.

Микроскопические грибы, в отличие от бактерий, способны аккумулировать золото из растворов. Наиболее эффективны представители родов *Aspergillus niger* и *Aspergillus oryzae*.

В процессах бактериального выщелачивания золота определяющая роль принадлежит продуктам микробного синтеза: аминокислотам, пептидам, белкам и нуклеиновым кислотам. Углеводы в растворении золота участия не принимают.

Экспериментально установлено, что в кислой среде белки осаждают золото, а в щелочной — растворяют. Солерастворимые белки микробного синтеза существенно лучше действуют на золото, чем глобулин животного происхождения.

Реакционная способность пептидов зависит от их молекулярного веса: чем он меньше, тем выше растворимость золота.

Одной из наиболее активных по отношению к золоту группой бактерий является разновидность, относящаяся к виду *Aeromonas*. И. Парес, изучавший бактериальное выщелачивание золота, пришел к следующим выводам: наиболее сильной растворяющей способностью обладают бактерии, отобранные на самих золотоносных месторождениях; растворение Au осуществляется в несколько этапов (скрытая фаза, фаза нарастания интенсивности выщелачивания и стабильная фаза), примерно через 12 месяцев интенсивность выщелачивания резко снижается; бактерии, активно действующие на золото, разрушаются обычными микроорганизмами, живущими в воздухе; на растворение золота в числе других факторов большое влияние оказывает состав питательной среды.

В Иркутском государственном институте редких металлов проводились эксперименты по бактериальному выщелачиванию





золота из руд различных месторождений. Изучен состав рудничных вод и пород с целью получения культур, способных интенсифицировать процесс выщелачивания золота.

Установлены следующие микроорганизмы: Bacillus, Bacterium, Chromobacterium, Pseudomonas, Micrococcus, Sarcina, Thiobacillus. Показано, что в присутствии продуктов метаболизма бактерий выщелачивание протекает быстрее (в 2-4 раза). Еще большая растворимость золота может быть достигнута путем разрушения клеточных оболочек различными реагентами (до 10 – 18 мг/л).

Простота аппаратуры для бактериального выщелачивания, возможность быстрого размножения бактерий, особенно при возвращении в процесс отработанных растворов, содержащих живые организмы, открывает возможность не только резко снизить себестоимость получения ценных полезных ископаемых, но и значительно увеличить сырьевые ресурсы за счет использования бедных, забалансовых и потерянных (например, в целиках) руд в месторождениях, отвалов из отходов обогащения, пыли, шлаков и др. В перспективе бактериальное выщелачивание открывает возможности создания полностью автоматизированных предприятий по получению металлов из забалансовых и потерянных руд непосредственно из недр Земли, минуя сложные горнообогатительные комплексы.

### **Сырьевая база Республики Тыва**

Республика Тыва обладает уникальным неосвоенным природно-ресурсным потенциалом. Здесь выявлены месторождения каменных углей, черных, цветных, благородных и редких метал-



лов, нерудного сырья, подземных питьевых и минеральных вод. Разведано более 20 месторождений полезных ископаемых.

Горно-металлургический комплекс обеспечен промышленными запасами комплексных серебро-золото-медно-никель-кобальтовых арсенидных руд. Ресурсный потенциал топливно-энергетического комплекса представлен крупными запасами коксующихся и энергетических каменных углей.

Сырье для стройиндустрии: выпуск высокосортного асбестового волокна; несортовая асбестомасса, пригодная для изготовления теплоизоляционных материалов и использования в качестве добавок в асфальтобетонной смеси при строительстве автодорог с твердым покрытием; песчано-гравийные смеси, кирпичные глины, пески строительные для силикатных изделий, месторождения мраморизованных известняков и мраморов. Всего разведано более 20 месторождений различных строительных материалов.

В нашей республике в основном золото добывается россыпное. Организации, предприятия, добывающие золото на территории республики Тыва: ООО «Восток», ООО «ТГРЭ», Артель старателей «Ойна», Артель старателей «Тыва», ООО «Тардан Голд».

Во всем мире дорожают добыча руд и получение из них цветных металлов, особенно благородных, в частности золота и серебра. К основным причинам этой тенденции относятся следующее:

- уменьшение запасов руд цветных и благородных металлов, увеличение затрат на добычу и производство этих металлов;
- расширение национальных и международных усилий по стабилизации и контролю цен на сырьевые ресурсы;



- необходимость обходиться собственными источниками сырья, особенно стратегическими;
- выполнение международных и государственных требований по охране окружающей среды, в связи с чем удаление и захоронение отходов становятся все более затруднительными;
- быстрое увеличение цен на источники сырья и энергии, что делает рецикл отработанных продуктов и оборудования более эффективным, чем использование первичного сырья.

После обработки руд, артелями, в хвостохранилищах остаются вполне богатые по содержанию золота хвосты обогащения и шлаки. Например: россыпное месторождение реки Черная входит в состав Амыло-Систигхемского золотоносного района, расположенного на севере Республики Тыва и юге Красноярского края, обрабатывается АС «Ойна».

После обогащения на вибрационном концентраторе (КЦВ) за один цикл в хвостохранилище №1 попадает хвосты с содержанием золота 6,5 мг/м<sup>3</sup>, а после доводки в хвостохранилище №2 попадает хвосты с содержанием золота 2400 мг/м<sup>3</sup>. Шлак с содержанием 4500 мг/м<sup>3</sup> от плавки концентрата доводки попадает в хвостохранилище №2.

За весь период эксплуатации месторождения на р.Черная накопилось огромное количество отходов с достаточным содержанием золота, для бактериального выщелачивания.

Целесообразно выщелачивать бактериями (тионовые бактерии *Thiobacillus ferrooxidans*, *Bacillus*, *Bacterium*, *Chromobacterium*) золото с невысоким содержанием в чанах, либо применять кучное выщелачивание, что и используется в некоторых



золотоизвлекательных комбинатах России и Зарубежья. (Олимпиадинском месторождении «Полюс Золота» и месторождении Суздаль в Казахстане (разрабатывает Северная золоторудная компания, «Северсталь»)).

В результате переработки кобальтовых мышьяксодержащих руд на комбинате «Тувакобальт» образовались шламовые продукты, которые имеют карбонатно-силикатный состав с массовым содержанием (в пересчете на оксиды):  $\text{SiO}_2$  – ~30-40 %,  $\text{CaO}$  – ~18 %,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – ~8%,  $\text{MgO}$  – ~8%,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – ~10% (Создание технологий..., 2006).

Характерной особенностью техногенных отходов является высокое содержание мышьяка (2,2-5,2 %, среднее 3,5 %), который находится преимущественно в виде малорастворимых соединений –  $\text{Mg}(\text{NH}_4)_2\text{AsO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{Mg}_3(\text{AsO}_4)_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ , образовавшихся в результате применения технологии магниальной очистки растворов от мышьяка. Частично (10-20 %) мышьяк представлен в форме арсенидов металлов, не разложившихся в процессе автоклавного выщелачивания.

Предлагается селективно извлечь мышьяк путем бактериального выщелачивания.

Шлам предварительно проходит дробление в конусных, щековых дробилках и измельчение в барабанных мельницах с металлическими измельчающими телами (шарами, стержнями).

Далее продукт поступает на предварительное выщелачивание мышьяка в чаны. Разработанные научные основы и промышленный опыт показали, что наряду с другими биотехнологическими методами, в промышленных масштабах может быть ис-



пользован и метод чанового выщелачивания. Несмотря на относительно высокую стоимость, данный метод обладает рядом достоинств.

Во-первых, этот метод в отличие от кучного и подземного выщелачивания является полностью контролируемым и управляемым. Во-вторых, он применяется для тонкоизмельченных продуктов, что значительно ускоряет процесс бактериального окисления и деструкции минералов. В-третьих, создавая определенные условия выщелачивания, можно достичь высокой степени селективности при извлечении ценных минеральных продуктов. В-четвертых, метод не требует применения сложного оборудования и может осуществляться, например, в кислотостойких чанах или пачуках различной конструкции. И, наконец, этот метод низкотемпературный, без выбросов в атмосферу вредных отходов, с возможностью создания замкнутого водооборота, т.е. экологически безопасный.

Одним из преимуществ чанового выщелачивания металлов является то, что при сочетании его с другими методами переработки обеспечиваются гораздо большие скорости, нежели при подземном и кучном. Скорость процесса в основном и определяет технологию выщелачивания и ее экономичность.

Нерастворимый остаток, богатый тяжелыми, цветными металлами (Co, Cu, Ni, Au, Ag), отправляется на биовыщелачивание в присутствии тионовых, мутирующих бактерий, а также гетеротрофных микроорганизмов.

После этого раствор отправляется на извлечение золота и серебра, а нерастворимый остаток на извлечение кобальта, нике-

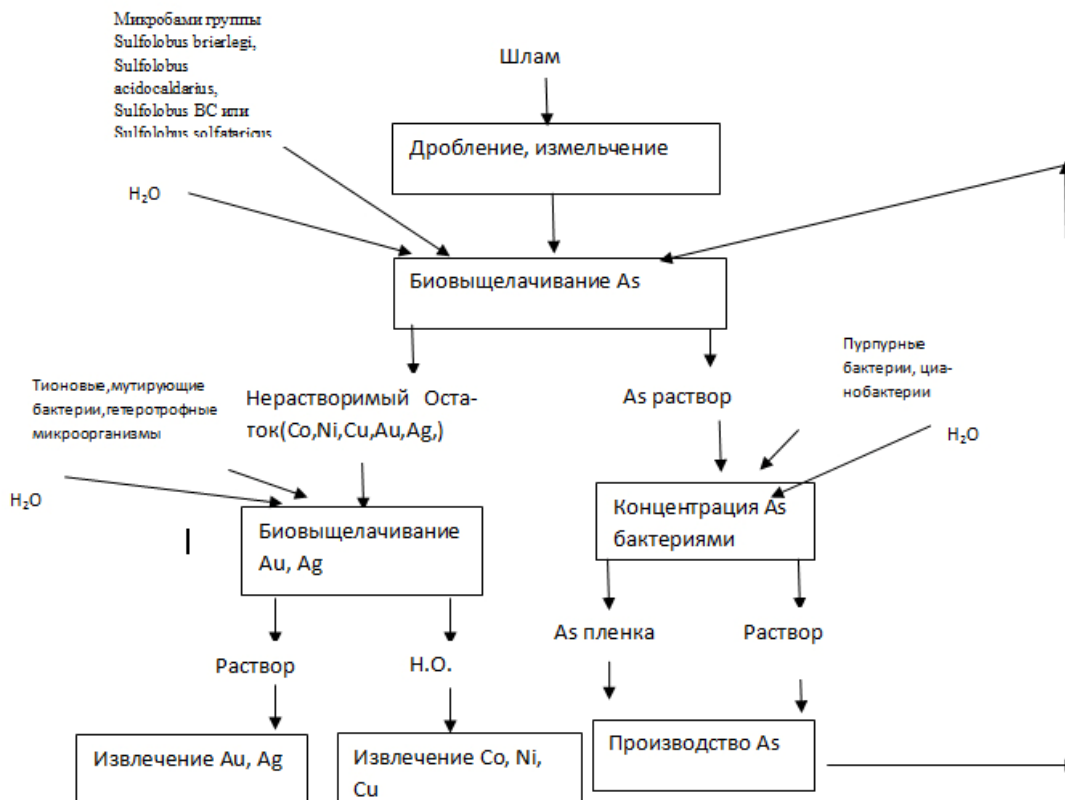


ля и меди. В мышьяковистый раствор вводятся бактерии, питающиеся мышьяком.

Исследователи из Геологической службы США (USGS) обнаружили штамм бактерий, которые используют соединения мышьяка в качестве источника энергии (Kulp, Hoefl, Asao, Madigan, Hollibaugh, Fisher, Stolz, Culbertson, Miller, Oremland, 2008: 967 – 970).

Эти бактерии образуют пленки на поверхности воды, содержащей значительные концентрации соединений мышьяка, вымываемых из горных пород горячими источниками. Образующаяся пленка отправляется на производство мышьяка. Раствор возвращается в оборот.

**Технологическая схема переработки шламов комбината «Тувакобальт»:**





## Заключение

В мире, в России и в том числе в Туве легко добывается россыпное золото гравитационными методами, из года в год эти месторождения истощаются. Остается добывать драгметаллы из рассеянного состояния, из глубоко залегающих и сложносоставных рудных тел. Для переработки таких месторождений нужны иные технологии. Из основных технологий обогащения руд драгоценных металлов применяется сейчас несколько. Это кучное выщелачивание, гравитационно-флотационный цикл, уголь в пульпе (CIP), биовыщелачивание. Использование биовыщелачивания металлов является простым, эффективным, экологически чистым и экономически дешевым способом из существующих технологий переработки руд.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

- Биотехнология (1999) / Т. Г. Волова. — Новосибирск: Изд-во СО РАН. URL: [http://www.project.biocenter.kz/index.php?option=com\\_content&view=article&id=147:2009-06-05-05-53-49&catid=60:2009-05-19-11-43-30&Itemid=88](http://www.project.biocenter.kz/index.php?option=com_content&view=article&id=147:2009-06-05-05-53-49&catid=60:2009-05-19-11-43-30&Itemid=88)
- Недолужко, А. (2006) Крошечные «золотоискатели». URL: <http://www.pravda.ru/science/eureka/inventions/15-07-2006/190790-goldbacteria-0>
- Полькин, С. И. (1969) Бактериальное выщелачивание. Большая советская энциклопедия. М. URL: <http://bse.sci-lib.com/article090797.html>
- Каминский, Ю.Д. (2006) Создание технологий и оборудования высокоэффективной экологически безопасной переработки минерального сырья и техногенных отходов. Кызыл: ТувИКОПР СО РАН.
- Kulp, T. R., Hoefft, S. E., Asao, M., Madigan, M. T., Hollibaugh, J. T., Fisher, J. C., Stolz, J. F., Culbertson, C. W., Miller, L. G., Oremland, R. S. (2008) Arsenic(III) Fuels Anoxygenic Photosynthesis in Hot Spring Biofilms from Mono Lake, California / Science. 15 August/ Vol. 321. no. 5891, pp. 967–970. URL: <http://www.sciencemag.org/cgi/content/abstract/321/5891/967>