

УДК 574; 579.84

## ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ЗОЛОТО-МЫШЬЯКОВИСТОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ БАКЫРЧИК ВОСТОЧНОГО КАЗАХСТАНА

<sup>1</sup>Канаева З.К., <sup>2</sup>Канаев А.Т., <sup>3</sup>Семенченко Г.В.

<sup>1</sup>Казахский национальный технический университет им. К.И. Сатпаева;

<sup>2</sup>Казахский национальный университет им. аль-Фараби;

<sup>3</sup>Институт микробиологии и вирусологии Министерства образования и науки Республики Казахстан, Алматы, e-mail: kanaeva@mail.ru

Казахстан является крупнейшей сырьевой базой цветной металлургии, поэтому изучение экологии микроорганизмов, осуществляющих окисление сульфидных минералов в экосистемах, представляется весьма актуальным. Для выбора горизонтов отбора проб для микробиологического обследования были проанализированы данные по распределению руды и золота по горизонтам некоторых характерных рудных тел. Сокращение мировых запасов золотоносных руд и увеличение объемов руд со сложными структурами в отвалах требуют изыскания альтернативных технологических решений по их использованию. Для проведения микробиологического обследования золото-мышьяковистого месторождения Бакырчик с целью выделения аборигенных штаммов микроорганизмов были проведены предварительные обследования месторождения, в частности оценены климатические и гидрогеологические условия местности. Отбор проб для выделения литотрофных бактерий был осуществлен в местах скопления шахтных вод, а также из горизонтов руды, расположенной в непосредственной близости от подземных вод. Выделение микроорганизмов осуществлялось в лабораторных условиях путем наращивания накопительной культуры, а затем рассева на селективных средах. Для анализа отобраны пробы из шахтных вод и рудного тела месторождения.

**Ключевые слова:** руда, сульфиды, минерал, флотоконцентрат, хемолитотрофные микроорганизмы

## GEOLOGICAL STRUCTURE OF GOLD-ARSENICAL BAKYRCHIK DEPOSIT EASTERN KAZAKHSTAN

<sup>1</sup>Kanaeva Z.K., <sup>2</sup>Kanayev A.T., <sup>3</sup>Semenchenko G.V.

<sup>1</sup>Kazakh National Technical University after named K. Satpayev;

<sup>2</sup> Kazakh National University after named al-Farabi;

<sup>3</sup>Institute of microbiology and virology Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan, Almaty, e-mail: kanaeva@mail.ru

Kazakhstan is the largest resource base of non-ferrous metals, so the study of the ecology of microorganisms performing oxidation of sulphide minerals in the ecosystem is very important. To select the horizons of sampling for microbiological examination were analyzed data on the distribution of ore and gold horizons of some characteristic of the ore bodies. Reduction of world reserves gold ore, and increase ore with complex structures in the dumps require investigations alternative technological solutions for their use. For microbiological research of gold-arsenic birthplace Bakyrchik in order to separate aboriginal strains of microorganisms were carried out preliminary surveys the field, in particular, assessed the climatic and hydrogeological conditions of the area. Sampling for the selection of autotrophic bacteria was carried out in places where mine water, as well as from ore horizons, located in close proximity to the groundwater. Isolation of microorganisms was carried out in laboratory conditions by increasing the accumulation of culture, and then dissipate of on the selection medium. For the analysis of samples taken from the mine waters and mine the ore birthplace.

**Keywords:** ore, sulphides, mineral, flotation concentrate, chemolithotrophic microorganisms

В настоящее время все шире внедряются прогрессивные биотехнологии выщелачивания металлов из забалансовых руд. Таким образом, актуальность исследований определяется необходимостью расширения сырьевой базы и повышения комплексности использования природного сырья.

### Материалы и методы исследований

Геохимическая характеристика рудного тела месторождения Бакырчик

В качестве объекта исследования выбрано месторождение Бакырчик, занимающее второе место по величине запасов золота (326 т при среднем содержа-

нии золота 9,4 г/т). Расположено на северо-востоке Казахстана (приблизительно в 100 км от города Семипалатинска). Открыто в 1953 г. геологом Ф.С. Подсеваткиным.

Месторождение находится в Кызылловской зоне смятия широтного простириания, секущей основные структуры Калбинского региона.

Рудные тела представлены системой кулисообразных минерализованных зон значительной мощности (до 20 м) и протяженности (до 500 м), прослеженных на глубину более 1200 м (рис. 1). Руды полосчатого и массивно-вкрапленного сложения. Околорудные изменения – серицитизация, карбонатизация и альбитизация; по зонам нарушения – графитизация.



Рис. 1. Бақырчыкское месторождение, участки промежуточный и глубокий лог:  
 1 – рыхлые отложения; 2 – кокпектинская свита; 3 – буконьская свита, подсвита песчаников;  
 4 – продуктивная пачка; 5 – шаровые песчаники; 6 – аргиллиты; 7 – песчаники;  
 8 – переслаивание песчаников и углеродосодержащих сланцев; 9 – зайки диоритовых порфиров;  
 10 – трахиандезитовые порфиры; 11 – шов Кшыловского разлома;  
 12 – второстепенные нарушения

Текстуры руд – вкрапленная, пятнистая, полосчатая, реже брекчиевая и прожилковая. Стадийность рудообразования: ранняя стадия колчеданная (пирит-арсенопиритовая); средняя – полиметаллическая; поздняя – кварц-карбонат-антимонитовая. Главная золотоносность связана с ранней стадией. Кварц в зонах дробления и окваривания незолотоносен. Высока положительная корреляция золота с мышьяком и общей сульфидной серой. Прямая связь с углеродом установлена только в интервале содержаний 0,2–1,5%. Оруденение сложной полигенной природы с многократным преобразованием сингенетического седиментогенного золотоносного материала в приразломной зоне дислокационно-термального метаморфизма.

Зона окисления полностью отработана. Отработка первичных руд в стадии освоения. Разработка месторождения затруднена из-за высокого содержания в руде углерода, а также токсичного мышьяка, что создает угрозу загрязнения окружающей среды. Эта проблема может быть решена путем увеличения капитальных расходов, которые, впрочем, будут оправданы, учитывая высокие цены на золото. Месторождение интересно для отработки с применением технологии бактериального выщелачивания флотоконцентратов [1].

Распределение золота в рудах неравномерно, коэффициенты вариации по этим рудным телам колеблются от 56,5 до 86%. Большая часть золота (95–97%) связана с сульфидами – пиритом и арсенопиритом, количество которых колеблется от 1 до 8%, т.е. по составу руды малосульфидным. Месторождение Бақырчык по степени сложности геологического строения основ-

ных рудных тел следует отнести ко II группе, поскольку рудные тела, заключающие в себе около 80% общих запасов месторождения, по классификации относятся ко II группе сложности – «крупные минерализованные и жильные зоны с неравномерным распределением рудной минерализации» [1]. Для выбора горизонтов отбора проб для микробиологического обследования были проанализированы данные по распределению руды и золота по горизонтам некоторых характерных рудных тел (рис. 2–4).

Наибольшее количество запасов руды наблюдается по рудному телу 1 – от горизонта 290 до 130 м, по рудному телу 9 – от 290 до 170 м, по 12 рудному телу – от горизонта – от 230 до 350 м. На основании этих данных были выбраны горизонты как с максимальным, так и со средним запасом руд (330, 290, 250, 210, 170, 130, 90, 50, 10). Содержание золота по этим горизонтам варьировало в пределах 3,6–11,4 г/т. Поскольку основными золотовмещающими минералами на месторождении считаются пирит и арсенопирит, то и хемолитотрофные микроорганизмы, участвующие в превращениях серы, должны быть сосредоточены именно в этих зонах [2].

Разведанное месторождение в ближайшие годы может служить реальной сырьевой базой добычи руды для горно-металлургического предприятия с годовой производительностью 1 млн т руды, поскольку перспективы в отношении получения дополнительного прироста запасов золота не исчерпаны. В радиусе 10–20 км от месторождения в пределах лицензионной территории известны отработанные кварцево-жильные месторождения Алайгыр и Казанчункур, а также

серия малоизученных зон минерализации, в пределах которых по данным штучного опробования и единичных выработок отмечаются промышленные со-

держания золота с параметрами, соизмеримыми с параметрами Кызылловской зоны (длина около 10 км, мощность – 0,2 км).

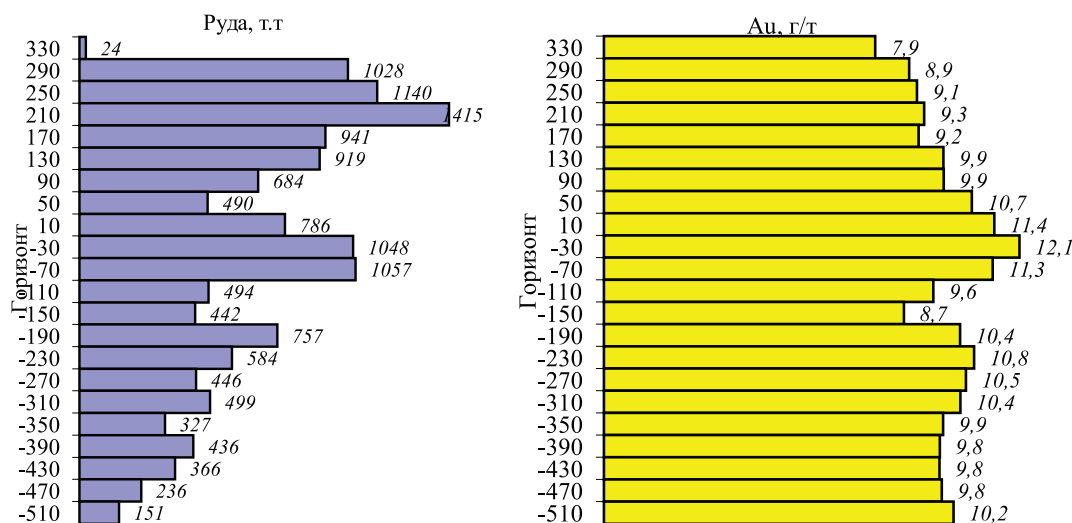


Рис. 2. Распределение запасов руды и средних содержаний золота по горизонтам и рудным телам (рудное тело 1)

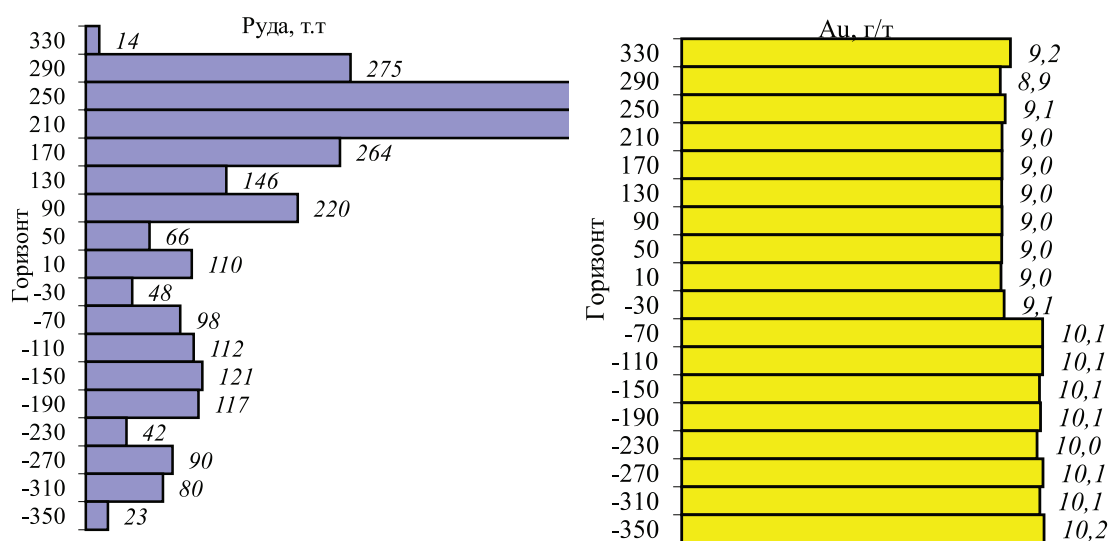


Рис. 3. Распределение запасов руды и средних содержаний золота по горизонтам и рудным телам (рудное тело 9)

Кроме того, в районе отмечается несколько иной тип золотого оруденения, перспективы которого до настоящего времени не оценены – минерализованные золоторудные зоны в штокообразных гранитоидных телах кункшского комплекса (месторождения Лесть, участок Бижан). Оценка как флангов и глубоких горизонтов месторождения Бакырчик Кызылловской зоны смятия, так и других аналогичных зон золотого оруденения, связанного со штоками гранитоидов, позволит значительно расширить перспективы района [2].

Руды месторождения Бакырчик характеризуются широким набором элементов: золото, серебро, свинец, цинк, медь, кобальт, никель, молибден, мышьяк, фосфор, бор, стронций. Отмечается положительная связь золота с бором, стронцием и фос-

фором. Пирит и арсенопирит представлены тремя разновидностями. Золотоносными являются пирит 11 пентагондодекаэдрического габитуса и игольчатый арсенопирит.

В обоих сульфидах золото присутствует в микроскопической и субмикроскопической формах. Содержание золота в пирите достигает 60 г/т, в арсенопирите – 100–150 г/т и более. Золото трех разновидностей: тонкодисперсное в ранних сульфидах – пирите и арсенопирите (основная масса); более крупное (десятые доли миллиметра) – по микротрещинкам в пирите и арсенопирите в ассоциации с галенитом, сфалеритом, халькопиритом, кварцем и карбонатами; в виде включений – в кварц-серицит-карбонатных оторочках вокруг сульфидов, в ассоциации с антимонитом.

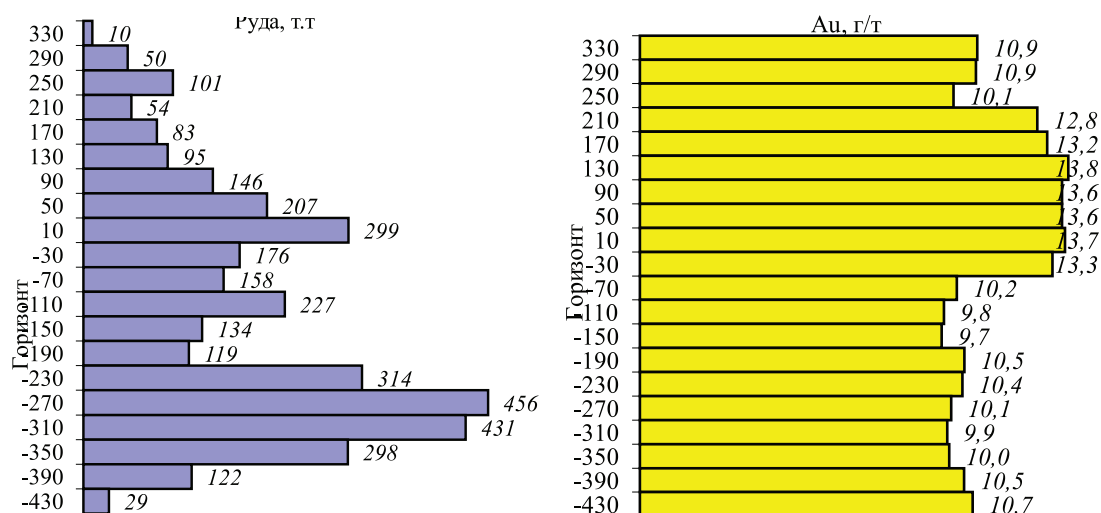


Рис. 4. Распределение запасов руды и средних содержаний золота по горизонтам и рудным телам (рудное тело 12)

Рудовмещающие углеродсодержащие сланцы, аргиллиты, алевролиты и песчаники в тонкоритмичном переслаивании буконьской свиты среднекаменноугольного возраста. Породы интенсивно рассланцованы, содержат углеродистое вещество и сульфиды (до 5–10%). Наиболее насыщены золотоносными сульфидами (пиритом и арсенопиритом) алевролиты с содержанием углеродистого вещества (0,2–0,4% при наличии карбонатного материала) [2]. Бакырчикская руда характеризуется весьма высокой упорностью из-за наличия углерода в составе сланцев.

Ранее были попытки перерабатывать флотоконцентрат этого месторождения с предварительной вакуумтермической обработкой для удаления мышьяка и с последующим биоокислением [4, 5]. Однако неполное удаление этого токсичного вещества препятствует внедрению биоокисления, так как всегда связано с потерей культуры в производственном цикле [3]. В этой связи для успешного применения хемолитотрофных бактерий необходимы поиски адаптированных в естественных условиях штаммов.

Таким образом, по разведанным запасам и перспективам на дальнейшие разработки месторождение Бакырчик является актуальным с микробиологической точки зрения в плане внедрения биовыщелачивания.

### Результаты исследований и их обсуждение

Было отмечено, что климат района резко континентальный, засушливый. Типичными его чертами является сухое, жаркое лето и холодная продолжительная зима. В среднем малая мощность снежного покрова около 27 см при обычно суровых зимах обуславливает промерзание приповерхностных грунтов до 2 м, запас воды в снеге на начало снеготаяния составляет 60–65 мм

В гидрогеологическом отношении характерной чертой района является напряженный водный баланс территории, связанный с сухостью климата и отсутствием благоприятных геологических условий для нако-

пления существенных запасов подземных вод. Район на значительной площади сложен водонепроницаемыми глинистыми отложениями, которые выполняют пониженные участки рельефа и исключают возможность аккумуляции в них подземных вод, формирующихся в области мелкосопочника.

Исходя из общих представлений о формировании подземных вод, в районе выделены два типа вод: поровые и трещинные. Поровые воды приурочены к аллювиальным водоносным горизонтам (в современных четвертичных, верхнечетвертичных и среднечетвертичных отложениях) и спорадически распространены в делювиально-пролювиальных верхнечетвертичных – современных отложениях. Аллювиальный водоносный горизонт в современных четвертичных отложениях развит вдоль русла р. Кызылсу полосой до 100–150 м. Водо-вмещающими отложениями являются гравийно-галечники с песчаным и супесчаным заполнителем. Мощность водоносного горизонта составляет от 1,5 до 5,3 м при глубине залегания 1,5–2,5 м. Коэффициенты фильтрации 22,5–35,7 м/сутки. Основное питание водоносного горизонта происходит за счет частичной потери поверхностного стока р. Кызылсу и, в меньшей мере за счет атмосферных осадков.

Подземные воды в трещиноватых породах формируются за счет инфильтрации талых вод в весеннее время и за счет непосредственного попадания атмосферных осадков (дождевых) в зону трещиноватости пород в остальное время. Область питания совпадает с площадью развития обнаженных массивов коренных пород. Движение их происходит по преобладаю-

щему направлению трещиноватости с учетом общего уклона рельефа. Наиболее водообильными являются скважины, пройденные по зонам тектонической трещиноватости. Удельные дебиты таких скважин от 1,1 до 9,7 дм<sup>3</sup>/с·1 м. Воды, как правило, пресные с сухим остатком 0,2–0,7 г/дм<sup>3</sup>. Трещинные воды эксплуатируются для технического (шахтный водоотлив) и хозяйственно-питьевого водоснабжения (водозабор Кызалту) с расходом более 1000 м<sup>3</sup>/сут. Полученные данные физико-химических характеристик указывают на достаточно широкое рудопоявление и зон рассеянной золотосульфидной минерализации районе Бакырчикского месторождения. Трещинные воды за счет растворения окисляющихся сульфидов обогащаются сульфатами, подвижными формами мышьяка, железа, марганца, а также незначительными количествами меди, свинца, цинка, кадмия и других микроэлементов.

Таким образом, проанализировав естественное водоснабжение района, были установлены перспективные участки для выделения аборигенных штаммов литотрофных микроорганизмов. Поскольку для осуществления жизнедеятельности автотрофных микроорганизмов необходимыми условиями является наличие воды, хорошая аэрация и в некоторых случаях солнечный свет, микробиологическое обследование проводилось с учетом данных факторов.

Микробиологическому обследованию подвергались горизонты 330, 290, 250, 210, 170, 130, 90, 50, 10 карьеров № 4 и 6 месторождения (рис. 5). Для микробиологического обследования рудного тела в соответствии с данными по распределению руды и золота были отобраны пробы руды с различных горизонтов с разнообразным геолого-минералогическим составом. Ниже приведены характеристики этих пород по горизонтам 1–9 – точки отбора проб руды.

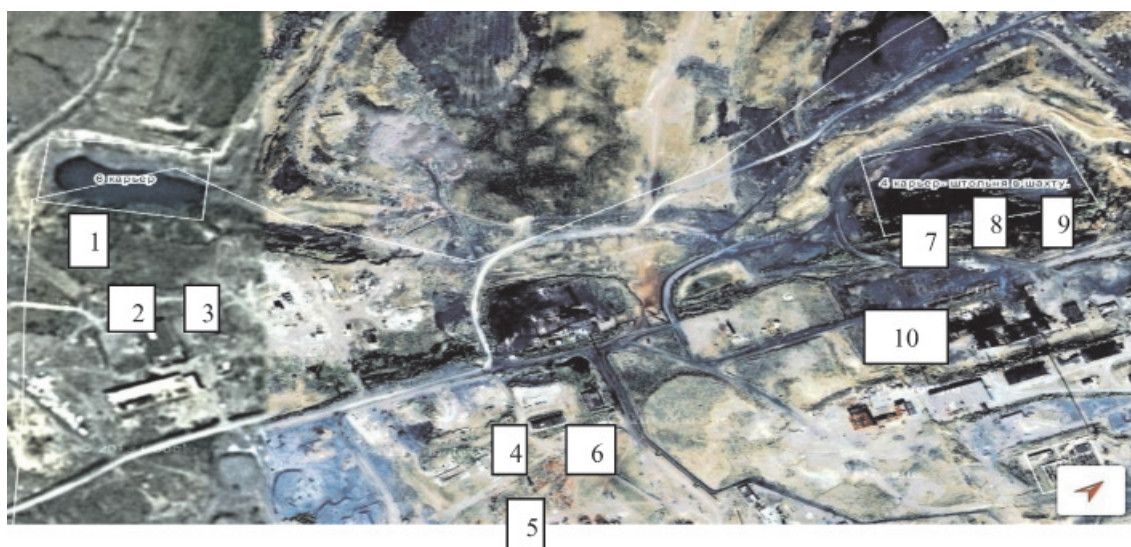


Рис. 5. Расположение карьеров Бакырчикского золото-мышьяковистого месторождения: 1 – терригенно-осадочные породы каменноугольной системы, с корами выветривания и отложениями; 2 – вскрышная глинистая порода верхнего горизонта с песчано-сланцевыми отложениями; 3 – песчаники верхней алевролита-песчаниковой толщи; 4 – кызыловская зона смятия с песчано-сланцевыми отложениями бакырчикской свиты; 5 – аллохтонно-псаммитовый материал терригенного (серые песчаники) и вулканогенного (пепловые туфы) происхождения; 6 – присадка пепловых частиц, кремнистые образования; 7 – линзовидные малоомощные выходы известняков и андезитовых порфиритов; 8 – прослои пепловых туфов риолит-дацитового состава с витрокластической структурой; 9 – углисто-глинистый аргиллит и алевролит; 10 – точка отбора проб шахтной воды

### Выводы

В результате выполненной работы были сделаны следующие выводы:

1. Анализ литературных данных позволил установить, что микробиологические процессы, протекающие как в рудных те-

лах, так и в шахтных водах месторождения Бакырчик, остаются малоизученными. Проведенные ранее микробиологические обследования месторождения носили преимущественно эпизодический характер, без учета динамики развития бактериальных окислительных процессов. Это послужило

основанием для проведения на Бакырчикском месторождении ряда микробиологических обследований, позволивших не только уточнить направление протекающих здесь процессов, но и сравнить изменение состава микрофлоры по мере вскрытия рудного тела горными работами.

2. В целях выяснения роли микроорганизмов в естественных окислительных процессах микробиологическое обследование различных проб вод и руд Бакырчикского месторождения проводили на различных горизонтах вскрытия и в разнообразных типах пород, составляющих рудные тела. Выбор горизонтов и типов пород определялся физико-химическими, климатическими факторами, а также природными ассоциациями минералов, определяющими среду обитания микроорганизмов.

#### Список литературы

1. Жаутиков Т.М. Закономерности размещения и принципы прогнозирования золотого оруденения Казахстана: автореферат дис. ... д-ра геол.-мин. наук. – Алма-Ата, 1987. – 65 с.
2. Жаутиков Т.М., Николаев Л.Г. Золото Казахстана // Горный журнал. – 1992. – № 8. – С. 16–20.
3. Канаев А.Т. Интенсификация процесса извлечения урана биотехнологическим способом из бедных руд: монография. – Алматы, 2010. – 143 с.
4. Лодейщиков В.В., Панченко А.Ф., Хмельницкая О.Д., Семенова Л.Д. Влияние минерального состава упорных зо-

лото- и серебросодержащих руд на возможности переработки их биогидрометаллургическим способом / Обогащение руд: Сб. науч. тр. – Иркутск, 1994. – Вып. 5. – С. 15–25.

5. Храпунов В.А., Исакова Р.А., Спивак М.М. и др. Диссоциация арсенида железа // Неорганической химии. – 1993. – Т.32. – Вып. 5. – С. 284–285.

#### References

1. Zhautikov T.M. ZakonomernostirazmeshhenijapriincipyprognozirovanijazolotogoorudenienijaKazahstana // Avtoreferat diss...dokt. geol.-min. nauk. Alma-Ata, 1987, 65 p.
2. Zhautikov T.M., Nikolaev L.G. Zoloto Kazahstana // Gornyj zhurnal. 1992, no. 8, pp. 16–20.
3. Kanayev A.T. Intensification Process of Uranium Extraction from Poor Ores Using Biotechnological Methods. Almaty, 2010, 143 p.
4. Lodejshnikov V.V., Panchenko A.F., Hmel'nickaja O.D., Semenova L.D. Vlijanie mineral'nogo sostava upornyh zoloto- i serebrosoderzhashhih rud na vozmozhnosti pererabotki ih biogidrometallurgicheskim sposobom / Obogashhenie rud: Sb. nauch. tr. Irkutsk. 1994. Vyp. 5, pp. 15–25.
5. Hrapunov V.A., Isakova R.A., Spivak M.M. i dr. Dissociacija arsenida zheleza // Neorganicheskoj himii. 1993. Vol. 32, vyp. 5, pp. 284–285.

#### Рецензенты:

Мукашева Т.Д., д.б.н., профессор кафедры «Биотехнология», КазНУ им. аль-Фараби, г. Алматы;

Савицкая И.С., д.б.н., профессор кафедры «Биотехнология», КазНУ им. аль-Фараби, г. Алматы.

Работа поступила в редакцию 28.11.2014.