

УДК 553.495'462.078.2(470.31)

С. Ю. ЕНГАЛЫЧЕВ, А. А. ПУГОВКИН, Г. Б. ЛЕБЕДЕВА (ВСЕГЕИ)

ГЕОЛОГО-СТРУКТУРНЫЕ КРИТЕРИИ ЛОКАЛИЗАЦИИ УРАН-МОЛИБДЕН-РЕНИЕВОГО ОРУДЕНЕНИЯ В ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ПОДМОСКОВНОГО БАСЕЙНА

Уран-молибден-рениевое оруденение, приуроченное к угленосным отложениям визейского яруса нижнего карбона юго-восточной части Подмосковного бассейна, сегодня рассматривается как новый сырьевой источник рения. На основе изучения геологического строения осадочного чехла и фундамента и истории геологического развития выработаны геолого-структурные критерии локализации комплексного оруденения. Проведенный минерогенетический анализ позволил выделить перспективные площади первой и второй очереди для постановки поисковых работ.

Ключевые слова: уран, молибден, рений, Подмосковский бассейн, Русская плита, металлогения.

Uranium-molybdenum-rhenium mineralization which is confined to the Visean Lower Carboniferous coal-bearing deposits of south-eastern part of the Moscow Basin is currently considered as a new raw material source of rhenium. Based on the analysis of the geological structure of the sedimentary cover and basement history of geological development geological and structural criteria of localization of complex mineralization is worked out. Based on given mineragenetic analysis, primary and second primary prospecting areas of the first and the second stage for explorations.

Keywords: uranium, molybdenum, rhenium, Moscow Basin, Russian Plate, metallogeny.

В угленосных отложениях нижнего карбона Подмосковного бассейна, расположенного в центральном районе Русской плиты, еще в середине прошлого века в результате массовых поисков урана выявлены комплексные (U-Mo-Re) урановые рудопроявления и Бельское и Брикетно-Желтухинское месторождения. Однако из-за невысокого качества сырья они не имели промышленного значения.

Как известно, на эпигенетических месторождениях урана часто в составе руд присутствуют молибден, а также рений, селен, скандий, ванадий, иттрий и редкие земли. При условии эффективного извлечения из руд этих ценных элементов некоторые урановые объекты могут быть отнесены к разряду рентабельных.

В последние годы значительно возрос интерес исследователей к поискам на территории России рениевого оруденения с целью формирования отечественной минерально-сырьевой базы этого редкого (кларк Re $1 \cdot 10^{-7}\%$) и остродефицитного элемента. Особый интерес вызывают комплексные (U-Mo-Re) урановые руды Подмосковного бассейна, содержащие рений.

На Брикетно-Желтухинском месторождении высокие концентрации рения были установлены попутно с ураном в результате работ ФГУП «Уран-гео» 2005 г. Было показано, что для промышленного освоения комплексных руд этого месторождения может быть использован метод скважинного подземного выщелачивания.

Пока не решен вопрос о генезисе уранового оруденения Брикетно-Желтухинского месторож-

дения и перспективах соседних территорий на выявление комплексных урановых руд с рениевой специализацией. Нами обобщены имеющиеся фондовые и литературные материалы по восточной части Подмосковного бассейна, для уточнения тектонического строения района выполнено дешифрирование материалов космического зондирования, предложена геолого-генетическая модель формирования комплексного уранового оруденения, разработаны геолого-структурные критерии и выделены перспективные площади для постановки работ.

В геологическом отношении урановые объекты приурочены к палеодолинам раннекаменноугольного возраста (рис. 1). В районе исследований, расположенном в восточной части Подмосковного бассейна, откартирована долина палео-Оки субширотного простирания, огибающая северный склон Воронежского свода с истоками в районе Козельска, Калуги и Боровска. Далее она прослеживается в направлении Серпухова и Рязани и по Рязано-Саратовскому прогибу продолжается как Рязано-Саратовская палеорека. Бассейн палео-Оки включает в себя ряд субмеридионально ориентированных правых притоков (палеорек): Рановскую, Скопинскую, Древне-Пронскую (Веневскую), Шекинско-Обидинскую, Ханинскую, Козельско-Калужскую. Общая длина палео-Оки 800–900, длина правых притоков 100–150 км.

Палеодолины выработаны в толще глинисто-карбонатных отложений верхнего девона – нижнего карбона, породы кровли этого комплекса, сло-

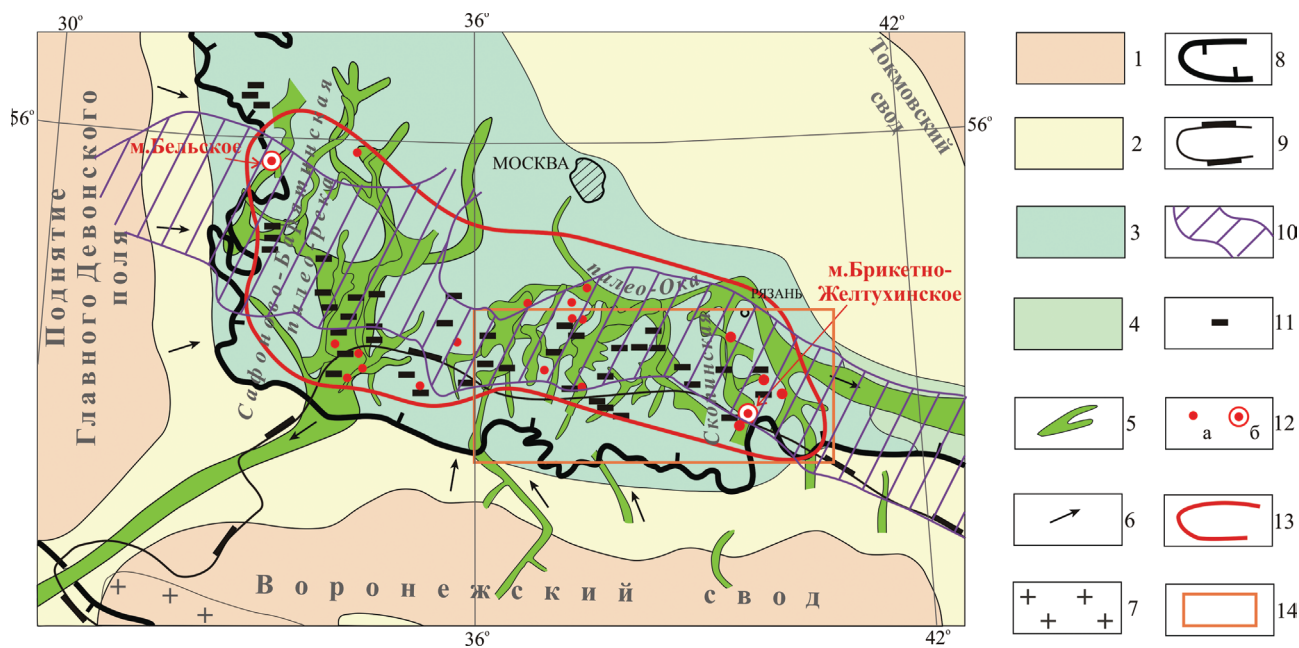


Рис. 1. Схема размещения Подмосковского потенциального урановородного района, составленная на палеогеографической схеме ранневизейской эпохи (по материалам ВСЕГЕИ и ФГУП «Урангео»)

1–6 – палеогеографические элементы ранневизейского времени: 1 – пенеплен слаборасчлененный, 2 – равнины денудационные, с локальной аккумуляцией, 3 – равнины озерно-болотные и озерно-аллювиальные (области формирования боксит-угленосной формации), 4 – равнины аллювиально-дельтовые, 5 – речные долины, 6 – главные направления сноса обломочного материала; 7 – породы архей-протерозойского фундамента, выходящие на нижневизейскую поверхность; 8 – граница современного распространения визейских отложений; 9 – граница Воронежской антеклизы; 10 – межблоковая Торопец-Рязано-Саратовская мегазона, разделяющая Сарматский и Волго-Уральский блоки фундамента; 11 – месторождения бурого угля; 12 – урановое и комплексное U-Mo-Re оруденение: проявления (а), месторождения (б); 13 – Подмосковский потенциально урановородный район; 14 – район исследований

женного известняками упинского горизонта, получили местное название «известковый фундамент». Глубина врезов в него около 20–30 м, а мощность отложений палеодолин достигает 80 м и более. Оси палеодолин, как правило, контролируются зонами тектонической нарушенности «известкового фундамента». Палеодолины характеризуются повышенными мощностями яснополянско надгоризонта и высокой песчаностью. Другой особенностью палеодолин, в частности Скопинской палеодолины, является наличие в яснополянском надгоризонте на границе русловых и пойменных отложений участков, характеризующихся переслаиванием и выклиниванием маломощных глинисто-алевритистых разностей, которые подстилаются интенсивно дробными, ожелезненными, почти черными известняками (за счет насыщения пылевидным органическим веществом) с частой сетью мелких прожилков кальцита и кварца.

Характерная особенность размещения комплексного уранового (U-Mo-Re) оруденения в палеодолинах – его приуроченность к изометричным расширениям и изменениям конфигурации палео-русла, где наблюдается увеличение мощности рудовмещающих отложений. На таких участках продуктивность бобриковских отложений резко возрастает в связи с обогащением песков линзами, катунами, обрывками углистых пород, содержание урана в которых увеличивается до $n \times 10^{-1}\%$. В разрезе оруденение носит урочный характер распределения с линзовидно-пластовой морфологией рудных тел. Прослой углистых пород мощностью до 2–3 м равномерно обогащены ураном на уровне $n \times 10^{-3}\%$, в краевой же части по контакту с крупнозернистыми песками, отражающему явление

внутриформационных размывов, содержание урана увеличивается до $n \times 10^{-2}\%$.

В качестве эталонного объекта Подмосковского бассейна рассматривается комплексное урановое (U-Mo-Re) Брикетно-Желтухинское месторождение, расположенное в восточной части бассейна (рис. 2, 3). Кроме месторождения в этой части бассейна есть еще ряд проявлений урана: Нецаевское, Казначеевское, Лаптевское, Виригинское, Щекинское, Северо-Алексеевское, Юраковское, Волковское, Западно-Скопинское, Восточно-Вердинское.

На Брикетно-Желтухинском месторождении оруденение сосредоточено в породах бобриковско-тульского надгоризонта мощностью 35–40 м, который подстилается «известковым фундаментом» и перекрывается морскими песчано-глинистыми отложениями юры и неогена мощностью 20–50 м. Рудные залежи линзо-, пласто- и лентообразной морфологии. Карбонатность пород менее 0,1% (единичные пробы 0,62%). Содержание $S_{орг}$ и $S_{пир}$ в песках изменяется от 0,0 п% (уплотненные белочетные пески) до ~ 10% (черноцветные пески).

Мощность урановородных интервалов от 0,10 до 2,85, средняя суммарная по скважинам 2,4 м (от 0,35 до 4,70). Глубина залегания оруденения 40–80 м. Средневзвешенные содержания урана по сечениям от 0,010 до 0,053, в среднем 0,019%. Редкие металлы в рудах месторождения определены спектральным анализом в лаборатории Невского ПГО. Средняя суммарная продуктивность по скважинам 0,046 при диапазоне 0,010–0,077 м%. Коэффициент радиоактивного равновесия (K_{pp}) 0,78. Наиболее широко распространена безминеральная сорбционная форма, реже обнаруживаются оксид урана и еще реже тонкодисперсные образования

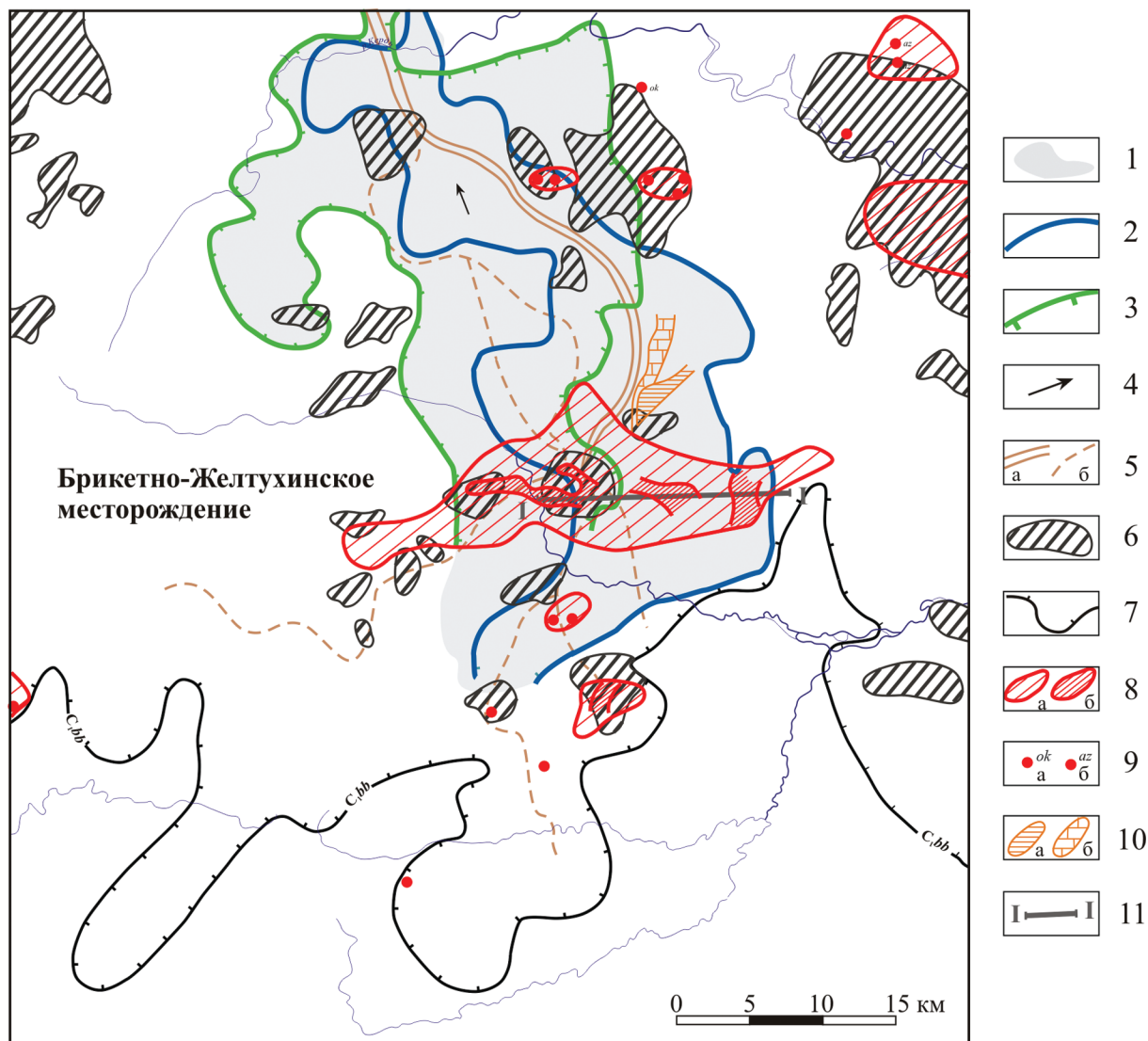


Рис. 2. Схема Брикетно-Желтухинского месторождения, расположенного в южной части Скопинской палеодолины (по материалам ВСЕГЕИ и ФГУП «Урангео»)

1 – область распространения проницаемых отложений яснополянского горизонта (C,jp) – южная часть Скопинской палеодолины; 2, 3 – границы распространения преимущественно песчаных разностей русловых и пойменных отложений в толще пород: 2 – бобриковского (C,bb) и 3 – тульского (C,tl) горизонтов; 4 – направление транспортировки обломочной палеореки; 5 – осевая часть русла Скопинской палеодолины (а), притоки (б); 6 – угольные залежи рабочей мощности; 7 – южная граница распространения отложений яснополянского горизонта; 8–11 – урановое оруденение: 8 – в отложениях яснополянского горизонта 0,005–0,01% (а) и более 0,01% (б), 9 – аномалии радиоактивности вне поля месторождения (интенсивность 50–100 мкР/ч): а – в отложениях яснополянского горизонта, б – в отложениях окского (ok) и азовского (az) горизонтов, 10 – поля повышенных значений величины естественной радиоактивности: а – в отложениях тульского горизонта, б – в карбонатных породах окского горизонта (более 1000 мкР/ч), 11 – линия разреза I–I (разрез на рис. 3)

коффинита и нингиюита. Присутствует многокомпонентное электронно-аморфное вещество, содержащее уран, железо, серу, молибден и пр. Рудные минералы располагаются в слоистых алюмосиликатах, углистом веществе, в виде присыпки на кристаллах пирита и пленочных образований на углистом веществе.

Мощность молибденосодержащих интервалов ($C_{\text{борг}} = 0,005\%$) от 0,10 до 5,40, средняя 2,73 м, содержание от 0,007 до 0,410 при средневзвешенном 0,040%, продуктивность от 0,003 м% (0,05 кг/м²) до 0,994 (16,9), средняя 0,109 м% (1,84 кг/км²). Молибден представлен чешуйчатыми и таблитчатыми кристаллами молибденита и призматическими кристаллами иордизита.

Рений образует наиболее широкий ореол, мощность которого по $C_{\text{борг}} = 0,5$ г/т от 8,6 до 21,60 м,

в среднем 14,3 м. Содержания рения внутри выделенных интервалов колеблются от 0,п до 150 г/т. Средневзвешенные содержания по скважинам в проницаемых породах от 0,5 до 11,8, в среднем 3,37 г/т, суммарная продуктивность от 17,88 до 113,28 мг/т, в среднем 48,19 мг/т (0,081 кг/м²). Минеральные формы рения не установлены.

Ореол селена, выделенный по $C_{\text{борг}} 18$ г/т, прослеживается в верхней части комплексного оруденения и тяготеет преимущественно к светлосероцветным пескам. Минеральная форма селена не установлена. На месторождении отмечаются повышенные концентрации серебра и редких земель. Зафиксированы эпигенетические изменения окислительного ряда.

Уровень подземных вод в районе месторождения находится на глубине около 16 м. Коэффициент

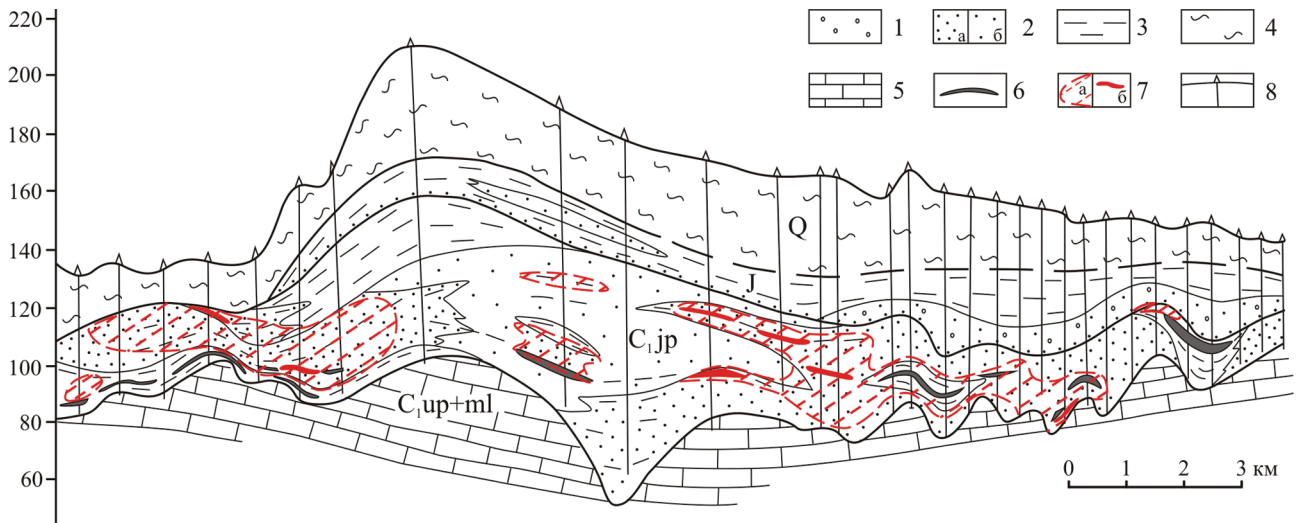


Рис. 3. Схематический субширотный геологический разрез через Брикетно-Желтухинское месторождение по линии I—I. Линия разреза показана на рис. 2

1 — гравелиты; 2 — пески: мелкозернистые (а), средне- и разномерные (б); 3 — глины, алевролиты; 4 — суглинки, супеси; 5 — известняки; 6 — прослои ульев; 7 — аномальная радиоактивность по данным каротажа: < 100 (а), > 100 (б) мкР/ч; 8 — скважины

фильтрации продуктивной толщи 0,9–19 м/сут. Состав подземных вод гидрокарбонатно-кальциевый (63 и 71%) с общей минерализацией 280 мг/л.

Проведенный авторами анализ материалов свидетельствует о том, что неравномерность распределения комплексного уранового (U-Mo-Re) оруденения в южной части Подмосковного бассейна, в частности в рудовмещающих палеодолинах, нельзя объяснить только вариациями состава рудовмещающих отложений. Для более обоснованного прогнозирования необходимо разработать геолого-генетическую модели образования и выработать поисковых критериев локализации комплексного уранового оруденения различных иерархических уровней.

При дешифрировании материалов дистанционного зондирования (космический аппарат Landsat 7) уточнены основные структурные особенности района: элементы прямолинейной, дуговой и кольцевой морфологии. Линеаменты прямолинейной морфологии представлены диагональной и ортогональной тектонопарами. На материалах космических съемок отчетливо проявлены тектонические нарушения диагональной тектонопары (разломы с азимутами простираения 300–310 и 60–70°, протянувшись через всю территорию, формируют зоны шириной в первые километры). Зоны разломов северо-западной ориентировки, граничные для тектонических блоков (структур) фундамента, в какой-то мере контролируют структуры осадочного чехла (оси валов). Тектонические нарушения северо-восточной ориентировки носят секущий характер как для структур фундамента, так и чехла.

Ортогональная тектонопара в пределах юго-восточной части Подмосковного бассейна на материалах космических съемок регионального уровня представлена в основном тектоническими нарушениями меридиональной (субмеридиональной) ориентировки с азимут простираения 10–15°. Тектонические нарушения этого направления имеют секущий характер для образований чехла и фундамента, образуют подобие регматической сети с шагом 60 км, кроме того, существует мнение об их

участии в формировании палеорусел, выполненных нижневизейскими терригенными образованиями. Тектонические нарушения широтной ориентировки выявлены при детальных картографических работах (1 : 50 000 – 1 : 200 000) в пределах рудных узлов (ФГУГП «Урангео», 2002–2005 гг.). Обращает на себя внимание факт пространственной приуроченности рудных объектов и аномалий радиоактивности к узлам пересечения (сочленения) тектонических нарушений обеих тектонопар.

Кольцевые и дуговые элементы представлены двумя морфологическими типами: изометричным и эллипсоидным (овоиды), диаметр первых от 40 км и более, размеры последних по осям 60 × 70, 50 × 60, 70 × 80 км, т. е. коэффициент эллиптичности около 0,8. Как правило, эти структуры имеют несколько «концентриков». Они контролируют положение узлов пересечения тектонических нарушений обеих тектонопар. Характерная особенность эллипсоидных структур (овоидов) — ориентировка их длинных осей вдоль тектонических нарушений субмеридиональной (10–15°) ориентировки и приуроченность к валообразным поднятиям.

Формирование изометричных в плане участков расширения (раздувов) палеодолин, в которых наблюдается увеличение мощности рудовмещающих отложений и увеличение их продуктивности, по нашему мнению, можно связать с наличием в подстилающих породах «известкового фундамента» зон дезинтеграции и брекчирования без явно выраженного регионального структурного контроля. Последнее, в частности, находит подтверждение на Брикетно-Желтухинском месторождении, где в керне скважин, вскрывших в карбонатных породах кровли «известкового фундамента», фиксируются участки брекчирования и дробления. Кроме того, на одном из участков, где располагаются рудные залежи, бурением зафиксированы крупные (десятки кубических метров) полости (пустоты) в породах «известкового фундамента». Их формирование, вероятнее всего, связано с проявлением гидротермокарста. Это означает, что в определенных условиях проникаемая структура создается не

прямо региональной тектоникой, а опосредованно через «локальную впадину-синклиналь просадочно-генезиса». В похожих обстановках, согласно интерференционно-резонансной модели В. В. Богацкого [1], могут образоваться диатремы. В период тектоно-магматической активизации возникает резонансный эффект как следствие интерференции волновых фронтов при отражении высокоскоростных сейсмических волн от поверхности Земли и других поверхностей раздела, способный в определенных условиях создать субвертикальную трубообразную зону, в которой потенциал растяжения превысит сопротивление пород на разрыв и произойдет их дробление.

Изучение содержания гелия в приповерхностном слое, выполненное А. П. Прониным по результатам опробования скважин питьевого и промышленного водоснабжения, колодцев, родников, позволяет оценить поступление через подземные воды глубинных флюидов, содержащих гелий, который относится к наиболее надежным геологическим индикаторам активности глубинных разломов [2]. Из карты поля гелия (рис. 4) следует, что наиболее активные разломы в пределах Пачелмского прогиба, особенно при сочленении разноориентированных тектонических нарушений, формирующих «сквозные» узлы (зоны) повышенной нарушенности и проницаемости. Такие узлы, по-видимому, контролируют размещение подвижных гидрохимических систем, связывающих фундамент и верхние горизонты чехла, а динамическая активность в пределах углов нарушенности определяет интенсивность циркуляции восходящих гидротермальных растворов.

В северной части рассматриваемой территории, в Серебрянопрудском районе, установлена группа радоновых самоизливающихся источников на площади 25×25 км, где содержание радона в водах более 50 эман. Наличие аномалий радона, свидетельствующих о проницаемости осадочного чехла по зонам тектонических нарушений, в свою очередь позволяет допустить возможность транзитного поступления ряда химических элементов, в том числе таких подвижных элементов, как уран (а также Mo, Re, Se и др.), из нижних горизонтов чехла и ослабленных зон фундамента в проницаемые толщи, слагающие осадочный чехол. Наличие таких систем подтверждается наличием термальных вод в скважинах (рис. 4), а также региональной тенденцией увеличения температуры подземных вод (до 40°C) в направлении Пачелмского авлакогена. Кроме того, обращают на себя внимание повышенные содержания в водах вендского водоносного комплекса брома до 880 и йода до 2,1 мг/кг, типичных для подземных вод нефтегазоносных областей.

Генезис комплексного уранового (U-Mo-Re) оруденения Подмосковского бассейна обсуждается до настоящего времени. Большинство исследователей считает, что уран, молибден и рений участвуют совместно в едином процессе рудообразования. Ранее была выдвинута гипотеза, согласно которой оруденение имеет синдиогенетическую природу [7]. Урановое оруденение, содержащее группу попутных компонентов, произошло на синдиогенетическом этапе при ведущей роли в накоплении урана сорбционного барьера, что в какой-то мере подтверждается проведенными минералогическими исследованиями вещественного состава руд. Связь уранового оруденения с окислительной зональностью

не была установлена. В качестве источника рудного вещества рассматриваются породы Воронежского кристаллического массива.

Другие исследователи [8] для формирования уранового оруденения Брикетно-Желтухинского месторождения выдвигают модель эпигенетического инфильтрационного рудообразования, согласно которой расположенные на площади Брикетно-Желтухинское урановое месторождение и ряд рудопоявлений в углях и углистых глинах бобриковского и тульского горизонтов (Труфановоскресенское, Шекинское и др.) интерпретируются как остаточные и прибортовые скопления урана тыловой части зоны пластового окисления, а крупная «радиогидроаномалия» преимущественно радоновой природы в районе пгт Серебряные Пруды как область разгрузки современных вод, дренирующих урановорудные залежи в проницаемых отложениях. Однако, как признают сами авторы, оруденение Брикетно-Желтухинского месторождения отличается от типового, установленного в Кызылкумской, Сырдарьинской и Чу-Сарысуйской провинциях, так что «в отличие от последних на рассматриваемой площади пластовое окисление развивалось в фашиальной неоднородной среде. В связи с этим основной поток кислородных вод локализовался преимущественно в пределах палеодолин, выполненных русловыми осадками». С другой стороны, нет прямых аналогий уранового оруденения Брикетно-Желтухинского месторождения с «палеодолинным» урановыми объектами Зауралья (Долматовское, Добровольное и др. месторождения) и Забайкалья (Хиагдинское месторождение).

Комплексное урановое (U-Mo-Re) оруденение Подмосковского бассейна, по мнению исследователей [3], сформировалось за счет поступления металлоносных растворов из глубинных зон фундамента в период киммерийской активизации Восточно-Европейской платформы. Практически все U-Mo-Re месторождения и проявления Подмосковского бассейна «проецируются» на гипотетические субширотные дуговые раздвиговые шовные зоны в кристаллическом фундаменте платформы. В структуре осадочного чехла эти месторождения локализованы в «унаследованной от фундамента» фанерозойской раздвиговой структуре – Калужской ступенчатой моноклизе. Авторы [3] называют также значительную удаленность не вскрытых эрозией блоков Воронежского кристаллического массива, отрицая возможность рассмотрения последних в качестве источника рудных компонентов, как это предполагает синдиогенетическая модель.

Во всех высказанных до последнего времени геолого-генетических построениях наименее разработан вопрос об источнике рудного вещества. В урановых рудах Брикетно-Желтухинского месторождения установлены высокие содержания рения, превышающие его концентрации на ряде известных эпигенетических месторождениях урана, что требует решения вопроса об источнике рудного вещества.

Повышенные содержания рения известны в нефтях, битумах и подземных водах нефтегазоносных районов. Так, содержания рения в нефтях от $< 0,005$ до 0,2 г/т, т. е. нередко превышает среднее содержание рения в земной коре более чем в 100 раз. При этом установлено, что Re, в отличие от V и Ni, связанных со смолесто-асфальтеновыми компонентами нефти, сконцентрируется преимущественно

Рис. 4. Геолого-прогнозная схема восточной части Подмосковского потенциального урановорудного района

1–8 – структуры фундамента: 1 – Пачелмский авлакоген, выполненный отложениями рифея, 2 – гранулиты высоких давлений, нерасчлененные (Серпуховская межблоковая зона), 3 – амфибол-биотитовые гнейсы по гранулитам различного состава (Рязано-Саратовская межблоковая зона), 4 – платиограниты, тоналиты, кристаллосланцы. Обоянский комплекс. Тульская СФЗ. Воронежский кристаллический массив, 5 – нерасчлененные гранулиты основного, среднего и кислого состава. Калужская СФЗ. Воронежский кристаллический массив, 6 – зона милонитов, 7 – двупрокошенные кристаллосланцы, 8 – границы блоков фундамента; 9–12 – тектонические нарушения прямолинейной, дуговой и кольцевой морфологии, отсифрированные по материалам космического зондирования с КА Landsat 7, 10 – области тектонической нарушенности интенсивностью 4–8 нарушений на 100 км², 11 – кольцевые элементы эллипсоидной морфологии (овоиды) с коэффициентом эллиптичности 0,8, 12 – оси валов (поднятий) второго и третьего порядка в осадочном чехле (1 – Зарайско-Бучальский, 2 – Труфаново-Павелецкий, 3 – Чернский, 4 – Пронский, 5 – Данковский); 13–15 – рудная минерализация: 13 – U-Mo-Re Брикетно-Желтухинское малое месторождение, 14 – проявления и пункты урановой минерализации и их номера (1 – Нецаевское, 2 – Казначеевское, 3 – Лаптевское, 4 – Виригинское, 5 – Шекинское, 6 – Северо-Алексеевское, 7 – Юракское, 8 – Волковское, 9 – Западно-Скопинское, 10 – Восточно-Вердлинское), 15 – аномалии радиоактивности без определения природы и формационной принадлежности; 16–21 – прочие: 16 – палеоруслы, выполненные терригенными отложениями тульской и бобринской свит визейского яруса нижнего карбона, 17 – радиогидрохимические аномалии урановой (U) и радонной (Rn) природы, 18 – аномалии поверхности поля гелия интенсивностью до 40×10^{-5} мл/л, 19 – скважины с термальными водами, 20 – гидротермы, цифрами показана температура воды, 21 – родники с высокими содержаниями радона; 22, 23 – перспективные площади первой (22) и второй очереди (23)

щественно в углеводородных фракциях. В твердых битумах наиболее высокие содержания рения фиксируются в легких парафинистых углеводородах цепочечного строения (озокериты, байкериты, гильсониты). Аномально высокие концентрации рения выявлены в битумах из зон дробления и в битумах из районов проявления рудной минерализации. В углеродистых битуминозных сланцах рений также ассоциирует с органическим веществом [4, 5].

Размещение рениевых объектов в непосредственной близости к Пачелмскому авлакогену делает возможным предположение, что источником рения для формирования руд могли оказаться скопления нефти и битумов в глубокопогруженных комплексах рифейского возраста, выполняющих авлакоген [6], а транспортировка рения и других компонентов осуществлялась высокоминерализованными металлоносными рассолами. Северо-западное звено Пачелмского авлакогена исследовано недостаточно. Однако на основании изучения керна скважин современными методами органической геохимии И. Е. Постниковой, О. К. Баженовой и другими специалистами [6] сделано заключение о нефтегазоперспективности этой структуры. Отложения верхнего протерозоя Пачелмского авлакогена содержат нефтематеринские толщи (иргизскую, пересыпкинскую, веденяпинскую, красноозерскую, редкинскую). Исходным было органическое вещество бентоса и планктона (сине-зелёные водоросли), накапливавшееся в морских условиях, преимущественно в восстановительной обстановке. Верхнедокембрийские породы обладают средним нефтяным и газовым потенциалом, который еще не полностью реализован, и находятся в главной зоне нефтеобразования (МК₁–МК₂). В разрезе докембрийских отложений Пачелмского авлакогена имеются как коллекторские толщи (воронская, меньше веденяпинская и редкинская свиты), так и флюидоупоры (красноозерская и частично котлинская свиты). На среднепалеозойском (D₃–C₁) этапе тектоно-магматической активизации Восточно-Европейской платформы Пачелмский авлакоген испытывает интенсивные вертикальные движения, что приводит к изменению характера циркуляции подземных вод и сильно минерализованных металлоносных рассолов, ассоциирующих с углеводородными залежами. Легкоподвижные компоненты могли транспортироваться глубинными металлоносными растворами и углеводородами по трещинным коллекторам в вышележащие отложения осадочного чехла, содержащие растительную органику и сульфиды. Нельзя исключать, что поступление углеводородных флюидов и ассоциирующих с ними высокоминерализованных металлоносных рассолов могло происходить и на более поздних этапах. Так, в частности, о современном перераспределении урана в рудных залежах свидетельствуют данные изотопных исследований (изотопы урана) на территории, прилегающей к Брикетно-Желтухинскому месторождению.

Косвенным подтверждением предложенной модели являются относительно высокие концентрации в урановорудных проявлениях юго-восточной части Подмосковского бассейна (в том числе на Брикетно-Желтухинском месторождении) таких элементов, как Cu, Ag, Pb, Se, V, Sr. Интересно отметить, что ассоциация Cu-Ag-Pb, как известно, характерна для рениеносных медистых песчаников, а Se, V (в ассоциации с Co, Ni, Mo, Re) – типовые элементы-примеси рениеносных медистых сланцев, обогащенных битуминозным веществом. Механизм поступления Cu, Ag, Pb, а также Bi, Cd в медистые песчаники, содержащие скопления рения, ряд исследователей рассматривает как способ их доставки высокоминерализованными рассолами в виде устойчивых хлоридных комплексов.

Анализ геолого-структурной обстановки локализации комплексного оруденения в восточной части Подмосковского бассейна, и Брикетно-Желтухинского месторождения в частности, позволил сформулировать основные геолого-структурные критерии:

территориальный (внутрирегиональный) уровень – краевая погруженная часть Воронежской антеклизы на сочленении с Московской синеклизой; Пачелмский рифтогенный авлакоген; Рязано-Саратовская межблоковая зона, сложенная амфибол-биотитовыми гнейсами по гранулитам различного состава;

локальный уровень – кольцевые структуры (овоиды) с коэффициентом эллиптичности 0,8, телескопической морфологии площадью порядка 3,0 тыс. км²; узлы тектонической нарушенности и флюидопроницаемости на пересечении тектонических нарушений (разломов) глубинного заложения с азимутом простирания 300–310; 60–70; 10–15 и 90°; локальные мультислойные широко ориентированные прогибы, выполненные терригенно-осадочными образованиями с углефицированными раститель-

ными остатками; потенциально нефтегазоносные комплексы в Пачелмском авлакогене докембрийского (рифейского) возраста;

В результате анализа проявленности критериев локализации уран-молибден-рениевого оруденения выделены перспективные площади первой и второй очереди для постановки поисковых работ (рис. 4).

На юго-востоке Подмосковского бассейна уран-молибден-рениевое оруденение приурочено к отложениям нижнего карбона (визе), представленным песчаниками с углистым детритом. Известны как отдельные проявления, так и малое U-Mo-Re Брикетно-Желтухинское месторождение. Район находится в северной, погруженной части Воронежской антеклизы, где ее структуры сочленяются с южным бортом Московской синеклизы. В рудах месторождения попутно установлены высокие содержания рения.

Структурный анализ территории, в том числе с привлечением материалов дистанционного зондирования, позволил выявить участки интенсивной тектонической нарушенности в осадочном чехле, образующие три области, имеющие субмеридиональную ориентировку, а также кольцевые структуры (овоиды) телескопической морфологии с коэффициентом эллиптичности 0,8.

В районе выявлены тектонические нарушения прямолинейной морфологии, представленные диагональной и ортогональной тектонопарами с азимутами простирания 300–310 и 60–70°, которые в какой-то мере контролируют структуры осадочного чехла (оси валов). Тектонические нарушения участвуют в заложении осевых зон эрозионных палеорусел, выполненных нижевизейскими терригенно-осадочными образованиями.

В пользу существования в рассматриваемом районе зон повышенной вертикальной флюидопроницаемости, приуроченных к участкам высокой плотности разрывных нарушений, выступает повышенное содержание гелия и радона на таких участках.

Установленное комплексное оруденение имеет выраженный структурный контроль и локализуется, с одной стороны, вблизи крупной региональной рифтогенной структуры – Пачелмского авлакогена, а с другой, в зоне влияния субмеридиональных зон интенсивной тектонической нарушенности, осложненных крупными кольцевыми структурами телескопической морфологии.

Источником рения, входящего в состав комплексных руд, могли служить скопления углеводородов и минерализованных рассолов, приуроченные к рифейским отложениям Пачелмского авлакогена. При среднепалеозойской (D_3-C_1) тектоно-магматической активизации Восточно-Европейской платформы авлакоген испытал вертикальные движения различных знаков, что приводило к изменению режима циркуляции флюидов. Сильно минерализованные металлоносные рассолы, ассоциирующие с углеводородными залежами, могли разгружаться в вышележащие отложения осадочного чехла, формируя рудные скопления.

На основе обработки геолого-структурных данных на юго-востоке Подмосковского бассейна выделены перспективные площади (первой и второй очереди) на выявление месторождений урана с уран-молибден-рениевыми рудами.

1. *Богацкий В.В.* Механизм формирования структур рудных полей. – М.: Недра, 1986. – 88 с.

2. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (новая серия). Лист N-37, (38) – Москва. Объяснит. зап. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 1999. – 344 с. + 13 вкл.

3. *Кременецкий А.А., Лунева Н.В., Куликова И.М.* Бельское Re-Mo-U месторождение: минералого-геохимические особенности, условия формирования, технология извлечения рения // Разведка и охрана недр. 2011. № 6. – С. 33–41.

4. *Поплавко Е.М.* О концентрации рения в нефтях, нефтяных битумах и горючих сланцах / Е.М. Поплавко, В.В. Иванов, Т.Г. Карасик, А.Д. Миллер, В.С. Орехов, С.Д. Талиев, Ю.А. Тархов, В.А. Фадеева // Геохимия. 1974. № 9. – С. 1399–1402.

5. *Поплавко Е.М., Иванов В.В., Орехов В.С., Тархов Ю.А.* Особенности металлоносности горючих сланцев и некоторые предположения об их генезисе // Геохимия. 1978. № 5. – С. 1411–1418.

6. *Постникова И.Е., Баженова О.К., Коцарева Т.А.* Литолого-геохимические предпосылки нефтегазоносности докембрийских отложений Пачелмского авлакогена // Геология нефти и газа. 1998. № 1. – С. 26–33.

7. *Расулова С.Д., Тархинова Г.А.* и др. Седиментационно-диагенетические накопления урана в осадочных отложениях урановорудных объектов спорного генезиса // Материалы по геологии месторождений урана, редких и редкоземельных металлов. 2007. № 151. – С. 68–70.

8. *Фоменко А.Е., Дмитраков Л.И.* и др. Перспективы выявления инфильтрационного уранового оруденения Скопинской площади в северном чехольном обрамлении ВКМ // Геологический вестник центральных районов России. 2000. № 4. – С. 23–24.

Енгальцев Святослав Юрьевич – канд. геол.-минер. наук, ст. науч. сотрудник, ВСЕГЕИ. <sleng2005@mail.ru>.

Пуговкин Алексей Алексеевич – канд. геол.-минер. наук, вед. науч. сотрудник, ВСЕГЕИ. <Aleksey_Pugovkin@vsegei.ru>.

Лебедева Галина Борисовна – геолог II кат., ВСЕГЕИ. <Galina_Lebedeva@vsegei.ru>.