

УДК 553.04+553.061+553.495:553.98

Печенкин И.Г. (ФГБУ «ВИМС»)

ОСОБЕННОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПЕСЧАНИКОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УРАНА В НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ БАСЕЙНАХ

*Рассмотрена битуминизация проницаемых пластов, которая создает благоприятную геохимическую обстановку восстановительного характера для последующей концентрации руд. Внедрение битумов и их разрушение в зоне аэрации приводит к захоронению сформированного ранее оруденения и исчезновению следов его образования (эпигенетической окислительной зональности). Установливаемая последовательность эпигенетических изменений позволяет проводить специализированное картирование на перспективных площадях с выявлением скрытых частей эпигенетической окислительной зональности и «захороненного» оруденения. Их выявление на основе картирования создает предпосылки для определения перспектив как локальных участков недр, так и крупных геологических структур. **Ключевые слова:** нефтегазоносный бассейн, месторождение урана, эпигенез, Ордос, Центральные Кызылкумы.*

Pechenkin I.G. (VIMS)

FEATURE OF FORECASTING SANDSTONE URANIUM DEPOSITS IN OIL-AND-GAS BEARING BASIN

*Bituminization of permeable strata it creates favourable geochemical conditions of a reducing character for a subsequent concentration of ore. On the other hand, intrusion of bitumen and its dissolution in the aeration zone leads to the burial of the mineralization which formed earlier and disappearance of all traces of its formation (epigenetic oxidation zoning). The established sequence of epigenetic alterations allows us to carry out specialized mapping in productive regions, uncovering hidden parts of epigenetic oxidation zoning and «buried» mineralization. Their detection by means of mapping creates the necessary conditions for determining the prospects for both local regions of subsoil assets and large geological structures. **Keywords:** oil-and-gas bearing basin, uranium deposit, epigenesis, Ordos, Central Kyzyl-Kum.*

В первые годы изучения в породах осадочного чехла урановых месторождений, известных на территории СССР в конце 1940-х-начале 1950-х годов среди геологов и литологов господствовали представления об осадочном (сингенетичном) накоплении урана в рудоносных отложениях, что ориентировало геологоразведочные работы на поиски благоприятных для рудообразования фациальных обстановок. Широко развернувшиеся в 1950-х годах поисково-разведочные

работы в Центральных Кызылкумах дали новые неоспоримые свидетельства эпигенетического генезиса уранового оруденения в водоносных песчаных горизонтах: геологи В.М. Мазин и Г.А. Печенкин при составлении погоризонтных карт распределения уранового оруденения установили факт контроля рудных тел на Учкудукском месторождении границей окисленных (желтоцветных) и неизмененных (сероцветных) пород [7]. Е.А. Головиным и Е.М. Шмариовичем на том же месторождении было показано отсутствие сингенетичного оруденения, что позволило выдвинуть положение о значении зон пластового окисления как основного поискового признака урановых месторождений при прогнозно-поисковых работах [2, 9].

При развернувшихся широким фронтом поисково-разведочных работах в Средней Азии и Южном Казахстане использование зон пластового окисления в качестве поискового критерия привело к выявлению целого ряда рудных районов, составивших крупнейшую в Мире Притяньшаньскую урановую мегапровинцию. Большой коллектив отечественных геологов-практиков и научных работников стоял у истоков решения этой сложной проблемы и обогнал на десяток лет аналогичные теоретические работы геологов США. В настоящее время пластово-инфильтрационные месторождения составляют важный промышленно-генетический тип рудных объектов, являющихся одним из ведущих источников атомного сырья во многих странах Мира.

На примере первого месторождения песчаникового типа (по типизации МАГАТЭ) — Учкудук, стали разрабатываться основы пластово-инфильтрационного рудообразования и комплекс критериев рудоносности, которые легли в основу методики прогноза, поисков и разведки эпигенетических месторождений урана:

1. В середине 1960-х годов на месторождении Сабырсай (Узбекистан) (рис. 1) в первично-красноцветных континентальных отложениях мелового возраста исследовались дорудные восстановительные изменения, благодаря которым на контрастном геохимическом барьере сформировалось промышленное урановое оруденение. Изучение специалистами ВСЕГЕИ (Г.В. Грушевой, И.С. Оношко и др.) особенностей взаимоотношения эпигенетических процессов в зоне сочленения Центрально-Кызылкумского поднятия и Амударьинской впадины в пределах определившейся урановорудной провинции установило наличие однотипных критериев образования месторождений в водоносных горизонтах мелового возраста. Рассмотрение рудной зональности месторождения Сабырсай показало, что важную роль при этом играют углеводороды и продукты их разрушения. Дальнейшие работы доказали, что разнонаправленные эпигенетические процессы сменялись неоднократно [1].

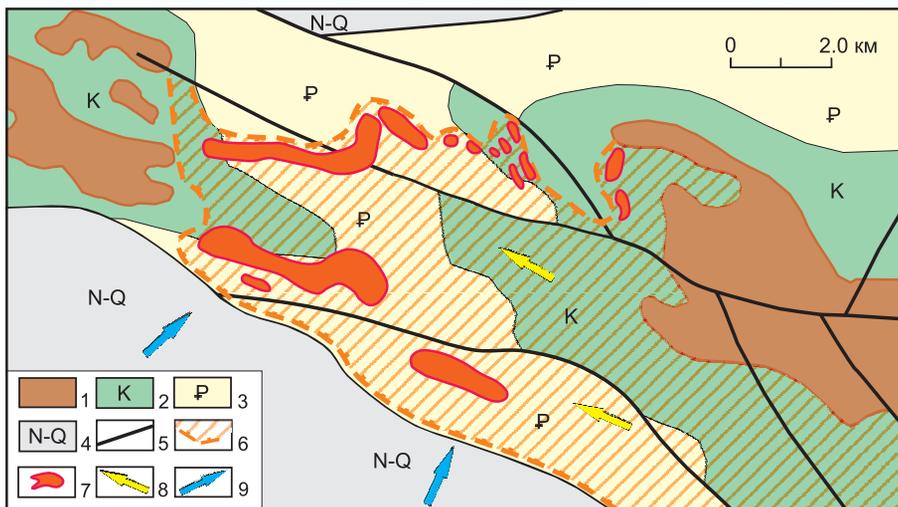


Рис. 1. Схематическая геологическая карта месторождения Сабырсай. Отложения: 1 — палеозоя; 2 — мела; 3 — палеогена; 4 — неоген-квартера; 5 — тектонические нарушения; 6 — зона пластового окисления и граница ее выклинивания, 7 — рудные залежи. Направление движения: 8 — кислородных ураноносных вод, 9 — нефтегазоносных флюидов

По данным геологов, проводивших разведочные работы [6, 7], в структурном отношении месторождение расположено в пределах горст-антиклинального валообразного поднятия, разбитого серией субпараллельных разломов (амплитуды от десятков до первых сотен метров) на отдельные блоки, ступенчато опускающиеся в сторону примыкающих к поднятию крупных прогибов, причем южное крыло более крутое (рис. 1). В продольном сечении это поднятие имеет форму пологой синклинали, которая замыкается выступами палеозойского фундамента. Основная часть оруденения локализована в осевой части структуры. Гидрогеологические особенности территории обусловлены приуроченностью Сабырсайского рудного поля в краевой части крупной антеклизы, являющейся бортом нефтегазоносного бассейна. Рудовмещающий горизонт характеризуется хорошей водопроницаемостью.

Урановое оруденение локализуется главным образом в горизонте, представляющем собой переслаивание песков, песчаников, гравелитов и конгломератов с линзовидными прослоями алевролитов и глин. Подстилающие и перекрывающие горизонт глинистые толщи являются региональными водоупорами. Формирование осадков происходило в неглубокой реке, которая мигрировала в полосе 4–6 км. Русловая зона широкой меридиональной полосой протянута через все рудное поле. В западном и восточном направлениях она сменяется зоной пойменных отложений, сохранивших первичную красноцветную окраску. В пределах месторождения рудовмещающие породы носят четкие следы дорудного вторичного восстановления, что обусловлено внедрением углеводородов нефтяного ряда. Восстановленные разности пород приобрели голубую, сизую, серую до черной окраску и обогатились органическим веществом (битумы). Интенсивно проявились: доломитизация, каолинизация, пиритизация (рис. 2).

Промышленные руды месторождения сформированы зоной пластового окисления, развивающейся в

континентальных грубообломочных породах, в плане представляющей глубокий залив, часть которого совпадает с осью валообразной структуры. Литологические и структурные особенности рудного поля обусловили струйчатое строение зоны окисления. В плане основные промышленные участки месторождения представляют собой две разобщенные рудоносные полосы: северную, протяженностью 20 км и центральную — около 11 км. По морфологии рудные тела делятся на пластовые и ролловые. В плане они представляют собой ленты, вытянутые вдоль линии выклинивания пластового окисления на 400–3000 м, при ширине — 100–300 м (рис. 1).

Для руд, представленных преимущественно регенерированными урановыми чернями, характерна постоянная ассоциация урановой минерализации с сульфидами.

2. Стало очевидно, что урановые месторождения, руды которых образуются при участии эпигенетических восстановителей (битумы, газы) могут формироваться в осадочных толщах любого состава, вплоть до красноцветных формаций. Главным фактором рудообразования для них являются структурные условия, обеспечивающие присутствие восстановителей в рудоносных горизонтах. Источниками восстановителей могут быть скопления нефтяных углеводородов в структурных ловушках, попадающие в зону интенсивного водообмена, а также потоки восстановительных растворов или газов, поднимающиеся из других горизонтов осадочного чехла или фундамента. Взаимодействие ураноносных кислородных вод и восстановителей происходит в проницаемых горизонтах при оптимальном соотношении гидродинамики двух агентов. Интенсивное внедрение восста-

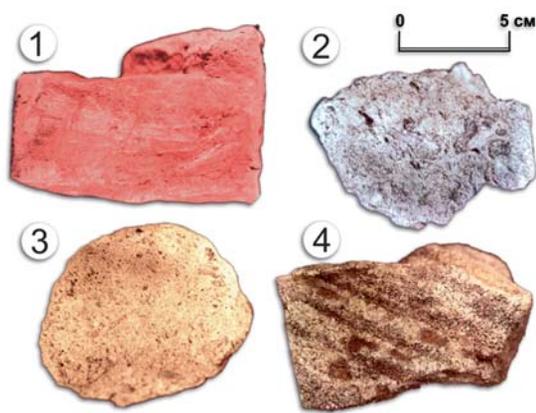


Рис. 2. Геохимические типы пород месторождения Сабырсай: 1 — первичный красноцветный — неизменный; 2 — голубовато-серый (дорудное восстановление); 3 — желтоцветный (зона пластового окисления); 4 — обогащенный органическим веществом (битумы)

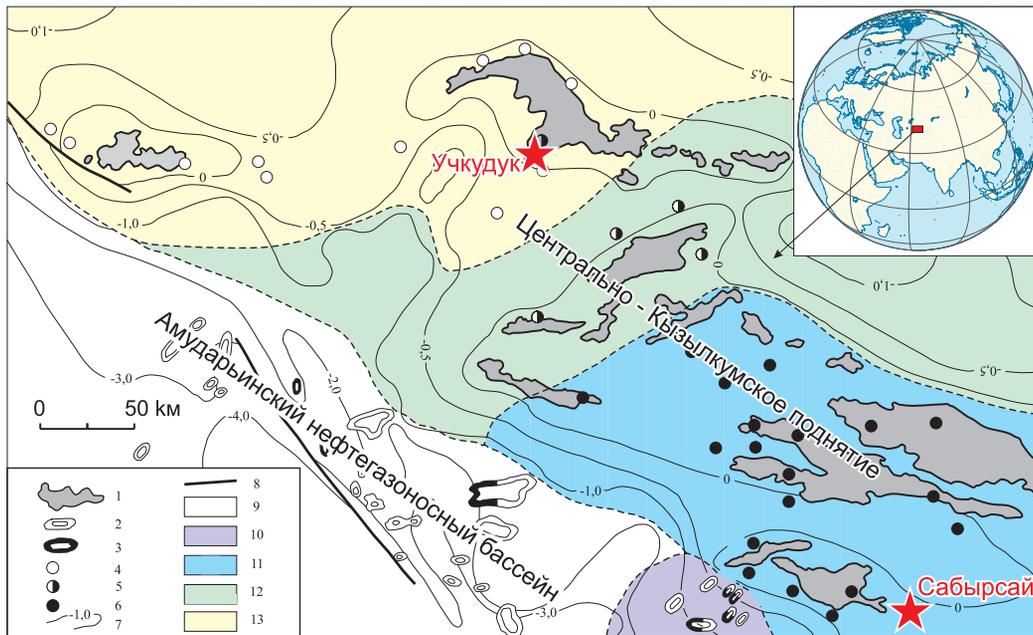


Рис. 3. Проявления эпигенетических новообразований восстановительного ряда в Центральных Кызылкумах: 1 — выходы пород палеозойского фундамента; 2 — месторождения газа; 3 — месторождения нефти; 4–6 — участки исследований, на которых преобладают эпигенетические изменения восстановительного ряда: 4 — карбонатные «трубы», 5 — легкие рассеянные битумы, 6 — вязкие и твердые битумы; 7 — стратозипсы (для площадей с обнаженным фундаментом — морфоизогипсы) по поверхности до-мезозойского фундамента (в км); 8 — главные разрывные нарушения; 9 — область преимущественного распространения залежей нефти и газа; 10 — область равномерного

распространения залежей нефти и газа; 11 — область преимущественного распространения вязких и твердых битумов; 12 — область преимущественного распространения легких рассеянных битумов; 13 — область преимущественного распространения эпигенетической карбонатизации

новительных агентов в некоторых случаях приводит к захоронению ранее образованных руд; прекращение их поступления в проницаемые горизонты — к разрушению урановых руд окислительными процессами.

Наиболее благоприятные обстановки для контрастного рудообразования представляют собой аконсервационные зоны бассейнов, где происходит разгрузка нефтяных и газовых флюидов. Это способствует повышению восстановительной емкости пород различных первичных геохимических типов. В прибортовых частях бассейнов восстановительный эпигенез имеет площадное распространение. Его роль снижается при удалении от областей нефте- и газообразования. Эти закономерности установлены на примере Центральных Кызылкумов. Наибольшая роль восстановителей нефтяного ряда оказалась характерной для месторождения Сабырсай, наименьшая — для месторождения Учкудук (рис. 3) [5].

В 1960–1970-е годы специалистами ВИМСа (Е.М. Шмариович, Е.А. Головин, В.Н. Шеточкин и др.) в Центрально-Кызылкумской урановорудной провинции (Узбекистан) была разработана и применена методика изучения эпигенетических изменений в осадочных толщах. Она заключается в том, что более поздние изменения осадочных пород отмечаются в самых водопроницаемых разностях разреза (пески, гравелиты, конгломераты). Ранние процессы могут сохранить свои следы в алевритистых и глинистых частях осадочной толщи или в грубозернистых породах на крепком цементе. Это выражается в появлении в них цветных каемок различного генезиса (рис. 4). Чем дальше от контакта с водоносным горизонтом находится в слабопроницаемой породе кайма, тем более раннему наложенному изменению она соответствует.

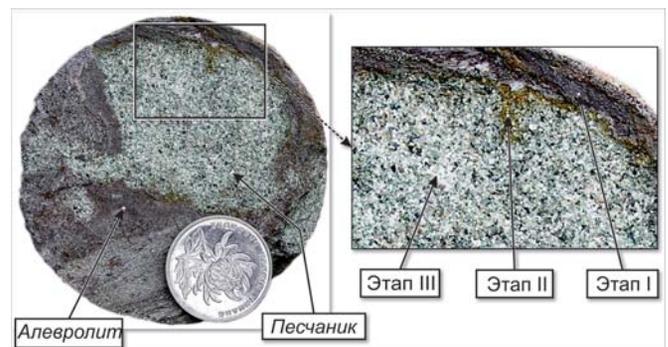


Рис. 4. Пример последовательности восстановления-окисления. Этап I — первичная неизменная порода, этап II — окисленная порода (реликт), этап III — восстановление после окисления

Взаимоотношения эпигенетических процессов определяют особенности рудогенеза различных частей нефтегазоносных бассейнов. Их выявление на основе специализированного картирования создает предпосылки для определения перспектив как локальных участков недр, так и крупных геологических структур.

3. Формирование песчаных месторождений с рудами, тяготеющими к выклиниванию зон пластового окисления (ЗПО), связанных с инфильтрационным режимом пластовых вод или с разгрузкой эксфильтрационных газоидных флюидов, происходило на протяжении всего новейшего этапа развития региона. Последовательность этого процесса хорошо устанавливается на примере Центральных Кызылкумов, где автором проведены работы по палеорекострукциям неоген-четвертичного времени. Построенные для отдельных этапов новейшей истории палеогеологические карты со снятием среднемиоцен-четвертичных

отложений позволяют проследить постепенное вскрытие очагов разгрузки (ОР) и их перерастание в области питания инфильтрационных вод [5].

До начала активизации в Амударьинской синеклизе накопился осадочный чехол мощностью до 4 км и более. В его толще в ходе литогенеза в меловое-палеогеновое время формировались углеводороды и рудоносные агрессивные флюиды. Непосредственно в Центральных Кызылкумах процесс образования углеводородов (УВ) не происходил, так как мощность осадочного чехла здесь относительно невелика — менее 1 км. Поэтому здесь могли образоваться лишь бессероводородные (глеевые) флюиды, содержащие в растворенном виде железо, марганец и другие элементы [1, 8 и др.]. До раннемиоценового времени осадочный чехол на всей территории региона представлял собой неравновесную гидродинамически закрытую систему.

Ранний миоцен — время раскрытия гидродинамических систем. Элизийские воды устремляются к образованному ОР в пределах будущих Зиатдин-Зирабулакских, Каратепинских гор и начавших формироваться поднятий Актау и Нуратау. В местах наличия ОР происходит обособление полей с большим количеством эпигенетических восстановителей. Раскрытие очагов разгрузки в Центральных Кызылкумах шло последовательно в северо-западном направлении, и в этом же направлении (вокруг нарождающихся палеозойских поднятий) происходило образование все новых рудных объектов. В то же самое время продолжающиеся рост более южные поднятия характеризовались уже разрушением ранее сформированных месторождений.

К *среднему миоцену* нарастающий орогенез создал предпосылки для дальнейшей роста гор юго-восточной части территории. Произшедшая в коллекторах декомпрессия привела к инфильтрационным процессам, которые усиливались с возникновением новых ОР. Это — поднятия Букантау и Тамдытау (размыв до мела), Кульджуктау и Ауминзатау (размыв до палеогена).

К *позднему миоцену* первоначальное региональное выравнивание позднемиоценового-раннеплиоценового времени привело в пределах Центральных Кызылкумов к еще большему вскрытию пород палеозойского, мелового и палеогенового возраста. Процесс эрозии усилился в результате продолжавшегося орогенеза. Обновились разломы герцинского времени, и начали формироваться горст-антиклинальные и грабен-синклинальные структуры. Ауминзатауское, Кульджуктауское и другие поднятия в центральной части района эродированы до мела. Это способствовало расширению площадей с окисленными разностями пород в восточной части Каракатинской впадины. Выходы меловых отложений в Бухаро-Хивинской депрессии создали предпосылки для нарастания инфильтрации и на этой территории. В результате активизации северных районов Центральных Кызылкумов локальные поднятия в их пределах (Букантау, Тамдытау) были вскрыты уже до пород складчатого фундамента. Это привело к интенсивному развитию локальных рудоносных ЗПО.

Ранний плейстоцен характеризовался в юго-восточной части территории развитием ЗПО единым широким фронтом как на Бухарской ступени, так и в прилегающих прогибах. Ряд ОР переросли в области питания. Расширились площади пластооокисленных пород в северной и центральной частях региона. Продолжился процесс обособления отдельных малых артезианских бассейнов. Территория приобрела современный облик. В ряде районов, видимо, могло происходить и формирование зон поверхностного окисления, имеющих пластовую морфологию (Кульджуктау, Ауминзатау и др.). С ними промышленного оруденения не отмечалось.

К *голоцену* уже полностью сформировались все горст-антиклинали и обособились артезианские бассейны между ними. Пластооокисленные породы распространены на большей части Бухарской ступени в Зиатдин-Зирабулакском межгорье. Единым фронтом развивались они и в центральной части территории. Обособлены только ЗПО Букантауского района. На западе широкое развитие приобрели зоны поверхностного окисления пластовой морфологии. Вокруг южных поднятий Центральных Кызылкумов разгружались уже сероводородные воды, а на самом юге — нефтяные. Эту зональность, сохранившуюся до сего дня, мы и наблюдаем (рис. 3) [5].

4. Наиболее восстановленной является расположенная юго-западнее региона область равноправного распределения залежей нефти и газа — зона нефтяных и газовых месторождений: Караиз, Караулбазар и др. Они сформированы в результате миграции восстановительных флюидов из Амударьинской синеклизы с глубины 2–4 км (главная фаза газообразования). На западе региона — область преимущественного распространения залежей газа: месторождения Газли, Гугуртли, Янгиказган и пр. Зона образована в ходе миграции флюидов с глубин, достигающих главной фазы газообразования — 4–6 км.

В южной части Центральных Кызылкумов широко развиты жидкие и маслянистые битумы. Это следы былой разгрузки нефтяных вод Амударьинского бассейна, отжимавшихся с глубин 1–3 км. В центре региона преобладают легкие сажистые битумы — также следы разгрузки восстановительных вод, содержащих $C_{орг.}$, глубина их образования, вероятно, достигала 2 км. Самая северная область (куда попадает и Букантауский рудный район) характеризуется практическим отсутствием битумов и наличием карбонатного эпигенеза: карбонатные столбы, жилы и другие новообразования. Это область разгрузки глеевых вод — передовой части восстановительных флюидов с глубины 1–1,5 км.

Таким образом, на неоген-четвертичном этапе развития Центральные Кызылкумы испытывали активизацию и поэтапное вовлечение все новых участков как в эксфильтрационное, так и в инфильтрационное рудообразование [5]. В результате поступления восстановительных флюидов с юго-запада (из Амударьинской депрессии) и нарастания орогенеза с юго-востока (со стороны Памирского «клина») в осадочном чехле

Центральных Кызылкумов сложилась определенная эпигенетическая зональность.

На основе проведенных палеогеологических построений и уточнения истории развития пластово-окислительных и сопутствующих им процессов стало возможным выделение в пределах Центрально-Кызылкумского свода трех крупных блоков: первый — Юго-Восточный (район Зиатдин-Зурабулакских гор, поднятий Актау и Нуратау), второй — Центральный (район поднятий Аристантау, Тамдытау, восточных частей Кульджуктау и Ауминзатау), третий — Северо-Западный (Букантау). В результате их последовательного вовлечения в процессы орогенеза на протяжении неоген-четвертичной эпохи рудообразования они характеризуются различной металлогенической специализацией [5].

В ходе современного развития Центральных Кызылкумов на их территории происходила неоднократная смена экс- и инфильтрационного рудообразования с привнесом определенных компонентов. При возобладании процессов погружения из наиболее опущенных частей осадочного чехла в направлении ОР осуществлялось отжатие силикатов, карбонатов, различных битумоидов и рудных компонентов: железа, марганца, ванадия и др. При этом происходило как обогащение проницаемых коллекторов продуктами элизионного эпигенеза, так и образование рудных скоплений в области ОР на барьерах различных типов. Нарастание орогенеза приводило к росту горст-антиклиналей и превращению ОР в области питания кислородных вод. На выклинивании ЗПО формировалось эпигенетическое редкометалльное (уран, селен, рений и др.) оруденение. При этом сложность формируемых инфильтрационных руд во многом определялась составом проницаемых коллекторов и наличием в них продуктов стадийного и начальной стадии наложенного эпигенеза. Рост горных поднятий сопровождался их выравниванием, что приводило к разрушению объектов, сформированных в ОР эксфильтрационным рудогенезом. При очередном возобладании элизии во вновь образовавшихся ОР формировались новые рудные объекты. В то же время в коллекторах осуществлялось захоронение редкометалльного оруденения нефтью, битумами и другими продуктами элизионного эпигенеза. На следующем этапе орогенеза вновь происходило разрушение элизионных рудных скоплений в приповерхностных частях, а в коллекторах — либо переотложение рудных залежей предыдущего инфильтрационного этапа, либо формирование новых — в тыловых частях.

Процесс орогенеза Центральных Кызылкумов протекал на протяжении 25 млн лет в северо-западном направлении и сопровождался чередованием экс- и инфильтрационных рудных этапов. Максимальное количество этих этапов, начиная с раннего миоцена, установлено для Юго-Восточного блока, минимальное — для Северо-Западного. Основным поставщиком восстановительных флюидов весь период новейшего развития Центральных Кызылкумов служила толща

мезо-кайнозойских пород погружающейся Бухаро-Хивинской депрессии. Разная удаленность трех выделенных блоков от этой структуры также характеризует различие в их рудной специализации.

В непосредственно контактирующий с Центральным Кызылкумским сводом Юго-Восточный блок в результате элизии первоначально внедрялись продукты глеевого эпигенеза: карбонатные, силикатные и другие растворы, а затем — преимущественно газообразные и жидкие углеводороды и битумы. Этот блок характеризуется преимущественно захоронением инфильтрационного оруденения предыдущих этапов продуктами элизионного эпигенеза. Причем последние на следующих инфильтрационных этапах вели себя инертно и практически не вовлекались в процессы переотложения. Следует отметить, что в связи с этим блок характеризуется многообразием эпигенетических концентраций урана и сопутствующих элементов, формирующихся со среднемиоценового времени.

В несколько удаленный от нефтегазоносных районов Центральный блок, начиная со среднего миоцена и наиболее интенсивно в плиоцене, происходило отжатие вязких и сажистых битумов и рудоносных глеевых растворов. Здесь продукты элизионного эпигенеза могли транспортироваться кислородными водами на последующих инфильтрационных этапах. Это привело к обогащению руд месторождений данного блока такими элементами, как молибден, ванадий, рений, редкоземельные и другие металлы.

В наиболее удаленный от Бухаро-Хивинской депрессии Северо-западный блок, начиная со среднего плиоцена, поступали преимущественно глеевые бескислородные растворы с незначительным количеством флюидов нефтяного ряда. Восстановительный потенциал этих растворов был недостаточен для захоронения инфильтрационного оруденения. Данный блок наиболее молодой. В связи с этим в его краевых частях сохранились железомарганцевые объекты с сопутствующей (Mo, As, Au, Pt и др.) минерализацией, сформированные глеевыми водами в ОР. Инфильтрационный рудный этап в блоке начался с позднего плиоцена — времени образования основного промышленного уранового оруденения в области выклинивания ЗПО.

Таким образом, формирование эпигенетического полиэлементного оруденения (уран, селен и др.), тяготеющего к выклиниванию ЗПО в отложениях осадочного чехла Центральных Кызылкумов, связано с новейшим этапом геологического развития региона. На этом этапе обособилась система малых артезианских бассейнов с инфильтрационным гидродинамическим режимом, разделенных горст-антиклинальными структурами. Последние сложены породами складчатого фундамента и служат местными областями питания. Этот процесс четко коррелируется с периодами орогенеза Тянь-Шаня, постепенно охватывая в северо-западном направлении все большую часть прилегающей к нему стабильной Туранской плиты. Выполненные палеогеологические построения позволяют

более целенаправленно проводить специализированные прогнозные и поисково-оценочные работы на эпигенетическое редкометальное оруденение. Установливаемая последовательность эпигенетических изменений позволяет проводить картирование на перспективных площадях с обнаружением скрытых частей эпигенетической окислительной зональности и «захороненного» оруденения.

5. Такие работы осуществлены нами в пределах Ордосского нефтегазоносного бассейна [4]. Это уникальная геологическая структура в пределах Центрального Китая. Она занимает площадь более 300 тыс. км². Регион является одной из основных «кладовых» энергетического сырья страны. В его пределах сосредоточены месторождения угля с общими запасами более 100 миллиардов т. Разведанные запасы нефти составляют не менее 1500 млн т, а гигантские газовые поля, крупнейшие в Китае, вмещают более 11 000 млн м³ газа. Увенчались успехом и многолетние поиски урановых руд. Открытие в 2000 г. месторождения Дуншэн доказало возможность обнаружения новых объектов гидрогенного генезиса [3, 10 и др.].

Положение района в западной части Сино-Корейского кратона предопределило особенности его геологической истории. Древние осадочные толщи карбонатного состава в результате каледонской орогении были приподняты и частично размыты. На протяжении 140 млн лет происходило интенсивное корообра-

зование с заложением будущих структурных ловушек для газовых залежей в карстовых областях. В пределах бассейна отсутствуют отложения силура и девона. Познекарбовое время — этап новой морской трансгрессии с появлением прибрежно-морских условий осадконакопления. Аллювиально-озерные условия седиментации характерны для среднего и позднепермского времени. Многочисленные палеоруслы, выполненные кластическими породами, и дельты крупных водотоков впоследствии стали прекрасными резервуарами для углеводородов. Максимальное развитие аллювиально-озерных равнин приходится на мезозойское время. Это эпоха формирования основных нефтематеринских пород и ловушек различного типа, в которых позднее локализовались месторождения нефти. Триасовая пестроцветная толща сложена гравийниками, разнозернистыми песчаниками с прослоями алевролитов, глин и углей. Юрские отложения, вмещающие основное урановое оруденение, разделены на несколько крупных ритмов осадконакопления. Нижнемеловые отложения представлены красноцветными и сероцветными песчаниками аллювиальных равнин. Конец мелового периода — время интенсивной денудации территории, продолжавшейся до середины третичного времени, окончание которого ознаменовалось формированием мощных лессовых толщ, преимущественно на юге территории и четвертичных эоловых песков — на севере.

В результате мезозойских и кайнозойских тектонических импульсов сформировался современный структурный план Ордоса и его обрамления. Для бассейна Ордос и прилегающих структур на основе специализированного картирования создан комплект палеокарт и разрезов. Они отражают в ретроспективе взаимоотношения процессов окислительного и восстановительного ряда на протяжении крупных этапов геологической истории региона. Все построения осуществлены для изменений, происходивших в отложениях среднеюрского возраста — основного рудовмещающего горизонта. Здесь зона окисления за счет внедрения восстановителей изменила свой цвет с желтого и буро-желтого на зеленый и серо-зеленый. Это обусловлено формированием эпигенетического хлорита. Окисление сохранилось в реликтах (рис. 5). Последовательность преобразования осадочной толщи проиллюстрирована на рис. 6.

Этап I (среднеюрско-раннемеловой) характеризуется интенсивным сжатием краевых частей бассейна, особенно на западе территории. Здесь уже с поздне триасового времени сформировался ряд надвиговых структур. Площадь бассейна — максимальная для мезозойско-кайнозойского времени. Области питания пластовых вод

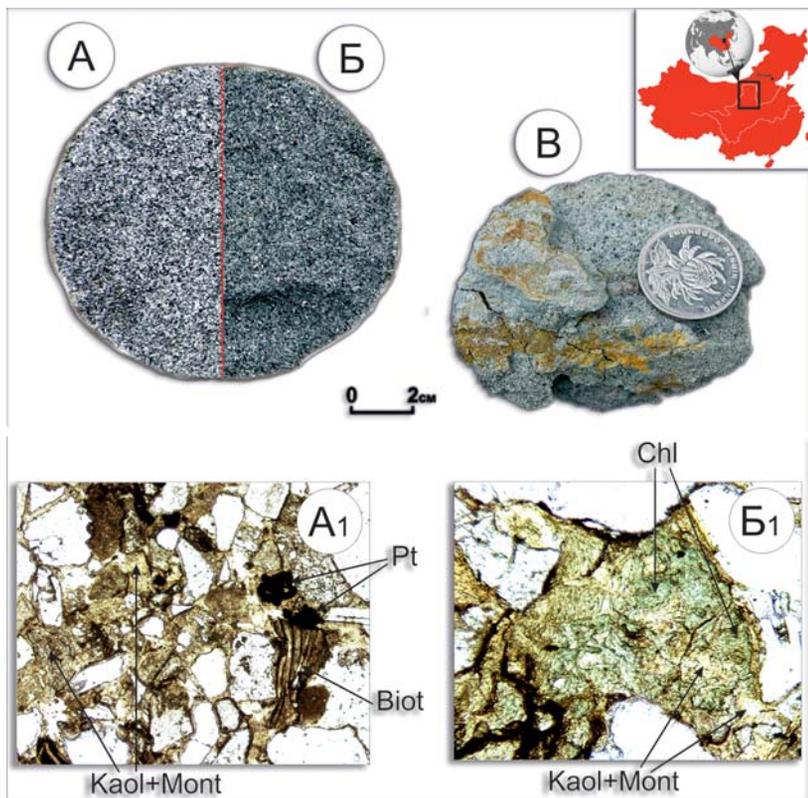


Рис. 5. Эпигенетические изменения пород месторождения Дуншэн: А — первичная порода — серый песчаник, А₁ — неизменный биотит и пирит в песчанике с каолинит-монтмориллонитовым цементом (ув. 40×); Б — измененная порода — зеленовато-серый песчаник, Б₁ — замещение каолинит-монтмориллонитового цемента коллоидальным хлоритом (ув. 100×), В — реликты окисления в глине

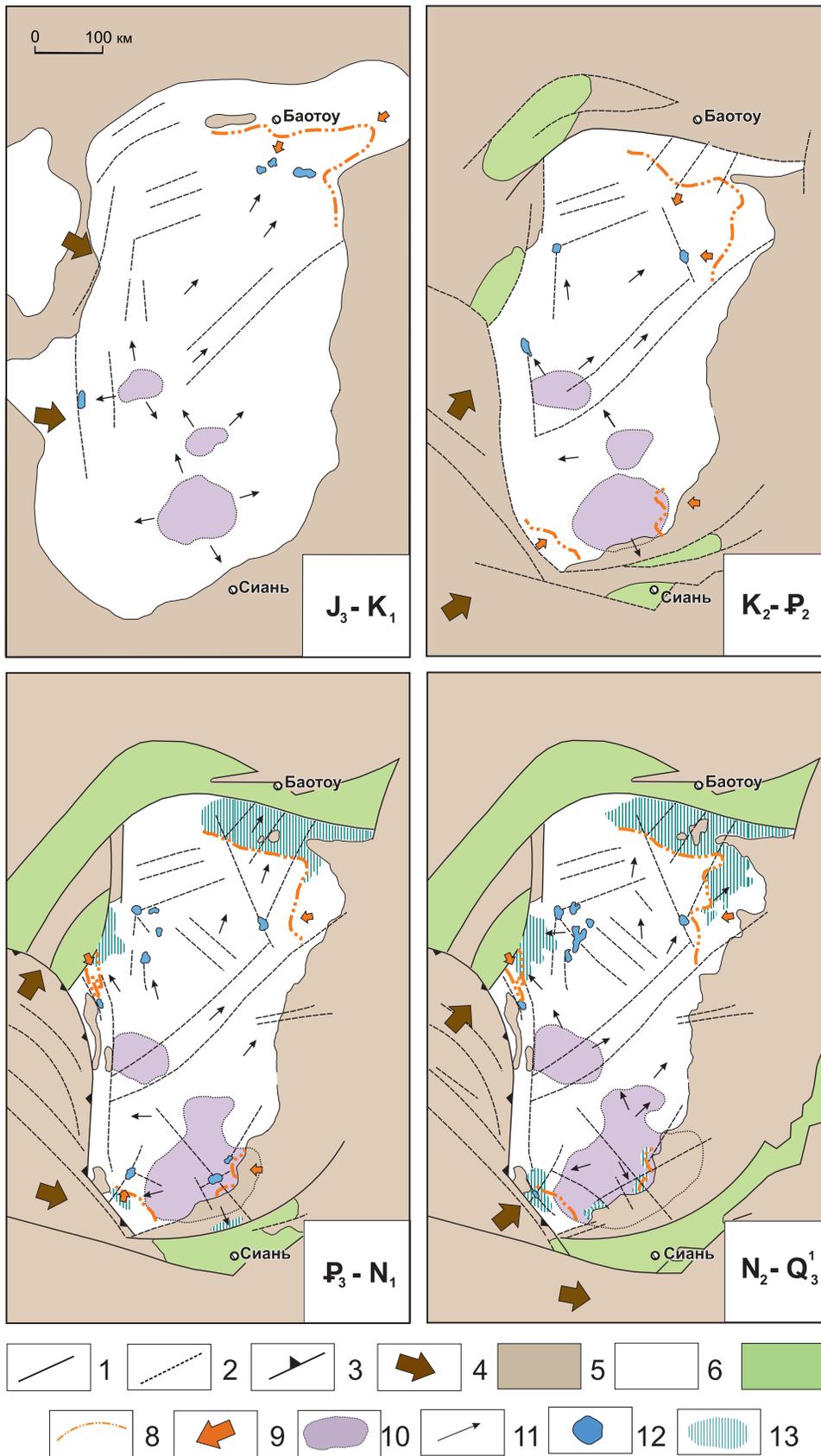


Рис. 6. Эпигенетические процессы в нефтегазоносном бассейне Ордов. Тектонические нарушения: 1 — основные; 2 — второстепенные; 3 — надвиги; 4 — направления тектонических напряжений; 5 — горное обрамление; 6 — нефтегазоносный бассейн Ордов; 7 — грабены; 8 — граница выклинивания зон окисления; 9 — направления движения кислородных ураноносных вод; 10 — области нефтегазогенерации; 11 — направления движения нефтегазоносных флюидов; 12 — очаги разгрузки пластовых вод; 13 — площади проявления восстановительного эпигенеза

имеют незначительные превышения, что создало предпосылки для формирования зон грунтового окисления. В среднеюрских отложениях они широко развиты на северо-востоке территории. Центральная и южная части бассейна — области интенсивной генерации и миграции углеводородов. С эпигенетическими процессами окислительного ряда связано экзодиагенетическое оруденение. Восстановительная емкость среднеюрских осадков аллювиальной равнины достаточна для образования незначительных скоплений урана. Главные очаги разгрузки пластовых вод локализовались в северо-восточной части поднятия Илэн и на самом западе Западной складчато-надвиговой зоны.

Этап II (поздне меловой-среднепалеогеновый) — время продолжения сжатия Ордовского блока и его вращения против часовой стрелки. Это происходило на фоне смены основных геодинамических напряжений на западное и северо-западное направления. Такая ситуация способствует разломообразованию и началу формирования грабеновых структур. Идет интенсивное погружение с осадконакоплением в пределах западной части грабена Хэтао, в грабене Иньчуань и на юго-западе системы грабенов Фэнвей. При этом общая площадь осадконакопления в Ордовском бассейне уменьшается. Появляется ряд крупных очагов разгрузки на некотором удалении от его бортовых частей. Продолжающееся погружение осадочной толщи пород приводит к расширению областей нефтегазогенерации и миграции новых порций углеводородных флюидов к очагам разгрузки. Отсутствие хорошо

выраженных очагов разгрузки на юге, в пределах поднятия Вэйбэй, тормозит развитие окислительных процессов. Зоны окисления относительно короткие. На этом этапе они начали свое развитие на юго-востоке территории и ее юго-западе. Вероятно, это были зоны грунтового окисления пластовой морфологии. Высокая восстановительная емкость пород, обусловленная большим количеством углефицированного детрита, создавала предпосылки для формирования незначительных урановых тел. На северо-востоке территории, в районе Дуншэня, появились предпосылки для развития широкого фронта зоны пластового окисления с северного и восточного бортов впадины. Наличие мощного очага разгрузки дало возможность продвигаться границам ее выклинивания в область развития хорошо проницаемых осадков русловых фаций. Они первично-сероцветные с многочисленной углефицированной органикой. Это предопределило высокую интенсивность уранового рудогенеза.

Этап III (позднепалеоген-миоценовый) связан с началом заключительной фазы гималайской активизации. Это время роста областей питания пластовых вод. Запад-юго-западный борт впадины надвигается на Ордосскую синеклизу, что приводит к уменьшению ее размеров. Возрастает интенсивность разломообразования. Скорости осадконакопления в пределах грабенов резко увеличиваются. Наиболее интенсивно расширяются грабены Хэтао и Иньчуань. Они приобретают облик, близкий к современному. Расширение системы грабенов Фэньвэй более скромное. Разрастаются области нефтегазогенерации. Интенсивность миграции углеводородов к очагам разгрузки усиливается в течение всего этапа, достигая максимума в его конце. Этот процесс интенсивно идет в южном и западном бортах, но наиболее ярким он в северном борту. В начале этапа продолжали развиваться зоны пластового (на севере и юго-западе) и грунтового окисления (на юго-востоке). Сформировалось несколько крупных языков окисления и от западного борта впадины. Вероятнее всего они имеют грунтовый характер, так как расположены выше уровня грунтовых вод. Интенсивность рудообразования низкая.

Этап IV (плиоцен-голоценовый) характеризуется завершением создания современного структурного плана. Юго-западный и западный борты впадины испытывают максимальное геодинамическое давление, сбрасываемое в надвиговых системах. Вращательное движение против часовой стрелки относительно стабильного Ордосского блока завершает образование опоясывающих его грабеновых систем. Большая часть разрывных нарушений локализуется вдоль бортов впадины и грабенов. В пределах Ордосского блока они тяготеют к его северной части. Это способствует образованию многочисленных небольших очагов разгрузки. Наибольшие площади охватывают области нефтегазогенерации. Преобладающая латеральная миграция углеводородных флюидов сменяется в ряде мест на субвертикальную. Изменения восстановительного ряда проявляются в виде обеления, доломитизации,

гематитизации, пиритизации, битуминизации разреза. При длительной латеральной миграции или субвертикальном перетоке флюидов из палеозойских коллекторов отмечается интенсивная хлоритизация первично окисленных пород. Наиболее характерны такие изменения для района Дуншэн. В голоцене формируются безрудные грунтовые зоны окисления, развивающиеся по восстановленным разностям пород. Для него разработана комплексная динамичная модель рудогенеза.

В результате исследований в регионе выделяются несколько этапов гидрогенного рудообразования на фоне взаимодействия окислительных (рудных) и восстановительных процессов. Генерация нефтегазовых восстановителей преимущественно осуществлялась в южной части Ордосской впадины. Направления движения углеводородных флюидов определялось геодинамическими условиями, часто обуславливающими формирование очагов разгрузки в зонах разломов. На протяжении всех этапов постепенно уменьшалась роль латеральной миграции восстановительных флюидов при возрастании субвертикальной. Урановый рудогенез связан с развитием зон грунтового и пластового окисления. В первом случае его интенсивность низкая, во втором — максимальная. Своего апогея он достигает на северо-востоке синеклизы (рудное поле Дуншэн).

Заключение. Сложность разнонаправленных эпигенетических процессов и их взаимоотношение определяется двойной ролью углеводородных флюидов и продуктов их разрушения. С одной стороны, битуминизация проницаемых пластов, а также связанные с этим пиритизация, хлоритизация, доломитизация и другие изменения создают благоприятную геохимическую обстановку восстановительного характера для последующей концентрации урана, с другой — внедрение битумов и их разрушение в зоне аэрации приводит к «захоронению» сформированного ранее оруднения и исчезновению следов его образования — эпигенетической окислительной зональности. Это затрудняет прогнозные и последующие поисково-разведочные работы. Методические приемы специализированного картирования позволяют установить последовательность процессов и оценить роль углеводородов при формировании песчаниковых месторождений урана. Она успешно использована при прогнозных исследованиях в краевых частях нефтегазоносных бассейнов России и других регионов мира.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гидрогенные* месторождения урана: Основы теории образования / А.И. Перельман, С.Г. Батулин, А.К. Лисицин и др. / Под ред. А.И. Перельмана. — М.: Атомиздат, 1980. — 270 с.
2. *Кисляков, Я.М.* Гидрогенное рудообразование / Я.М. Кисляков, В.Н. Щеточкин / Под ред. А.И. Кривцова, Г.А. Машковцева; МПР РФ. — М.: Геоинформмарк, 2000. — 610 с.
3. *Печенкин, И.Г.* Металлогения ураноносных осадочных бассейнов Евразии / И.Г. Печенкин, Г.В. Грушевой. — М.: РИС «ВИМС», 2015. — 223 с.
4. *Печенкин, И.Г.* Гидрогенное рудообразование в Ордосском осадочном бассейне / И.Г. Печенкин, В.Г. Печенкин // Осадочные процессы: седиментогенез, литогенез, рудогенез (эволюция, типизация, диагностика, моделирование): Матер. 4-го Всеросс. литологического совещания. Т. 2. — М.: ГЕОС, 2006. — С. 174–176.

5. Печенкин, И.Г. Эволюция осадочного рудообразования / И.Г. Печенкин, В.Г. Печенкин. — М.: ВИМС, 2016. — 87 с.
6. Рудные месторождения Узбекистана / Отв. ред. И.М. Голованов. — Ташкент: ГИДРОИНГЕО, 2001. — 661 с.
7. Учкудукский тип урановых месторождений Республики Узбекистан / Х.К. Каримов, Н.С. Бобоноров, К.Г. Бровин и др. — Ташкент: Фан, 1996. — 334 с.
8. Холодов, В.Н. Рудогенерирующие процессы элизионных и инфльтрационных систем / В.Н. Холодов, Е.М. Шмариович // Геология рудных месторождений. — 1992. — № 1. — С. 3–22.
9. Экзогенные эпигенетические месторождения урана. Условия образования / С.Г. Батулин, Е.А. Головин, О.И. Зеленова и др. / Под ред. А.И. Перельмана. — М.: Атомиздат, 1965. — 324 с.
10. Xiang, Wei-dong Metallogenic characteristics and model of Dongsheng uranium deposit in Ordos basin, North China / Xiang Wei-dong, Fang Xi-heng, Li Tian-gang etc. // Uranium Geology. — 2006. — Vol. 22. — No 5. — P. 257–266.

© Печенкин И.Г., 2017

Печенкин Игорь Гертрудович // pechenkin@vims-geo.u

УДК 553.496.411.078 (480+470.22)

Афанасьева Е.Н., Миронов Ю.Б. (ФГБУ «ВСЕГЕИ»)

ЗОЛОТУРАНОВОЕ ОРУДЕНЕНИЕ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ЛАПЛАНДСКОГО ПОЯСА (БАЛТИЙСКИЙ ЩИТ)

*Рассмотрены структурно-вещественные особенности золотоуранового оруденения центральной части Лапландского пояса, в пределах которой выделены Куусамо-Пана-Куоляярвинский золотоурановый рудный район (Россия, Финляндия), а также Кемп-Торнио золотоурановый и Киттиля-Сиркку золоторудный районы (Финляндия). Выполнен сравнительный анализ структурно-вещественных характеристик и пространственно-временных закономерностей размещения золотоурановых рудных объектов российской и зарубежной частей Балтийского щита, включающий особенности рудовмещающих пород, рудоконтролирующих структур, типов околорудных метасоматитов, состав рудной минерализации. Сделан вывод о перспективах выявления в пределах Пана-Куоляярвинского прогиба золоторудных объектов различных рудных формаций. Даны рекомендации по дальнейшим работам. **Ключевые слова:** Балтийский щит, золото, месторождения Юомасуо, Пахтаваара, Ромпас, метасоматиты, рудопроявление Озерное, уран.*

Afanaseva E.N., Mironov Yu.B. (VSEGEI)

URANIUM AND GOLD MINERALIZATION IN THE CENTRAL PART OF THE LAPLAND BELT (THE BALTIC SHIELD)

Structural and compositional features of the gold-uranium mineralization in the Central part of the Lapland Belt are considered. The Kuusamo-Pana-Kuolajarvi gold-uranium ore district (Russia, Finland), Kemi-Tornio gold-uranium (Finland) and Kittilla-Sirkku gold ore district (Finland) were allocated. Comparative analysis of the structural and compositional features, spatial and temporal patterns of gold and uranium ore objects distribution of the Russian and foreign

*parts of the Baltic Shield was made. This concerns the ore-bearing rocks features, ore-controlling structures, the types of bearing-ore metasomatic rocks, the composition of the ore mineralization, etc. The conclusion about the prospects of detection within the Pana--Kuolajarvi Trough of gold ore objects of different ore formations, and recommendations for further work are given. **Keywords:** Baltic Shield, Yuomasuo, Pakhtavaara, Rompas deposits, gold, Ozernoye mineral occurrences, metasomatites, uranium.*

Лапландский рифтогенный пояс (Восточно-Карельская зона), разделяющий Карельскую гранит-зеленокаменную область и Беломорский подвижный пояс, окончательно сформировался в ходе свекофеннской коллизии между Карельским и Беломорским мегаблоками на рубеже 1,95–1,65 млн лет, которая сопровождалась поддвижением Карельского мегаблока под Беломорский мегаблок [5]. Есть основания полагать, что коллизия нашла отражение в региональной структурно-металлогенической зональности, распространившейся на весь Карельский кратон [1]. При этом, максимальное проявление дислокационного процесса имело место в пределах Восточно-Карельской структурной зоны, наиболее приближенной к области сопряжения Карельской гранит-зеленокаменной области, и Беломорского подвижного пояса, пространственно совпадающего с рифтогенным поясом. Максимальная деформированность пород Восточно-Карельской зоны отчетливо коррелируется с другими факторами, определяющими ее металлогеническую специализацию. Это шовная, краевая, долгоживущая мобильно проницаемая зона Карельского кратона, испытывавшая многократные тектонические и гидротермально-метасоматические преобразования. Она характеризуется максимальной полнотой и мощностью разрезов раннепротерозойских (палеопротерозойских) комплексов, широким развитием углеродистых и углеродсодержащих пород, интенсивным проявлением интрузивного магматизма. Восточно-Карельская зона трассируется глубинными разломами, которые создавали благоприятные условия для циркуляции рудоносных растворов [1, 3].

В геологическом отношении центральную часть Лапландского пояса составляют следующие раннепротерозойские (палеопротерозойские) структуры: Куусамо-Пана-Куоляярвинский прогиб, пояс Киттиля и пояс Пурапохиа, которые размещаются вокруг Центрально-Лапландского гранитоидного массива (рис. 1).

Металлогения центральной части Лапландского пояса определяется объектами разных рудных формаций, что определило выделение металлогенических таксонов с различной специализацией: Куусамо-Пана-Куоляярвинского (рис. 1, 2) и Кемп-Торнио золотоурановых с медью рудных районов [8] и Киттиля-Сиркку золоторудного района, вмещающего такие известные месторождения золота, как Суурикуусикко, Саатапора, Пахтаваара (рис. 1). Куусамо-Пана-Куоляярвинский рудный район объединяет меридиональный Куоляярвинский и субширотный Куусамо-Панаярвинский прогибы, отличающиеся временем заложения,