

Карась С.А., Кременецкий А.А., Орлов С.Ю.,
Культин Ю.В., Шлычкова Т.Б. (ФГУП «ИМГРЭ»)

НОВЫЙ ГЕОЛОГО-ПРОМЫШЛЕННЫЙ ТИП ГИДРОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ РЕНИЯ

*По результатам оценочных работ на Брикетно-Желтухинском месторождении (Рязанская область) уточнено его геологическое строение. Выявлена геохимическая зональность, свидетельствующая о развитии зоны пластового окисления. Предлагается генетическая модель образования промышленных руд рения. Приводятся особенности разработанной и апробированной технологии скважинного подземного выщелачивания с получением конечного продукта — перрената аммония. На основании вышеперечисленного и составленного ТЭО месторождение поставлено на баланс в ГКЗ РФ как самостоятельное месторождение рения. **Ключевые слова:** рений, уран, молибден, геохимическая зональность, зона пластового окисления, технология скважинного подземного выщелачивания, сорбция, Брикетно-Желтухинское месторождение, Подмосковский буроугольный бассейн.*

Karas S.A., Kremenetskiy A.A., Orlov S.Yu., Kultin Yu.V.,
Shlychkova T.B. (IMGRE)

NEW ECONOMIC TYPE OF HYDROGENICAL RHENIUM MINERAL DEPOSITS

*Because of the appraisal work at the Briketno-Zheltukhinskoe deposit (Ryazan region), the authors refined existing ideas of the deposit's geology. Geochemical zoning pattern of bed oxidation zone is detected. The genetic model of the formation of economic rhenium ores presented there. There are described features of useable in situ leaching (ISL) technique. Commercial product of ISL is ammonium perrhenate. Because of the above and deposit development conditions, the deposit's mineral reserves were officially registered by the State Commission on Mineral Reserves (GKZ). **Keywords:** rhenium, uranium, molybdenum, geochemical zoning, bed oxidation zone, in situ leaching technique, sorption, Briketno-Zheltukhinskoe mineral deposit, Moscow lignite basin.*

Гидрогенные полиэлементные месторождения, также известные как месторождения зон пластового окисления (ЗПО) или месторождения песчаникового типа (в англоязычной терминологии), являются одним из ведущих источников урана в мире. Как сопутствующий компонент урана в продуктивных растворах скважинного подземного выщелачивания (СПВ) данных месторождений может добываться рений.

Проведенная ФГУП «ИМГРЭ» в 2008–2009 гг. оценка минерально-сырьевой базы рения территории Российской Федерации [6] показала, что в России гидрогенные месторождения (инфильтрационно-полиметалльный тип в широком понимании) обладают наибольшим ресурсным потенциалом, превышая потенциал медно-молибденовых руд медно-порфиро-

вых месторождений (основной источник рения в мире). Суммарные ресурсы рения по месторождениям этого типа на территории РФ оценивались по категориям: $C_1+C_2+P_1 = 16,02$ т; $P_1 = 40$ т; $P_2 = 1349,7$ т; $P_3 = 2900$ т или 720 т условных C_2 , что составляет 76 % ресурсов Ре страны. Большая часть этих ресурсов (666 т условных C_2 , 82 % от локализованных ресурсов) находится в Подмосковной провинции [1, 6], приуроченной к Подмосковному буроугольному бассейну.

Наиболее изученным рениеносным объектом в Подмосковной провинции является Брикетно-Желтухинское месторождение (БЖМ), расположенное в Скопинском районе Рязанской области (рис. 1). Полиэлементное оруденение БЖМ приурочено к угленосным терригенным отложениям бобриковского горизонта нижневизейского подъяруса нижнего карбона. Рудоносный горизонт представлен преимущественно средне- и мелкозернистыми разностями песков, насыщенных углистым детритом. В подчиненном количестве среди песков присутствуют алевроитовые и глинистые линзы и прослои, а также прослойки углей. Месторождение обладает многими признаками, соответствующими инфильтрационно-полиметалльному типу, но в то же время ряд особенностей позволяет существовать и альтернативным точкам зрения.

История изучения БЖМ. Промышленные залежи бурого угля в Скопинском районе были открыты в 70-х гг. XIX века. В 1954 г. трестом «Мосбассуглегеология» на площади БЖМ в трех скважинах была выявлена повышенная радиоактивность угленосных пород. Пробы были направлены в Кировскую экспедицию 1-го ГГРУ, где была установлена связь радиоактивности с содержаниями урана. В конце 1950-х годов Кировской экспедицией были проведены поисково-оценочные и разведочные работы под горный способ отработки. Разведка осуществлялась бурением по сети 200×200 м и 100×100 м. Объемы kernового опробования были небольшими, содержания в основном определялись по пересчету данных гамма-каротажа. В итоге работ объект был охарактеризован как мелкое молибден-урановое месторождение с отрицательной оценкой возможности его отработки.

В 1997–2005 гг. специалистами «Горно-геологической экспедиции» ФГУП «Урангео» на БЖМ проводились детализационные и поисково-оценочные работы, включающие оценку перспектив отработки уранового объекта методом скважинного подземного выщелачивания (СПВ), по результатам которых была дана положительная оценка перспектив отработки этого месторождения методом СПВ. Было установлено, что наиболее применяемые в практике СПВ урана сернокислотный и бикарбонатный растворы заметно уступают по эффективности растворам серной кислоты или пластовой воды с добавками кислорода. Однако по результатам натурных исследований урановых руд БЖМ на месте залегания полученные концентрации U в продуктивных растворах (3–7 мг/л) [3] существенно уступали установленному минимуму в 20 мг/л

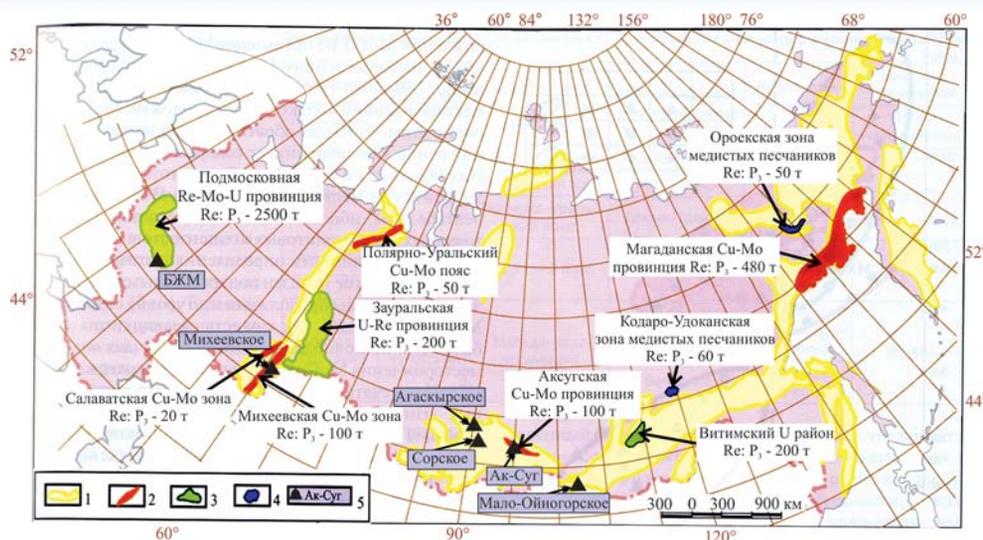


Рис. 1. Прогнозная карта рениеносности территории России (по [6]): 1–4 — перспективные рениеносные площади: 1–2 — с оруденением медно-порфиорового семейства: 1 — мегапояса, 2 — провинции и рудные районы; 3 — пояса с оруденением инфильтрационно-полиметалльного типа; 4 — провинции медистых песчаников; 5 — месторождения с уточненными Государственным балансом запасами рения

[5], что не позволяло однозначно рассчитывать на рентабельность добычи урана.

Кроме этого, отсутствие (при имеющемся на тот момент объеме данных) четких доказательств наличия здесь зоны пластового окисления, которая обычно является важнейшим фактором формирования промышленных урановорудных объектов, пригодных для СПВ, не позволило тогда специалистам «Урангео» однозначно доказать принадлежность БЖМ к инфильтрационно-полиметалльному типу. Странниками сингенетической модели (специалисты ВИМСа) выявленные эпигенетические изменения окислительного ряда в кровле бобриковских отложений рассматривались лишь как нижняя граница современной зоны поверхностного окисления. В результате ими высказывались предположения о исключительно близоседиментационном накоплении U, Mo и Re в результате сорбции углисто-глинистым веществом.

В процессе работ «Урангео» на БЖМ попутно было выявлено рениевое оруденение, мощность которого существенно превышала мощности урановых тел. Концентрации Re в продуктивных растворах достигали 0,6–1,2 мг/л [3]. Это позволило апробировать прогнозные ресурсы Re для БЖМ по кат. P₁ в количестве 40 т, а для рудного поля по кат. P₂ в количестве 300 т.

В 2013–2015 гг. ФГУП «ИМГРЭ» провело на Брикетно-Желтухинском месторождении оценочные работы с целью определения его промышленной значимости как рениевого месторождения, разработки технологии СПВ рения и уточнения генетической модели полиметалльного оруденения. Впервые для объекта рений рассматривался как основное полезное ископаемое. Проводилось сплошное опробование керн рудоносного горизонта на рений и сопутствующие компоненты.

Особенности геологического строения. БЖМ и ряд других урановых проявлений локализованы в отложе-

ниях палеодельт южной периферии Подмосковского буроугольного бассейна на участках, приуроченных к контактам палеорусел с палеоболотами, реконструируемыми по угольным залежам (рис. 2).

Промышленных пластов угля на площади месторождения нет. Уран-молибден-рениевое оруденение БЖМ приурочено к песчаным отложениям бобриковского горизонта нижневизейского подъяруса нижнего карбона. Бобриковская толща слагает русловые и старичные комплексы Скопинской палеореки.

На площади Брикетно-Желтухинского месторождения на верхнефаменском

«карбонатном фундаменте», сложенном известняками и доломитами, как правило, залегают глинистые породы с обломками карбонатных пород, с большим количеством углистого детрита, сульфидов и карбонатные

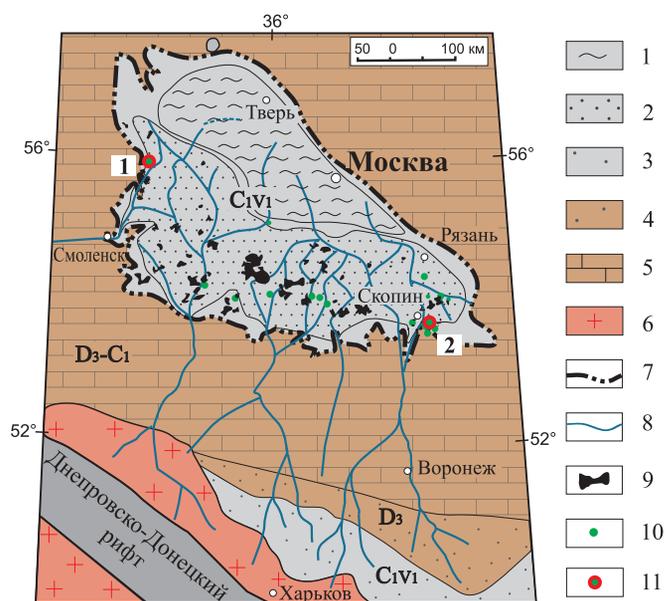


Рис. 2. Палеогеографическая реконструкция центральной части Восточно-Европейской платформы для ранневизейского континентального интервала: 1–3 — ранневизейские отложения: 1 — преимущественно глинистые (озерная фация); 2 — преимущественно песчаные (дельтовая фация бобриковского палеорек); 3 — песчаные (фации аллювия); 4 — позднедевонские терригенные отложения (прибрежная фация) в области размыва; 5 — позднедевонско-раннекаменноугольные карбонатно-терригенные отложения в области размыва; 6 — выступы докембрийского кристаллического фундамента в области размыва; 7 — граница визейского Подмосковского буроугольного бассейна; 8 — русла палеорек; 9 — болота (залежи бурого угля); 10 — проявления урана; 11 — месторождения с установленной рениевой минерализацией (1 — Бельское, 2 — Брикетно-Желтухинское)

глины (рис. 3). Возможно, нижневизейские образования имеют более древний возраст (радаевский горизонт?), чем отложения бобриковского горизонта. Залегающие выше бобриковские отложения представлены в основном образованиями прирусловой фации: серыми средне- мелкозернистыми песками с пластами и линзами углисто-алевритисто-глинистых пород, обломками углей и сульфидами; реже крупно- и разнозернистыми песками русловой фации. Рудомещающая толща перекрыта неоген-четвертичными бурыми, коричневатыми, желтыми песками и глинами мощностью 40–50 м, в нижней части которых прослеживается выдержанный пласт слабопроницаемых коричневатых (до зеленоватых) глинисто-алевритистых пород мощностью 1–10 м.

По результатам оценочных работ ФГУП «ИМГРЭ» в низах толщи, перекрывающей рудоносные бобриковские пески, выявлен базальный горизонт, сложенный песками (до грубозернистых) мощностью до первых десятков сантиметров. Пески насыщены гравийными обломками кварца, кремней, реже встречаются обломки окремнелых известняков, содержащих кораллы верхневизейско-серпуховского возраста (*Chae-*

letes teniradiatus Sokolov и *Dubinophyllum* sp — определения Коссовой О.Л., ВСЕГЕИ). К данному грубозернистому прослою приурочен тонкий горизонт окремнения мощностью 5–10 см, состоящий из массивных кремней или отдельных желваков. Горизонт локализован в пределах гипсометрического уровня 108–110 м. В большинстве скважин кремневый прослой ограничивает сверху распространение рениевой минерализации. По данным анализа 25-и проб кремней (метод ICP MS) Re был обнаружен в 18-и пробах с содержанием 0,01–0,332 г/т. Среднее содержание Re в кремнях составляет 0,05 г/т. Повышенная рениеносность кремней в грубообломочном горизонте пост-серпуховского возраста свидетельствует, что рениевая минерализация локализовалась в кремнях значительно позже синседиментационного этапа развития бобриковской толщи.

На БЖМ почти вся толща бобриковского горизонта мелко- среднезернистых кварцевых песков, обогащенных органическим детритом и сульфидами, характеризуется содержаниями Re $\geq 0,01$ г/т. Рудная залежь с содержанием Re $\geq 0,1$ г/т имеет максимальную мощность в северной части месторождения (до 30 м), где

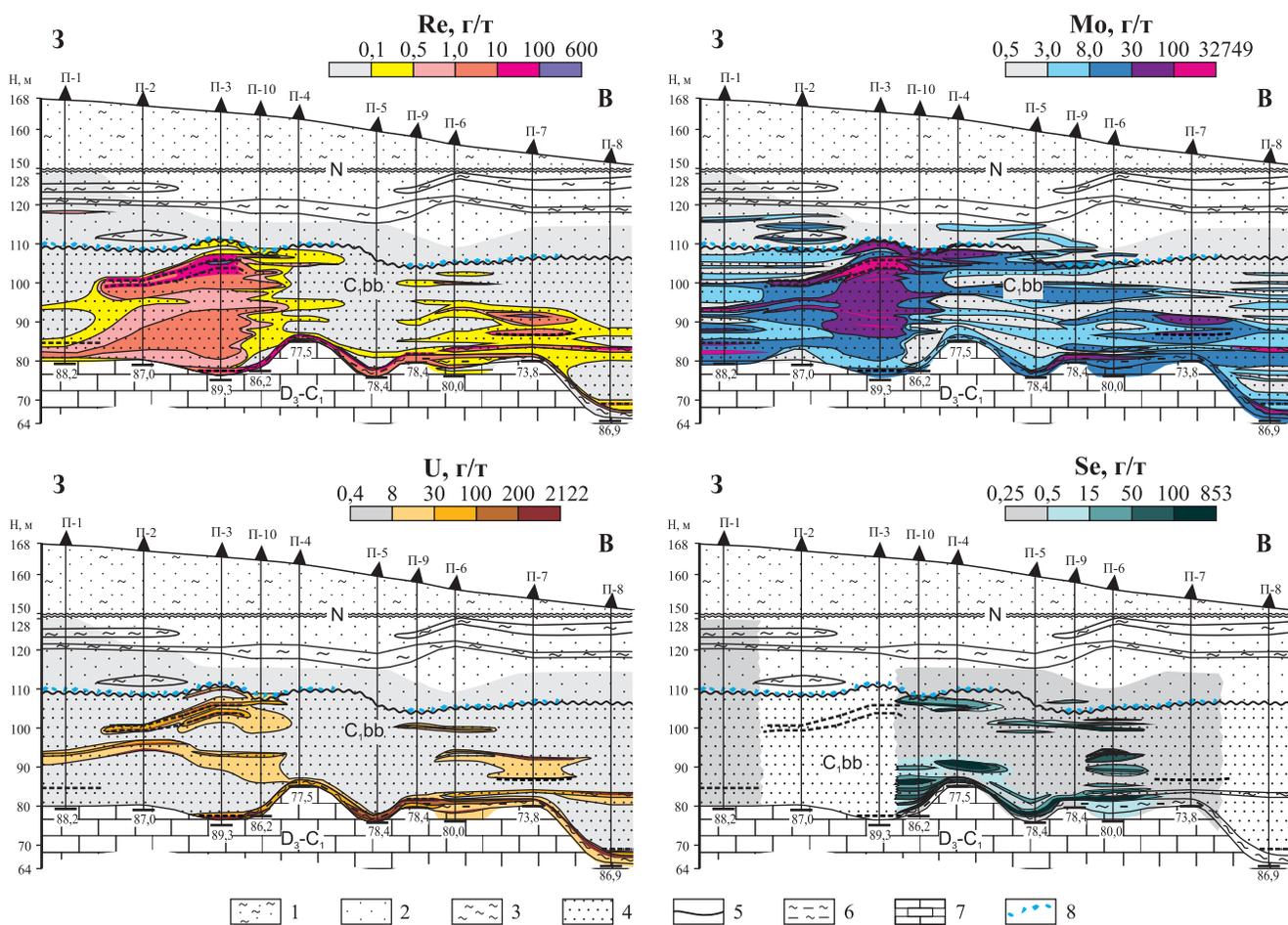


Рис. 3. Геолого-геохимические разрезы по линии профиля скважин П1-П8 на Брикетно-Желтухинском месторождении: 1 — четвертично-неогеновые глины и пески; 2–3 — неогеновые отложения: 2 — пески, 3 — алеврит-глинистые отложения; 4–5 — нижнекаменноугольные отложения бобриковского горизонта: 4 — пески, 5 — внемасштабные прослои углей, углефицированных глин и алевритов с сульфидами; 6 — углефицированные глинистые породы с большим количеством углей, сульфидов и обломками карбонатных пород и карбонатные глины; 7 — верхнедевонский «известковый фундамент»; 8 — горизонт обломков кремня

промышленные содержания проявлены в бобриковских отложениях от подошвы до кровли. На западном и восточном флангах кровля рудной залежи погружается, что приводит к уменьшению мощности залежи и ее выклиниванию. Максимальные содержания Re зафиксированы в углисто-глинистых пластах мощностью 5–10 см (40–583 г/т), причем наиболее высокие содержания приурочены к пластам этих пород в кровле рудной залежи (рис. 4). В песках, прилегающих к пластам и линзам углисто-глинистых пород, содержания рения составляют 1–30 г/т. Как правило, содержания Re в нижележащих пластах углисто-глинистых пород уступают содержаниям в этих породах в кровле рудной залежи; лишь в «надкарбонатном» слое углефицированных глинистых пород содержания Re могут опять возрасть.

В карбонатном доколе рениевая минерализация прослежена на глубину до 20 м. Содержание Re в доломитах колеблется от 0,01 г/т до 0,8 г/т в целом убывая с глубиной. В отдельных тонких терригенных прослоях среди доломитов содержания Re достигают 2–3 г/т.

Содержания U и Mo в песках бобриковских отложений составляют 0,000n %, в пластах углистых глин достигают 0,0n–1 % (для Mo более), в прилегающих к ним песках 0,00n–0,0n %. В «надкарбонатном» слое углефицированных глинистых пород содержания U и Mo достигают 0,00n–0, n %. Повышенные содержания Se выявлены в основном на севере площади в нижней части разреза (рис. 3).

По данным минералогического анализа рудных проб (Енгальчев С.Ю., ВСЕГЕИ), отобранных из пес-

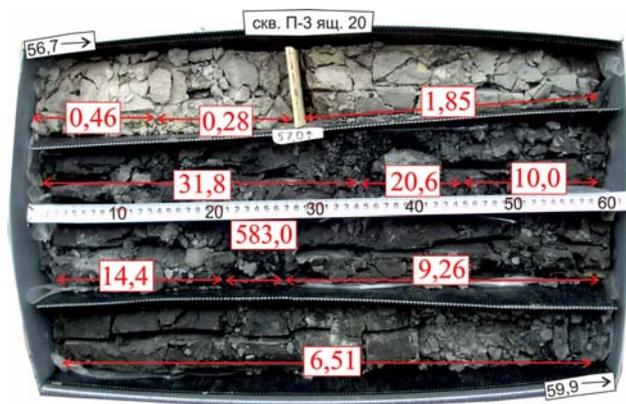


Рис. 4. Фото рудного керна БЖМ с поинтервальными содержаниями Re (г/т)

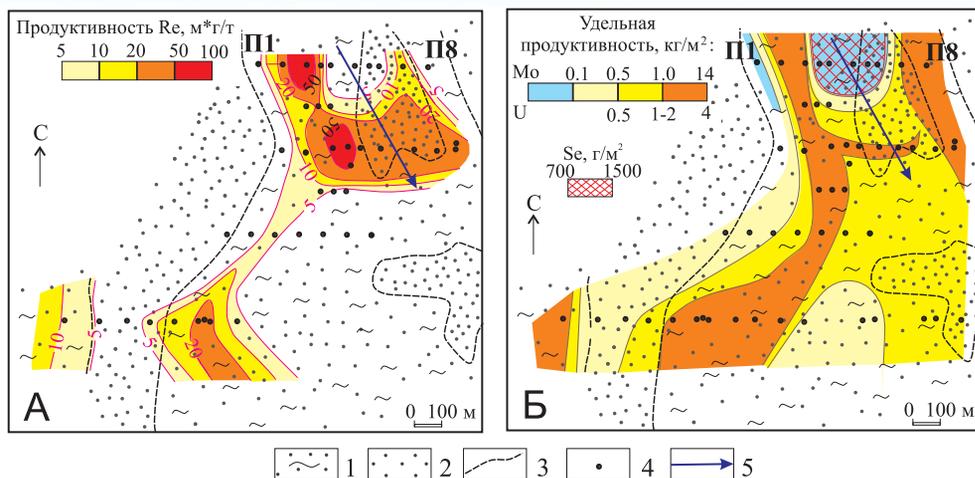


Рис. 5. Изолинии продуктивностей: А — рениевого оруденения и Б — селен-уран-молибденовой минерализации на литолого-фациальной схеме бобриковского горизонта Бриклетно-Желтухинского месторождения: 1 — пески с прослоями и линзами углистых глин, углей, алевритов (прирусловые отложения); 2 — пески разнотерригенные с гравием, с редкими прослоями глин (русловые отложения); 3 — фациальная граница; 4 — устья скважин, по которым использованы данные опробования керна; 5 — современное направление потока подземных вод в рудоносном комплексе

чаных, углисто-глинистых пород и углей, среди сульфидов преобладает пирит, образующий конкреции и рассеянный по породе в виде тонкокристаллических выделений. Чаще всего он лишен примесей, но иногда содержит примесь As (до 0,54 %) и Ni (до 0,42 %). Из других сульфидов встречаются марказит, аргентит, галенит, сфалерит с примесью Cd (до 3 %), пентландит, смесь халькозина и аргентита, стибнит. Из самородных металлов обнаружены медь с примесью серебра (13 %) и селен. Также селеновая минерализация представлена каусталитом. Наиболее распространенная форма нахождения урана — уранинит, реже встречаются коффинит и нингионит. Молибденовые минералы представлены молибденитом, иордизитом и вольфенитом. Минеральная форма нахождения рения за все время исследований БЖМ не установлена.

В плане рениевое оруденение и наиболее продуктивная U-Mo минерализация локализованы вдоль бортов палеорусел в серых средне- мелкозернистых песках с пластами и линзами углисто-алевритисто-глинистых пород прирусловой и пойменной фациальных зон (рис. 5). По мере удаления от бортов палеорусла продуктивность Re, U и Mo в прирусловых и пойменных отложениях снижается. Рениевое оруденение и наиболее продуктивная U-Mo минерализация образуют лентообразные тела вдоль бортов палеорусел. Исключение составляет северная часть месторождения, где между лентообразных тел рениевого оруденения и U-Mo минерализации, конформных бортам палеорусел, расположен основной объем оруденения, имеющий широтное простирание — поперек палеодолины.

По результатам оценочных работ ФГУП «ИМГРЭ» севернее этой широтной зоны выявлена зона резкого снижения продуктивностей Re, U и Mo и с максимальной продуктивностью по Se в бобриковских отложениях (рис. 5). Здесь на разрезе по профилю скважин

№№ П1-П8 рениевое оруденение и U-Мо минерализация «разорваны» в средней части, где происходит резкое снижение мощности рениевого оруденения, которое сохраняется лишь в нижнем «надкарбонатном» слое, где продуктивность Re, U, Mo и Se для «надкарбонатного» слоя максимальна (рис. 3).

Максимумы значений продуктивности элементов в плане формируют Se-U-Re-Mo зональность, типичную для пластово-инфильтрационных месторождений [4], сформированных ЗПО. Селеновый ролл «вложен» в урановый, а рениевый ролл (в целом совмещающийся с урановым) несколько смещен в сторону фронтальной части зональности, формируемой максимумами молибдена. Выявленная картина геохимической зональности северной части Брикетно-Желтухинского месторождения согласуется с данными о современном направлении движения подземных вод в бобриковском горизонте. По данным гидрогеологических карт масштаба 1 :50 000 и собственных высокоточных наблюдений за абсолютной отметкой уровня подземных вод в бобриковско-тульском водоносном комплексе в северной части БЖМ движение подземных вод имеет юго-восточное направление. Соответственно собственно зону окисления (гематитовое ядро) можно ожидать севернее, за пределами изученного участка. В пользу этого свидетельствует то, что пески из зоны «разрыва» рениевого оруденения в центральной части профиля П1-П8 отличаются от рудоносных песков более светлой окраской: от светло-серой до белой. По данным минералогического анализа гранулометрических проб (Соленикова Е.О., ИМГРЭ) песчаные отложения бобриковского горизонта из зоны «разрыва» рениевого оруденения на профиле П1-П8 содержат гидроокислы железа и окисленные сульфиды. В скважинах зоны «разрыва» наблюдается лишь незначительное количество сульфидизированных обломков углей и сульфидов (в верхней части 0,2–0,3 %, в нижней части до 1 %). При этом в керне песчаных отложений из соседних рудных скважин содержание сульфидизированных обломков углей и сульфидов составляет >3 %.

Генетическая модель. Следует отметить спорность суждений о генезисе БЖМ, рассматривавшегося на протяжении истории его изучения или как седиментогенный, или как инфильтрационный. При этом предполагаемый возраст инфильтрационных процессов варьирует в широких пределах (среднекаменноугольный, пермский, мезозойский). Специалисты «Урангео» не смогли определить (при имеющемся на тот момент объеме данных) геометрические параметры ЗПО в пределах изученной площади. Сторонниками сингенетической модели (специалисты ВИМСа) выявленные эпигенетические изменения окислительно-го ряда в кровле бобриковских отложений рассматривались лишь как нижняя граница современной зоны поверхностного окисления. В результате ими высказывались предположения об исключительно близседиментационном накоплении U, Mo и Re в результате сорбции углисто-глинистым веществом.

Оценочные работы, проведенные на БЖМ в 2013–2015 гг. ФГУП «ИМГРЭ», существенно уточнили его геологическое строение, что позволило снять часть противоречий и уточнить место объекта среди гидрогенных полиэлементных месторождений.

С учетом вышеизложенного следует отметить следующие особенности локализации рениевого оруденения и U-Мо минерализации на Брикетно-Желтухинском месторождении:

1) наличие Se-U-Re-Mo зональности (основной объем богатого рениевого и U-Мо оруденения окаймляет область бобриковских отложений с минимальной продуктивностью Re, U и Mo и с максимальной продуктивностью Se) в северной части изученной площади;

2) в пределах изученной площади БЖМ Re-U-Mo минерализация локализована в отложениях прирусловой фации и образует лентообразные тела вдоль бортов палеорусел;

3) основная часть Re-U-Mo рудной минерализации проявлена во всей толще прирусловых песчаных бобриковских отложений, насыщенных по объему восстановителями (углистый детрит и сульфиды железа), но максимальные содержания приурочены к прослойкам углей и глин мощностью 5–10 см;

4) в вертикальном разрезе можно отметить два максимума накопления содержаний Re, U и Mo: в верхних углисто-алевритисто-глинистых слоях (независимо от их гипсометрического уровня) и «надкарбонатном» слое углефицированных глинистых пород;

5) рениевое оруденение локализовано не только в бобриковской толще, но и в базальных горизонтах перекрывающих толщ; также наличие Re-U-Mo минерализации характерно для кровли карбонатного цоколя.

На основе анализа палеогеографии региона для верхнедевонского-ранневизейского времени и с учетом вышеуказанных особенностей можно сделать следующие выводы.

В ранневизейское время металлы (Re, Mo, U и др.), мобилизованные в области размыва (северное плечо Днепровско-Донецкого рифта, характеризующегося в указанное время активной фазой развития), переносились речными потоками на север (рис. 2). Достигая заболоченной озерной впадины Подмосквовного бассейна, они осаждались на восстановительном барьере органическим и глинистым веществом в периферических зонах болот и в заболоченных старицах. Садка металлов происходила преимущественно не в осадках выполнения русел, а при фильтрации вод, содержащих металлы, через обогащенные органикой (в виде прослоев торфа и рассеянного детрита) пойменные и старичные углисто-глинисто-песчаные толщи, слагающие борта палеорусел. Фильтрация вод могла происходить между руслами и старичными озерами с различным уровнем водного зеркала. Этот процесс приводил к образованию в бобриковских отложениях первичной Re, U и Mo минерализации, не представляющей (в пределах изученной нами площади) промышленного интереса.

Основной объем фиксируемого в настоящее время богатого ренийевого и U-Мо оруденения в северной части месторождения, очевидно, сформирован в неоген-четвертичное время за счет перемещения Re, U и Mo по латерали кислородосодержащими водами ЗПО, проникающими в бобриковские отложения через современные речные врезы, расположенные к северу от месторождения. Происходит как перемещение данных элементов внутри толщи бобриковских отложений, так и частичный их вынос во вмещающие толщи.

Кроме этого, определенную роль на формирование богатого оруденения в изученных разрезах, оказывает просачивание кислородосодержащих вод из неоген-четвертичных отложений в бобриковский горизонт. При этом происходит постепенный перенос Re, U и Mo вниз по разрезу и их накопление на первых встреченных восстановительно-сорбционных и восстановительно-сорбционно-щелочных барьерах с просачиванием в нижележащие карбонатные породы. На существование этого процесса указывает приуроченность максимальных содержаний Re-U-Mo к самым верхним прослоям углистых пород и к «надкарбонатному» слою, а также наличие повышенных содержаний данных элементов в кровле карбонатного цоколя.

Для дальнейшего уточнения морфологии ЗПО необходимо бурение широтных профилей оценочных скважин севернее изученного нами участка (для выявления «гематитового ядра» зоны окисления) и меридиональных детальных профилей, там, где рудная залежь имеет широтное простирание для выявления ее замковой зоны.

Технология подземного выщелачивания. Наличие ренийевого оруденения в проницаемых породах позволяет провести отработку этого месторождения методом скважинного подземного выщелачивания. К особенностям геологического строения БЖМ, существенно влияющим на технологию скважинного подземного выщелачивания, можно отнести: большую мощность ренийевого оруденения (десятки метров) при небольшой мощности урановых тел (до первых метров) в его пределах; насыщенность рудовмещающей толщи восстановителями (углем, сульфидами); наличие выдержанных водоупоров над и под оруденением. Внутри рудовмещающей толщи выделяются не выдержанные по простиранию прослои и линзы водоупоров, представленные углисто-алевритисто-глинистыми породами.

Небольшая мощность урановых тел внутри мощного ренийевого оруденения не позволяет рассчитывать на высокие концентрации U в продуктивных растворах при выщелачивании всей толщи ренийевого оруденения. При опробовании выщелачиваемости руд на месте залегания, проводимом ФГУП «Урангео», скважины были оборудованы фильтрами длиной 3,8 и 9,5 м непосредственно на интервалах рудного уранового тела или сближенных рудных тел. Даже в этом случае концентрации U не достигали промышленного минимума. При выщелачивании большого объема безрудных по урану пород концентрации U в продуктивных растворах можно ожидать еще ниже. Насыщенность

рудовмещающей толщи восстановителями требует большого количества окислителей в выщелачивающих растворах, что было установлено предшественниками [3]. Отсутствие внутри оруденения выдержанных водоупоров позволяет рассматривать ее как единую рудную залежь мощностью десятки метров (10–30 м), тогда как применяемая обычно длина фильтров для скважинного подземного выщелачивания не превышает 10 м.

Для определения оптимального состава выщелачивающего раствора были проведены лабораторные (агитационным методом) и натурные (методом экспресс-опробования [2]) исследования выщелачивающих растворов на основе пластовой воды с различными концентрациями перекиси водорода и добавлением различных концентраций серной кислоты или природных солей (бикарбоната и сульфата натрия в соотношении 4:1). Было выяснено, что концентрации Re в продуктивных растворах в основном зависят от концентрации перекиси водорода. Добавки природных солей незначительно повышают содержания Re. В качестве оптимального состава для выщелачивания рения был определен раствор на основе пластовой воды с добавкой перекиси водорода с концентрацией активного кислорода 300 мг/л. Использование в качестве выщелачивающего раствора для добычи рения пластовой воды рудоносного горизонта без добавок каких-либо других химических веществ, кроме пероксида водорода, помимо технико-экономических преимуществ, обеспечивает практически полную экологическую безопасность в контуре добычи.

Апробация технологии скважинного подземного выщелачивания проводилась в двух технологических скважинах односкважинным методом. Скважины были оборудованы фильтрами длиной 24 м на всю мощность рудной залежи. Для сброса продуктивных растворов использовалась третья скважина с таким же фильтром. Надфильтровое затрубное пространство всех скважин было зацементировано. По результатам опытных откачек коэффициент фильтрации составлял 7,5–23,72 м/сутки (в среднем 15,5 м/сутки). Достигнутый дебит и приемистость скважин — 5 м³/ч (по расчетам возможны 10 м³/ч). По данным расходомерии скважины характеризовались равномерным поглощением воды по всему интервалу фильтра.

Подготовка выщелачивающих растворов проводилась в специальной установке, состоящей из трех полипропиленовых емкостей объемом 6 м³, насосов для перемешивания и закачивания в скважины и системы полипропиленовых трубопроводов (рис. 6). Данный комплекс позволял проводить непрерывную круглосуточную закачку выщелачивающих растворов в скважины с производительностью 5 м³/ч. Также в поверхностный комплекс СПВ входили емкости для отстаивания продуктивных растворов и сорбционная колонна.

В скважины было закачено 3 000 м³ выщелачивающего раствора на основе пластовой воды и перекиси водорода и выкачено 8 500 м³ с отбором проб продуктивных растворов. Средняя концентрация Re в продуктивных растворах (в пересчете на закачанный объ-



Рис. 6. Сооружение подземного и наземного комплекса по скважинному подземному выщелачиванию

ем растворов) составила 0,5–0,6 мг/л, U — 0,1 мг/л, Mo — 1,79 мг/л. В целом результаты проведенных опытных работ с закачкой и откачкой больших объемов выщелачивающих и продуктивных растворов в течение длительного времени подтвердили результаты экспресс-опробования, когда закачка выщелачивающих растворов ограничивалась 2 м³, по результатам которого было достигнуто извлечение (при заложенном коэффициенте пористости 0,3) Re от 55 до 81 % при Ж:Т от 2,1 м³: 1 т до 1,6 м³: 1 т (рис. 7). Отличие заключалось лишь в кислой среде продуктивных растворов (рН = 4), полученных в опыте СПВ с большим объемом выщелачивающих растворов и продолжительностью проведения опыта. Кислая среда объясняется наличием в продуктивных растворах серной кислоты (до 86 мг/л), которая возникает при окислении сульфидов перекисью водорода.

Часть продуктивных растворов объемом 246 м³ была направлена на сорбционную колонну для сорбирования рения на анионит АИ-170. В результате сорбционно-десорбционных работ сотрудниками ОАО «ВНИИХТ» (В.А. Татарников, С.Е. Талтыкин и др.) был получен перренат аммония класса АР-1 ГОСТ 31411-2009. При этом извлечение рения из продуктивных растворов в анионит составило 98,75 %, а извлечение рения из анионита десорбцией составило 90,7 %. Отдельно были выполнены исследования сорбции молибдена анионитом А100 из маточника второй сорбции рения. Поскольку молибден концентрируется в маточниках второй сорбции, из растворов может быть получен парамолибдат аммония по стандартной схеме сорбционной переработки молибденсодержащих растворов. Годовое производство молибдена в виде парамолибдата аммония составит 1–2 т (1 % от стоимости производимого рения). Уран практически не извлекается анионитом при сорбции рения и не концентрируется в промежуточных продуктах технологии.

Все элементы разработанной авторами технологии защищены патентами (№ 2523892, 2014 г.; № 2535867, 2014 г.; и др.).

Выводы

На основе новых полученных результатов оценочных работ и апробации технологии скважинного подземного выщелачивания рения было составлено ТЭО временных кондиций для подсчета запасов рения на Брикетно-Желтухинском месторождении. Бортовое содержание Re для оконтуривания рудных интервалов по мощности принято 0,1 г/т, минимальный суммарный метротоннаж на пересечении (линейная продуктивность) для оконтуривания рудной залежи в плане — 6 м·г/т. Утвержденные ГКЗ запасы рения на Брикетно-Желтухинском месторождении составили 23 т по кат. С₂. Месторождение имеет перспективы увеличения запасов на флангах и на глубину. Извлечение урана из продуктивных растворов нецелесообразно.

На основе новых данных и синтеза представлений предшественников предлагается генетическая модель формирования оруденения БЖМ. Полиэлементная минерализация Скопинской площади изначально имеет синседиментационное происхождение, но наиболее богатое U-Mo-Re оруденение в северной части БЖМ несомненно сформировалось в результате переобогащения первичных концентраций под влиянием ЗПО, наступавшей с севера.

Особенности геологического строения и генезиса Брикетно-Желтухинского месторождения отличаются от типовых особенностей инфильтрационно-полиметалльных месторождений Притяньшанской мегапровинции и «палеодолинных» объектов Зауралья и Забайкалья. Для него характерна значительная удаленность первичных источников металлов (сотни километров) при небольшом размере объекта. Инфильтрационный этап развития ЗПО на БЖМ значим для формирования богатого оруденения, но не отвечает за формирование первичных концентраций элементов. Вышеуказанные различия в геологии и существенные отличия в технологии СПВ от урановых гидрогенных

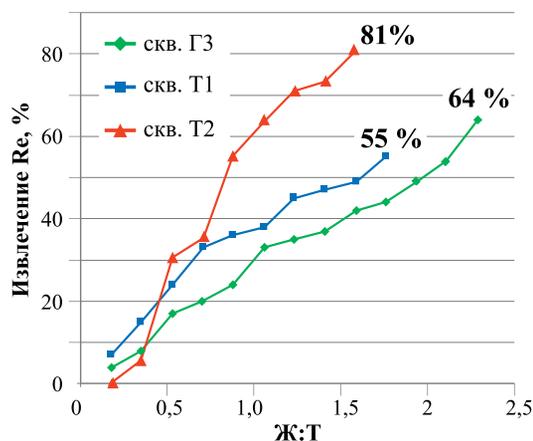


Рис. 7. Степень извлечения Re при СПВ в зависимости от отношения Ж:Т

месторождений, а также перспективы выявления сходных объектов вдоль южной границы Подмосквовского бассейна, позволяют рассматривать БЖМ как потенциально новый геолого-промышленный тип — синдиогенетическо-инфильтрационный ренийевый (с U и Mo) в рукавах палеоделты на контакте с бурогольными залежами на выклиниваниях локальных зон пластового окисления.

Авторы выражают благодарность за участие и помощь в работе О.В. Алтунину, С.Ю. Енгальцеву, О.Л. Коссовой, Е.Н. Левченко, О.А. Набелкину, А.А. Новгородцеву, В.Е. Перовскому, Е.О. Солениковой, С.Е. Талтыкину, В.А. Татарникову, А.Е. Фоменко, и др.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кременецкий, А.А. Бельское Re-Mo-U месторождение: минералого-геохимические особенности, условия формирования, технология извлечения рения / А.А. Кременецкий, Н.В. Лунева, И.М. Куликова // Разведка и охрана недр. — 2011 — № 6. — С. 33–40.
2. Культин, Ю.В. Методика выбора растворов для подземного выщелачивания на стадии предварительной разведки / Ю.В. Культин, И.Г. Абдульманов // Изв. вузов. Геология и разведка. — 1998. — № 1. — С. 127–131.
3. Культин, Ю.В. Оценка возможности разработки комплексного уран-молибден-ренийевого месторождения способом подземного выщелачивания / Ю.В. Культин, А.А. Новгородцев, А.Е. Фоменко, О.Н. Васюта, О.В. Алтунин // Горный журнал. — 2007. — № 6. — С. 47–51.
4. Максимова, М.Ф. Пластово-инфильтрационное рудообразование / М.Ф. Максимова, Б.М. Шмариович. — М.: Недра, 1993. — 160 с.
5. Методические рекомендации по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Радиоактивные металлы. — М.: ФГУ ГКЗ, МПР России, 2007.
6. Трач, Г.Н. Ресурсный потенциал рения территории России / Г.Н. Трач, С.М. Бескин // Разведка и охрана недр. — 2011. — № 6. — С. 26–32.

© Коллектив авторов, 2017

Карась Сергей Анатольевич // serge-karas@yandex.ru
Кременецкий Александр Александрович // nauka@imgre.ru
Орлов Сергей Юрьевич // nogik@mail.ru
Культин Юрий Владимирович // yukultin@yandex.ru
Шлычкова Татьяна Борисовна // shlychkova.tanya@yandex.ru

УДК 553.3/6.078(470.64)

Беляев Е.В. (ФГУП «ЦНИИгеолнеруд»), Маркин М.Ю.
(Институт аридных зон ЮНЦ РАН)

ПОЛИМИНЕРАЛЬНЫЕ РУДЫ МАЛКИНСКОГО БАЗИТ-УЛЬТРАБАЗИТОВОГО МАССИВА (СЕВЕР- НЫЙ КАВКАЗ)

Приводится геологическая и минерогенетическая характеристика Малкинского базит-ультрабазитового массива, с которым связаны перспективные объекты рудных (железные, никель-кобальтовые, медные, свинцово-цинковые и хромитовые руды) и нерудных (минеральные пигменты, гидромагнетит, цветные и облицовочные камни, асбест) полезных ископаемых. **Ключевые слова:** полиминеральная руда, базит-ультрабазитовый массив, Малкинский, Северный Кавказ.

Belyaev E.V. (TSNIIGeolnerud), Markin M.Yu. (Institute of arid zones SSC RAS)

POLYMINERAL ORES OF THE MALKINSKIY BASITE- ULTRABASITE MASSIF (NORTH CAUCASUS)

Contains information on the geological and mineragenic characteristics of the Malkinskiy basite-ultrabasite massif with which associated prospective objects of ore (iron, nickel-cobalt, copper, lead-zinc and chromite ores) and non-metallic (mineral pigments, hydromagnesite, colored and facing stones, asbestos) minerals. **Keywords:** ore-bearing mineral resource, basite-ultrabasite, Malkinskiy, North Caucasus.

Малкинский базит-ультрабазитовый массив (Зольский р-н Кабардино-Балкарской Республики) обнаружен в эрозионном врезе р. Малка в виде полосы длиной около 14 км при ширине до 3 км (с учетом эрозионных врезов притоков р. Малка — рр. Таза-Кол, Лахран, Гедмыш — ширина обнаженной части массива 8–10 км). В структурно-тектоническом отношении он приурочен к Карачаево-Черкесскому горст-антиклинорию Северо-Кавказского краевого массива. Минерогенетическая позиция [1] определяется нахождением в пределах Лабино-Малкинской подзоны (Северо-Кавказская зона Кавказской провинции).

Массив принадлежит дунит-гарцбургитовой формации (σ PR:PZ₁₋₂?) предположительно протерозойско-раннепалеозойского возраста и входит в состав офиолитового пояса Передового хребта Северо-Западного Кавказа. Указанная формация образует нижний слой офиолитовой триады (дунит-гарцбургитовая, габбро-плагиогранитовая и кремнисто-терригенно-вулканногенная формации). Все они являются фрагментами тектонических покровов, сложенных офиолитовыми, субдукционными и коллизионными геологическими комплексами [2]. В состав формации, помимо Малкинского, входят Беденский, Худесский, Кяфарский и другие массивы, сложенные серпентинизированными гарцбургитовыми перидотитами, реже лерцолитами, дунитами и горнблендитами [7].

Наиболее крупный из них — Малкинский массив — имеет линзообразную форму и пологое залегание с падением на север-северо-запад под углами 20–25° (рис. 1). Площадь выхода его на дневную поверхность составляет 44,3 км². Согласно геофизическим и буровым данным, массив представляет собой фрагмент тектонического покрова и образует вытянутую в широтном направлении линзу площадью 350–400 км², полого падающую на север.

В структурно-вещественном отношении строение Малкинского массива характеризуется наличием четырех петрографических разновидностей апопород: преобладающие серпентинизированные гарцбургиты, в меньшей степени лерцолиты, аподуниты и железистые апогарцбургиты. Наиболее поздней является фаза габброидных пород, прорывающих апогарцбургиты [6]. Указанные разновидности закономерно расположены в пространстве, образуя петрологическую зональность.