

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

**БРИКЕТНО-ЖЕЛТУХИНСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ
РЕНИЯ — НОВЫЙ ГЕОЛОГО-ПРОМЫШЛЕННЫЙ ТИП
ГИДРОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ: ОСОБЕННОСТИ
ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ПОД-
ЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ**

*По результатам оценочных работ на Брикетно-Желтухинском месторождении уточняется геологическое строение месторождения, описанное предшественниками, выявлена геохимическая зональность, на основе которой 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. **Ключевые слова:** рений, угленосный бассейн, геохимическая зональность, технология скважинного подземного выщелачивания, сорбция, Брикетно-Желтухинское месторождение.*

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

**BRIQUETTE-ZHELTUHINSKOE RHENIUM
DEPOSIT — A NEW GEOLOGICAL AND INDUSTRIAL TYPE
HYDROGENIC DEPOSITS: CHARACTERISTICS OF THE
GEOLOGICAL STRUCTURE AND TECHNOLOGY OF ISL**

*Using the estimation studies data, the authors clarified existing notions on geology of the deposit, revealed the geochemical zoning pattern and introduced a genetic model of the Re ore formation. The drillhole-based subterranean leaching technique was developed with ammonium perrenate as a commercial product. On the basis of the above, along with feasibility studies, the deposit's mineral reserves were officially registered by the State Commission on Mineral Reserves (GKZ). **Keywords:** rhenium, coal resource potential of a basin, geochemical zoning, drill-hole-based subterranean leaching technique, sorption, Briketno-Zheltukhinskoe mineral deposit.*

В настоящее время рений добывается как попутный компонент в основном из месторождений порфирового семейства. Альтернативным источником рения являются инфильтрационно-полиметалльные объекты, где рений добывается как сопутствующий компонент урана в продуктивных растворах скважинного подземного выщелачивания (СПВ). Проведенная в 2008–2009 гг. ФГУП «ИМГРЭ» оценка ресурсного потенциала МСБ рения на территории РФ показала, что наибольшим ресурсным потенциалом из основных рениеносных рудно-формационных типов месторождений обладает инфильтрационно-полиметалльный. Суммарные ресурсы рения по месторождениям инфильтрационно-полиметалльного типа 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 Re страны, из них большая часть (666 т условных C_2 , 82 % от локализованных ресурсов) находятся в Подмосковной

провинции [1, 6]. Наиболее изученным рениевым объектом в Подмосковной провинции является Брикетно-Желтухинское месторождение (БЖМ), расположенное в Скопинском районе Рязанской области (рис. 1).

В конце 1950-х годов Кировской экспедицией 1 ГГРУ Брикетно-Желтухинское месторождение было оценено как мелкое молибден-урановое месторождение с отрицательной оценкой возможности его отработки горным способом.

В 2005 г. специалистами «Горно-геологической экспедиции» ФГУП «Урангео» была дана положительная оценка перспектив отработки этого месторождения методом СПВ. Было установлено, что наиболее применяемые в практике СПВ сернокислотный и бикарбонатный растворы заметно уступают по эффективности растворам серной кислоты или пластовой воды с добавками кислорода. Кроме этого, было выявлено рениевое оруденение, мощность которого существенно превышала мощности урановых тел [3]. Однако отсутствие зон грунтово-пластового окисления, которые обычно являются важнейшим фактором формирования промышленных урановорудных объектов не позволило однозначно доказать принадлежность БЖМ к инфильтрационно-полиметалльному типу. Эпигенетические изменения окислительного ряда были выявлены лишь в кровле бобриковских отложений, где фиксировали нижнюю границу современной зоны поверхностного окисления, которая не сопровождалась повышением содержания урана и не являлась рудообразующей. Из-за отсутствия проявленности эпигенетического фактора, как рудообразующего и на основе других признаков высказывались предположения о близседиментационном накоплении U, Mo и Re в результате сорбции углистоглинистым веществом. Кроме этого, по данным натурных исследований на месте залегания урановых руд БЖМ, полученные концентрации U в продуктивных растворах (3–7 мг/л) [3] существенно уступали установленному минимуму в 20 мг/л [5], что не позволяло однозначно рассчитывать на рентабельность добычи урана. При этом концентрации Re в продуктивных растворах достигали 0,6–1,2 мг/л [3]. Это позволило апробировать прогнозные ресурсы Re для БЖМ по кат. P_1 в количестве 40 т, а для рудного поля по кат. P_2 в количестве 300 т.

В 2013–2015 гг. на Брикетно-Желтухинском месторождении ФГУП «ИМГРЭ» провело оценочные работы с целью определения его промышленной значимости, где рений впервые рассматривался как основной полезный компонент. Полученные новые данные об особенностях геологического строения и существенные отличия в технологии подземного выщелачивания позволяют рассматривать рениевое оруденение БЖМ как потенциально новый геолого-промышленный тип гидrogenных месторождений.

Особенности геологического строения. В региональном плане БЖМ локализовано на юго-восточном фланге Подмосковного угленосного бассейна. Уран-молибден-рениевое оруденение БЖМ приурочено к песчаным отложениям бобриковского горизонта нижневизейского подъяруса нижнего карбона, слагаю-

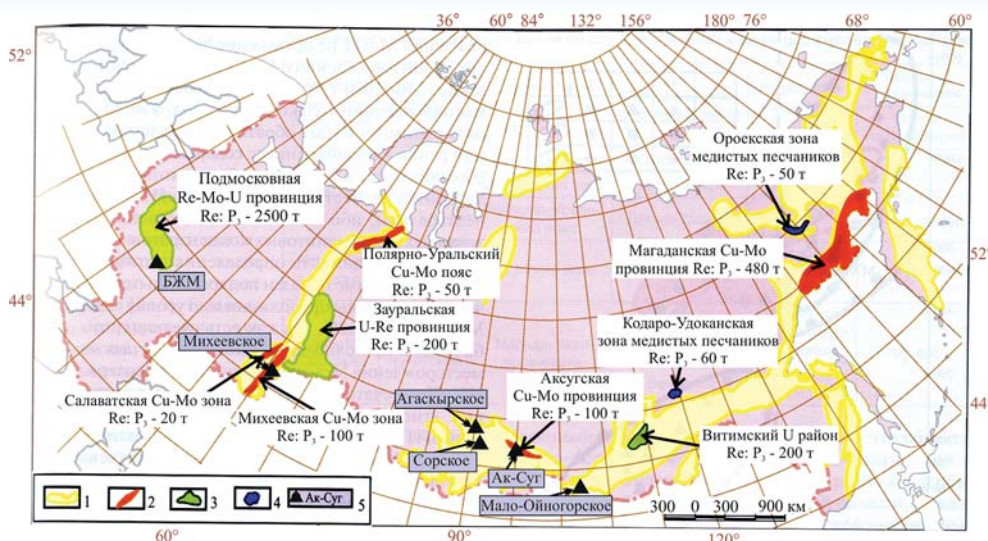


Рис. 1. Прогнозная карта рениености территории России [6]: 1–4 — перспективные рениеносные площади: 1–2 — с оруденением медно-порфирового семейства: 1 — мегапояса, 2 — провинции и рудные районы; 3 — пояса с оруденением инфильтрационно-полиметаллического типа; 4 — провинции медистых песчаников; 5 — месторождения с уточненным Государственным балансом запасов рения

щим русловые и старичные комплексы Скопинской палеореки (рис. 2).

На площади Брикетно-Желтухинского месторождения на верхнефаменском «карбонатном фундаменте», как правило, залегают углефицированные глинистые породы с большим количеством углей, сульфидов, обломков карбонатных пород и карбонатные глины, возможно более раннего возраста, чем отложения бобриковского горизонта (рис. 3). Выше — нижневизейские бобриковские отложения представлены в основном прирусловой фацией: серыми средне-мелкозернистыми песками с пластами и линзами углесто-алевритисто-глинистых пород, обломками углей и сульфидов; реже крупно- и разномелкозернистыми песками русловой фации. Рудовмещающая толща перекрыта неоген-четвертичными бурыми, коричневыми, желтыми песками и глинами мощностью 40–50 м, в нижней части которых прослеживается выдержанный пласт слабопроницаемых глинисто-алевритистых пород мощностью 1–10 м.

По результатам оценочных работ ФГУП «ИМГРЭ» в низах перекрывающей толщи выявлен базальный горизонт, сложенный песками (до грубозернистых), мощностью до первых десятков сантиметров, насыщенный гравийными обломками кварца, кремней, нередко обломками окремнелых известняков верхневизейско-серпуховского возраста. К данному прослою приурочен тонкий кремневый горизонт мощностью 5–10 см, состоящий из массивных кремней или отдельных желваков, в большинстве случаев локализованный в пределах гипсометрического уровня 108–110 м, ограничивающий (в большинстве случаев) распространение рениевой минерализации сверху. По данным анализа ICP MS 25 проб кремней Re обнаружен в 18 пробах с содержанием 0,01–0,332 г/т. Среднее содержание Re в кремнях составляет 0,05 г/т. Проникновение рениевых растворов в плотные уже сформированные сливные кремни представляется затруд-

нительным. Поэтому повышенная рениеносность кремней указывает на то, что либо рений «захвачен» из вмещающих пород при пропитывании их кремнекислым раствором, либо принесен с данным раствором.

На Брикетно-Желтухинском месторождении почти вся толща бобриковского горизонта мелко-среднезернистых кварцевых песков, обогащенных органическим детритом и сульфидом, 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 рудные проявления 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 углесто-глинистых пластах мощностью 5–10 см (40–583 г/т), причем

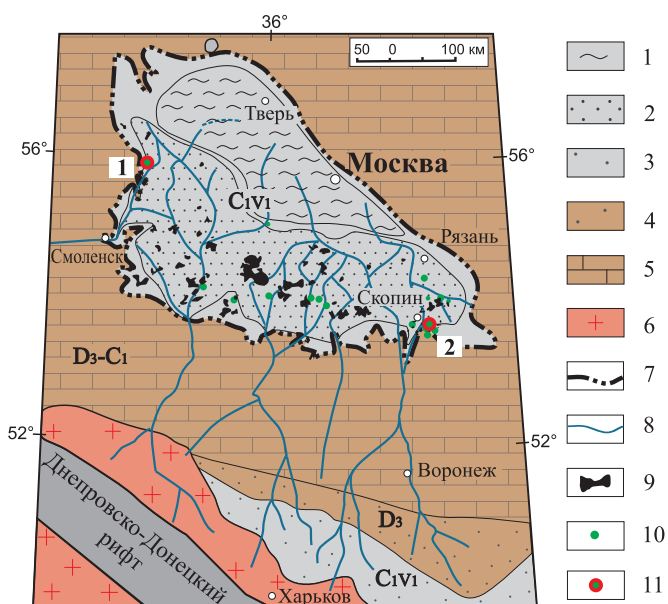


Рис. 2. Схематическая карта палеорекострукции локализации уран-рениевого оруденения в Подмосковном буроугольном бассейне: 1–3 — раннекаменноугольные ранневизейские отложения: 1 — преимущественно глинистые (озерная фация), 2 — преимущественно песчаные (дельтовая фация бобриковских палеорек), 3 — песчаные (фации аллювия); 4 — позднедевонские терригенные отложения (прибрежная фация); 5 — позднедевонско-раннекаменноугольные карбонатно-терригенные отложения; 6 — выступы докембрийского кристаллического фундамента; 7 — граница визейского Подмосковного буроугольного бассейна; 8 — русла палеорек; 9 — залежи бурого угля; 10 — проявления урана; 11 — урановые месторождения с установленной рениевой минерализацией (1 — Бельское, 2 — Брикетно-Желтухинское)

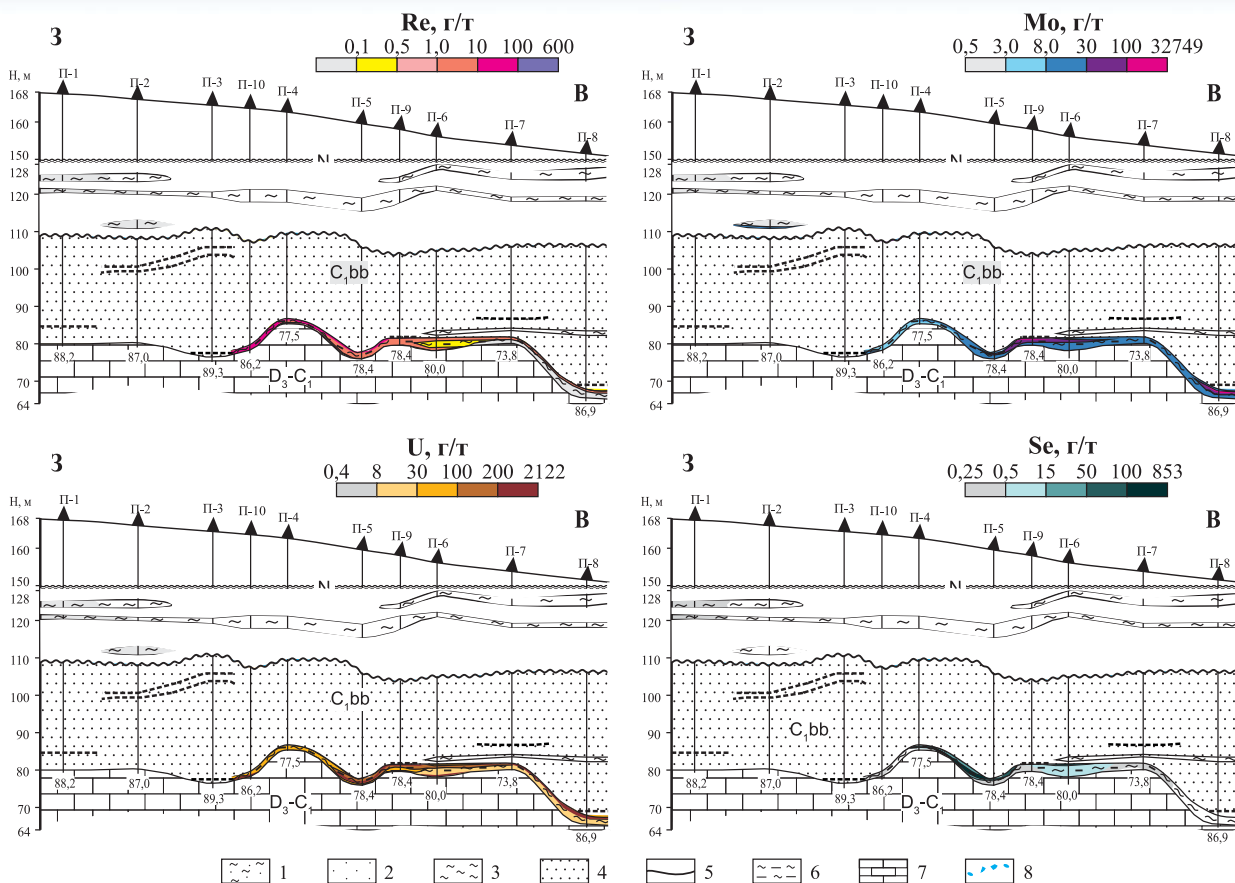


Рис. 3. Геолого-геохимические разрезы по линии профиля скважин П1–П8 на Брикетно-Желтухинском месторождении: 1 — четвертично-неогеновые глины и пески; 2–3 — неогеновые отложения: 2 — пески, 3 — алеврит-глинистые отложения; 4–5 — нижнекаменноугольные отложения бобриковского горизонта: 4 — пески, 5 — немасштабные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

наиболее высокие содержания приурочены к пластам этих пород в кровле рудной залежи (рис. 4). В песках, прилегающих к пластам и линзам углисто-глинистых пород, содержание рения составляет 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 возрастать.

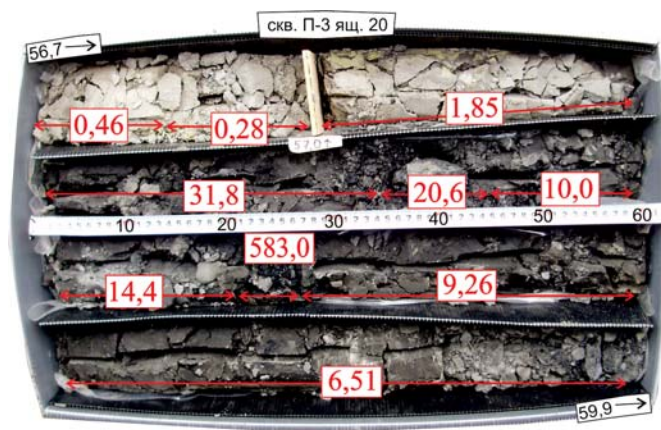


Рис. 4. Фото рудного керна БЖМ с поинтервальными содержаниями Re (г/т)

В карбонатном цоколе 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 терригенных прослоях содержание Re достигает 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–0,0n %. Повышенные содержания Se выявлены в основном на севере площади в нижней части разреза (рис. 3).

По данным минералогического анализа рудных проб песчаных, 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 %). В пробах также установлены: марказит, аргентит, вульфенит, медь самородная с примесью серебра (13 %), галенит, сфалерит с примесью Cd (до 3 %), пентландит, циркон, монацит, кальцитит, уранинит, галенит, смесь халькозина (Cu_2S) и аргентита, стибнит, селен самородный, каусталит (С.Ю. Енгальчев, ВСЕГЕИ). Форма нахождения рения не установлена. Наиболее распространенная форма нахождения

урана — сорбционная, реже встречается коффинит и нингионит. Молибден представлен молибденитом и иордзитом размером не превышающем один мкм [3].

В плане рениевое оруденение и наиболее продуктивная U-Мо 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 борта палеорусла продуктивность Re, U и Мо в прирусловых и пойменных отложениях снижается. Рениевое оруденение и наиболее продуктивная U-Мо минерализация образуют лентообразные тела вдоль бортов палеорусел. Исключение составляет северная часть месторождения, где кроме лентообразных тел рениевого оруденения и U-Мо минерализации, конформных бортам палеорусел, основной объем рениевого оруденения и часть U-Мо минерализации имеет широтное простираание — поперек палеодолины.

По результатам оценочных работ ФГУП «ИМГРЭ» севернее этого оруденения выявлена зона резкого снижения продуктивности Re, U и Мо и максимальной продуктивностью по Se в бобриковских отложениях. Здесь на разрезе по профилю скв. №№ 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, Мо и Se для «надкарбонатного» слоя максимальна (рис. 3). Керна скважин из зоны «разрыва» рениевого оруденения отличается от рудного керна более светлой окраской: от светло-серой до беловатой. По данным минералогического анализа песчаные отложения бобриковского горизонта из зоны «разрыва» рениевого оруденения содержат незначительное количество сульфидизированных обломков углей и сульфидов (в верхней части 0,2–0,3 %, в нижней части до 1 %), также незначительное количество гидроокислов железа и окисленных сульфидов. В рудном керне песчаных

отложений из соседних скважин содержание сульфидизированных обломков углей и сульфидов составляет >3 %, также может быть существенным количество гидроокислов железа и окисленных сульфидов.

Подобная зональность типична для пластово-инфильтрационного процесса [4], когда селеновый ролл оказывается «вложенным» в урановый, а рениевый ролл (в целом совмещающийся с урановым) может быть несколько смещен в сторону фронтальной части зональности. Выявленная геохимическая зональность северной части Брикотно-Желтухинского месторождения согласуется с данными о современном направлении 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 Брикотно-Желтухинского месторождения движение подземных вод имеет юго-восточное направление. Соответственно, зону окисления (гематитовое ядро) можно ожидать севернее, за пределами изученного участка.

С учетом вышеизложенного к особенностям локализации рениевого оруденения и U-Мо минерализации на Брикотно-Желтухинском месторождении можно отнести следующие:

1) Брикотно-Желтухинское месторождение и целый ряд урановых проявлений локализованы в дельтовых отложениях южной части Подмосковского бассейна, приуроченных к контактам палеорусел с угольными залежами (рис. 2);

2) основная часть Re-U-Мо минерализации проявляется во всей толще бобриковских отложений, насыщенных такими восстановителями, как углистый детрит, обломки углей и сульфиды железа. Максимальные содержания проявлены в углисто-алевритисто-глинистых слоях мощностью 5–10 см без видимой связи с зонами грунтово-пластового окисления;

3) Re-U-Мо минерализация локализована в отложениях прирусловой фации и образует лентообразные тела вдоль бортов палеорусел;

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

5) наличие Re-U-Мо минерализации в кровле карбонатного цоколя;

6) основной объем рениевого и U-Мо оруденения окаймляет область бобриковских отложений с мини-

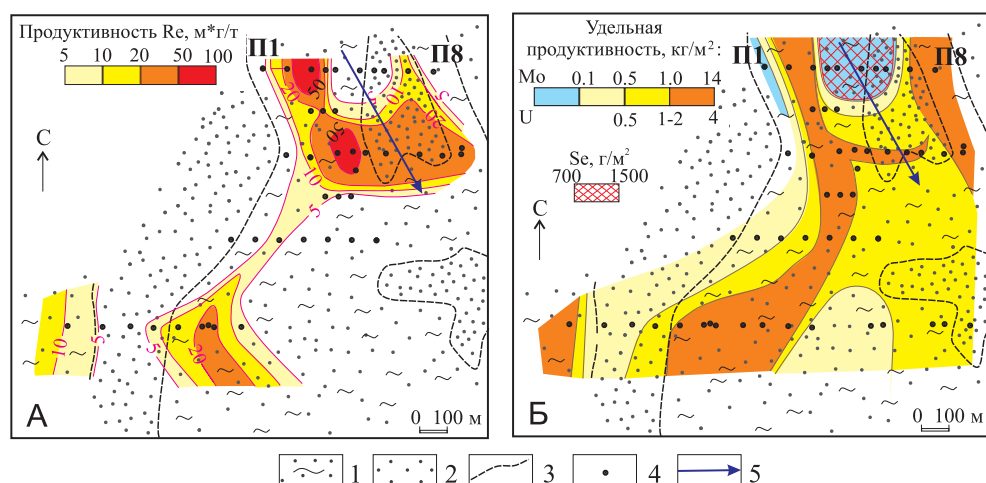


Рис. 5. Изолинии продуктивностей рениевого оруденения (А), и селен-уран-молибденовой минерализации (Б) на литолого-фациальной схеме бобриковского горизонта Брикотно-Желтухинского месторождения: 1 — пески с прослоями и линзами углистых глин, углей, алевритов (прирусловые отложения); 2 — пески разномелкозернистые 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

мальной продуктивностью Re, U и Mo и с максимальной продуктивностью Se.

С учетом вышеуказанных особенностей можно предположить, что Re, U и Mo, мобилизованные в области размыва (Днепровско-Донецкий рифт) и переносимые речными потоками, достигая заболоченной озерной впадины Подмосковского бассейна, осаждались органическим и глинистым веществом в периферических зонах болот и в заболоченных старицах на восстановительном барьере. Садка металлов происходила преимущественно не в осадках выполнения русел, а при фильтрации вод, содержащих металлы, через слагающие борта палеорусел пойменные и старичные песчаные толщи, обогащенные органикой (в виде прослоев торфа и рассеянного детрита). Фильтрация вод могла происходить между руслами и старичными озерами с различным уровнем водного зеркала. В периоды затопления впадины Подмосковского бассейна уран накапливался в озерных осадках около приустьевых частей рек, также сорбируясь органическим и глинистым веществом. Этот процесс приводил к образованию Re, U и Mo минерализации, не представляющей промышленного интереса.

Приуроченность максимальных содержаний к верхним пластам углистых пород (в центре рудной залежи в верхней части бобриковских отложений, на флангах в средней и нижней части) в «надкарбонатном» слое и наличие Re-U-Mo минерализации в кровле карбонатного цоколя позволяют предполагать просачивание кислородосодержащих вод из неоген-четвертичных отложений в бобриковский горизонт с постепенным выносом Re, U и Mo вниз по разрезу и перетолжением их на первых восстановительно-сорбционном и восстановительно-сорбционно-щелочном барьерах и просачиванием в нижележащие карбонатные породы.

Основной объем рениевого и U-Mo оруденения в северной части месторождения, очевидно, образовывался за счет перетолжения Re, U и Mo, вынесенных из бобриковских отложений кислородосодержащими водами, проникающими в них через современные речные врезы в эти отложения к северу от месторождения. Признаком этого процесса является выявленная окислительно-восстановительная зональность ($Se \rightarrow U, Mo, Re \rightarrow Re$).

Таким образом, наиболее убедительно предположение о том, что основная часть Re-U-Mo минерализации имеет син- и близседиментационное происхождение, тогда как основная часть рениевого и наиболее богатое U-Mo оруденения в северной части месторождения сформировались все-таки в результате грунтово-пластового окисления, которое существенно обогатило первичные содержания этих элементов. Доказательством этого процесса могли бы послужить результаты бурения широтных профилей оценочных скважин севернее изученного участка для выявления собственно зоны окисления (гематитового ядра) и меридиональных детальных профилей, где рудная залежь имеет широтное простирание для выявления замковой части залежи.

Технология подземного выщелачивания. Наличие рениевого оруденения в проницаемых породах позволяет провести отработку этого месторождения методом

скважинного подземного выщелачивания. К особенностям геологического строения БЖМ, существенно влияющим на технологию СПВ, можно отнести большую мощность рениевого оруденения (десятки метров) и небольшую мощность урановых тел (до первых метров) в его пределах, насыщенность рудовмещающей толщи восстановителями (углем, сульфидами), наличие выдержанных водоупоров над и под оруденением, тогда как внутри рудовмещающей толщи выделяются не выдержанные по простиранию прослои и линзы водоупоров, представленные углисто-алевритисто-глинистыми породами.

Небольшая мощность урановых тел внутри мощного рениевого оруденения не позволяет рассчитывать на высокие концентрации U в продуктивных растворах при выщелачивании всей толщи 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 [3]. 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 обычно применяемая 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 перекиси 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 фильт-

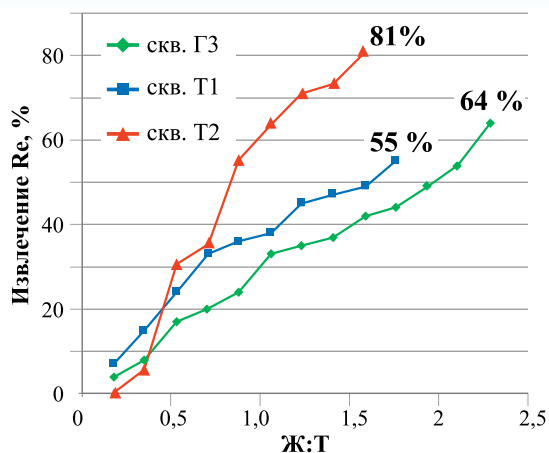


Рис. 6. Степень извлечения Re при СПВ в зависимости от Ж:Т

ром. Надфильтровое затрубное пространство всех скважин было зацементировано. По результатам опытных откачек коэффициент фильтрации составлял 7,5–23,72 м/сут. (в среднем 15,5 м/сут.). 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 установке, состоящей из трех полипропиленовых емкостей объемом 6 м³, насосов для перемешивания и закачивания в скважины системы полипропиленовых трубопроводов. 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 закаченный объем 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. 6). Отличие заключалось лишь в кислой среде продуктивных растворов (pH — 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 AP-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). Извлечение урана из продуктивных растворов нецелесообразно. 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.).

На основе полученных результатов оценочных работ и апробации технологии скважинного подземного выщелачивания рения было составлено и утверждено в ГКЗ 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 метрограмм на пересечении (линейная продуктивность) для оконтуривания рудной залежи в плане — 6 м*г/т. На основе принятых временных кондиций запасы рения по кат. С₂ на Брикетно-Желтухинском месторождении составили 23 т, при этом месторождение имеет перспективы увеличения запасов Re на флангах и на глубину.

Учитывая особенности геологического строения и положения Брикетно-Желтухинского месторождения, отличающиеся от особенностей инфильтрационно-полиметальных месторождений и указывающие на иной генезис месторождения, а также существенные отличия в технологии скважинного подземного выщелачивания и перспективы выявления подобных объектов юга Подмосковского угольного бассейна, позволяют рассматривать БЖМ, как потенциально новый геолого-промышленный тип гидрогенных месторождений.

Авторы выражают благодарность за участие и помощь в работе О.В. Алтунину, С.Ю. Енгальцеву, Е.Н. Левченко, А.А. Новгородцеву, В.Е. Перовскому, 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.Н. 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. Абдулманов // Изв. вузов. Геология и разведка. — 1998. — № 1. — С. 127–131.
3. Культин, Ю.В. Оценка возможности разработки комплексного уран-молибден-рениевого 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.

6. Трач, Г.Н. Ресурсный потенциал рения территории России / Г.Н. Трач, С.М. Бескин // Разведка и охрана недр. — 2011. — № 6. — С. 26–32.

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

Быховский Л.З. (ФГБУ «ВИМС»), Архипова Н.А. (ФГУП «ИМГРЭ»)

*Показано состояние минерально-сырьевой базы важнейших редких металлов, выделены разрабатываемые месторождения и первоочередные объекты для промышленного освоения и проведения дальнейших геологоразведочных работ. Существующая минерально-сырьевая база позволяет не только удовлетворить потребности в сырье, но и выйти с разнообразной редкометалльной продукцией на мировой рынок. **Ключевые слова:** минерально-сырьевая база, редкие металлы, техногенные образования, месторождения, потребление и производство редких металлов.*

RARE METAL RAW MATERIALS IN RUSSIA: PROSPECTS FOR EXPLORATION AND DEVELOPMENT OF MINERAL RESOURCES

*Shows the status of mineral resources base of critical rare metals selected deposits and priority areas for industrial development and further exploration. The existing mineral resource base allows us not only to meet the need for raw materials, but also to come up with a variety of rare metal products to the world market. **Keywords:** mineral base, rare metals, industrial deposit, consumption and production of rare metals.*

К редким металлам в России принято относить 35 элементов: литий, рубидий, цезий, бериллий, стронций, кадмий, скандий, галлий, редкоземельные металлы (иттрий и 15 лантаноидов) (РЗМ), индий, таллий, германий, цирконий, гафний, ванадий, ниобий, тантал, селен, теллур, рений. К стратегическим видам минерального сырья относятся 19: литий, бериллий, ниобий, тантал, цирконий, скандий, германий, рений и редкоземельные металлы иттриевой группы (рис. 1). Один из основных показателей принадлежности редких металлов к таковым — объем их мирового потребления — резко различается. Наибольшим объемом потребления характеризуется цирконий (1,4 млн. т цирконового концентрата), стронций (320 тыс. т целестинового концентрата) и РЗМ (124 тыс. т оксидов). Мировое потребление ванадия, ниобия, лития и кадмия измеряется десятками тысяч

Потребление редкоземельных металлов также существенно различается по объемам. Более 80 % приходится на металлы цериевой группы. Однако к стратегическим видам сырья относятся иттрий и металлы иттриевой группы.

Редкие металлы в одних случаях формируют собственные месторождения (в большинстве комплексные), в других — являются попутными компонентами в месторождениях других видов сырья. Собственные место-

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII		
H								He	
Li	Be	B	C	N	O	F	Ne		
Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar		
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni
Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr		
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd
Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe		
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt
Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn		
Fr	Ra	Ac	Ku						
Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho
Er	Tm	Yb	Lu						
Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es
Fm	Md	No	Lr						

Рис. 1. Редкие металлы в таблице Д.И. Менделеева (стратегические в кругах)

Таблица 1
Объем мирового потребления редких металлов в 2015 г.

Элемент/ оксид	Объем потребления		
	высокий (>100 тыс. т), тыс. т	средний (>1 тыс. т), тыс. т	низкий (тонны), т
ZrO ₂	920	—	
Sr	190	—	
TR ₂ O ₃	124	—	—
V	—	80	—
Nb	—	56	—
Li	—	32	—
Cd	—	22	—
Se	—	2,2	—
Ta	—	1,6	—
In	—	—	770
Ga	—	—	435
Be	—	—	300
Ge	—	—	165
Te	—	—	150
Hf	—	—	95
Re	—	—	59
Tl	—	—	10
Cs	—	—	10
Rb	—	—	5
Sc	—	—	5

MCS 2016, расчеты ИМГРЭ