

ЭОЦЕН-ГОЛОЦЕНОВАЯ ЭВОЛЮЦИЯ СИНЕГОРСКОЙ РУДНО-МАГМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ (ЮЖНОЕ ПРИМОРЬЕ)

Изучено влияние новейших (эоцен-голоценовых) процессов на структуру и металлогению каледонско-герцинской Синегорской рудно-магматической системы (СРМС). Обозначена ее позиция в структуре востока Азии, выделены основные закономерности ее развития. Показана связь ее каледонско-герцинской структуры и металлогении с формированием Приханкайского свода и кольцевого гранитного батолита. Исследованы особенности развития СРМС на новейшем этапе. Оценено трансформирующее влияние на нее новейших окраинно-континентальных структур — Сихотэ-Алинского орогена и Амуро-Ханкайского рифтогена. Рассмотрены воздействие на СРМС плиоцен-четвертичной мантийной активизации с трапповым магматизмом и низкотемпературным метасоматозом и характер новейшего уран-полиэлементного рудогенеза с рудообразующими системами эндогенного, экзогенного и полигенного классов. На примере новейшего уранового оруденения Раковского месторождения и одноименной герцинской вулканно-тектонической структуры (ВТС) разработана модель ремобилизации герцинского уранового оруденения. Обоснована возможность выявления «слепого» уранового оруденения в фундаменте герцинских ВТС.

Ключевые слова: *моделирование, эволюция, рудно-магматическая система, рудогенез, металлогения, новейшая тектоника, трапповый магматизм, рудообразующие системы, дислокации, эрозия.*

The influence of modern (Eocene-to-Holocene) processes on the structure and metallogeny of the Caledonian-Hercynian Sinegorsk ore-magmatic system (SOMS) has been studied. The SOMS position in the structure of East Asia is shown. The main regularities are established in the development of SOMS. The relationship of Caledonian-Hercynian structure and metallogeny to the formation of the Prikhanka dome and ring granite batholith is illustrated. The features of modern development of SOMS are investigated. It is evaluated the transforming influence exerted on SOMS by the modern marginal-continental structures including the Sikhote-Alin orogen and the Amur-Khanka riftogen. It is shown that SOMS was affected by Pliocene-Quaternary mantle activation with trap magmatism and low temperature metasomatism. The character of modern uranium-polyelement ore genesis with the ore-forming systems of endogenous, exogenous and polygenous classes is demonstrated. Based on modern uranium mineralization of the Rakovsky deposit and the Hercynian volcanic-tectonic structure (VTS) of the same name, the model of remobilization of Hercynian uranium mineralization by modern metasomatism is developed. The possibility of detecting the "blind" uranium mineralization in Hercynian VTS basement is validated.

Keywords: *modeling, evolution, ore-magmatic system, ore genesis, metallogeny, modern tectonics, trap magmatism, ore-forming systems, dislocations, erosion.*

Введение. Статья продолжает серию публикаций [1, 4–8] по исследованию влияния новейших процессов на структуру и металлогению российской части востока Азии. Под новейшим этапом здесь понимается время с эоцена по голоцен включительно. **Синегорская рудно-магматическая система** интенсивно изучалась в 50–80-е годы XX в. комплексом геолого-геофизических методов с бурением, горными работами, аэро- и наземной геофизикой. Это одна из РМС Дальнего Востока России, наиболее обеспеченная информацией. Только по урановому направлению выполнено более 30 научных, прогнозно-поисковых, поисково-оценочных и разведочных проектов. В восьми из них автор был ответственным исполнителем. Основу его кандидатской диссертации [2] составила комплексная эволюционная модель с реконструкциями структуры и металлогении СРМС от протерозоя до квартара. В последние годы модель пополнена новыми данными и приведена в соответствие с акцентированной на новейший этап региональной моделью [1, 3, 6]. Скорректированный вариант этой модели был продемонстрирован

на Третьем международном симпозиуме «Уран: геология, ресурсы, производство» (2013). В статье он представлен в расширенном виде.

Особенности Синегорской РМС с флюоритовым, редкометалльным, полиметаллическим, германиевым и урановым оруденением Вознесенского и Синегорского рудных районов во многом определила ее позиция в региональной структуре. Эта РМС находится на активной азиатской окраине, в южной части Ханкайского массива — реликтового блока протоплатформы, принадлежащего к структуре байкальско-герцинского Центрально-Азиатского подвижного пояса, преобразованного в свою очередь структурой мезозойско-кайнозойского Тихоокеанского пояса. Такая позиция уже сама по себе предполагает ее длительную и непростую эволюцию и активное развитие, в том числе и на всем новейшем этапе. Влияние этого этапа на СРМС связано прежде всего с ее положением в южной части зоны сочленения двух во многом полярных по характеру своего развития, но активно взаимодействующих новейших окраинно-континенталь-

ных структур – Сихотэ-Алинского орогена (САО) и Амуро-Ханкайского рифтогена (АХР). Основные особенности этих синхронно развивающихся структур исследованы автором ранее [6–8]. Связанная с ними новейшая сдвиго-надвиговая тектоника, сейсмотектоника, новейшие осадкообразование и эрозия, трапповый магматизм, гидротермальный метасоматоз и полиэлементный рудогенез в значительной мере преобразовали СРМС, определив неоднородный, интерферирующий характер ее современной структуры и металлогении. Насыщенная разноплановой информацией Синегорская РМС стала своеобразным полигоном для изучения новейших процессов структурирования континентальной коры и рудообразующих процессов новейшего этапа, а также их трансформирующего влияния на более раннюю структуру и металлогению востока Азии.

Доновейшая эволюция Синегорской РМС (рис. 1, 2). **Докаледонский фундамент**, на котором развивалась структура СРМС, был сформирован в период от протерозоя до силура. В **позднем протерозое – раннем кембри** на древней платформе, объединявшей тогда Сибирский и Китайский кратоны, в условиях пониженной тектономагматической активности отлагались осадки терригенно-карбонатной формации (спасская и вознесенская серии). В **кембри – ордовике** произошла деструкция протоплатформы и образовался Урало-Монгольский подвижный пояс с его восточным фрагментом – Центрально-Азиатским подвижным поясом (ЦАПП). Структура ЦАПП, развивавшаяся под определяющим влиянием широтной и меридиональной систем разломов с подчиненными им разломами диагональной системы, была тогда насыщена реликтовыми жесткими блоками протоплатформы (массивы Агунский, Буреинский, Ханкайский и др.). На микроконтиненте, включавшем Буреинский и Ханкайский массивы, в условиях сжатия, нарастающего под давлением Сибирского и Китайского кратонов, на завершающей стадии прошли масштабные процессы гранито- и сводообразования. На юге микроконтинента сформировалась структура Приханкайского свода (ПХС) с очагом гранитообразования в его ядерной, глубинной части. Апикальная часть свода, сложенная дислоцированными и метаморфизованными к этому времени породами спасской и вознесенской серий, была деформирована и разбита на локальные жесткие блоки (Вознесенский, Спасский и др.). Эти блоки избыточной плотности были погружены в развившуюся над очагом зону разуплотнения. Их просадка привела в свою очередь к формированию Синегорской впадины, заполнившейся осадками пестроцветной карбонатно-терригенной (молассоидной) формации.

В **силуре** усиление регионального сжатия вызвало активизацию гранитного очага с формированием кольцевого гранитного батолита и интрузивно-купольных структур с массивами щелочных лейкогранитов в его внутренней части. На территории России представлена южная часть батолитового кольца, северная его часть находится на территории Китая. Калиевые граниты основной фазы формирования батолита, особенно лейкограниты его заключительной фазы, характеризуются повышенной специализацией на уран (5–20 г/т), фтор, редкие и редкоземельные элементы [2].

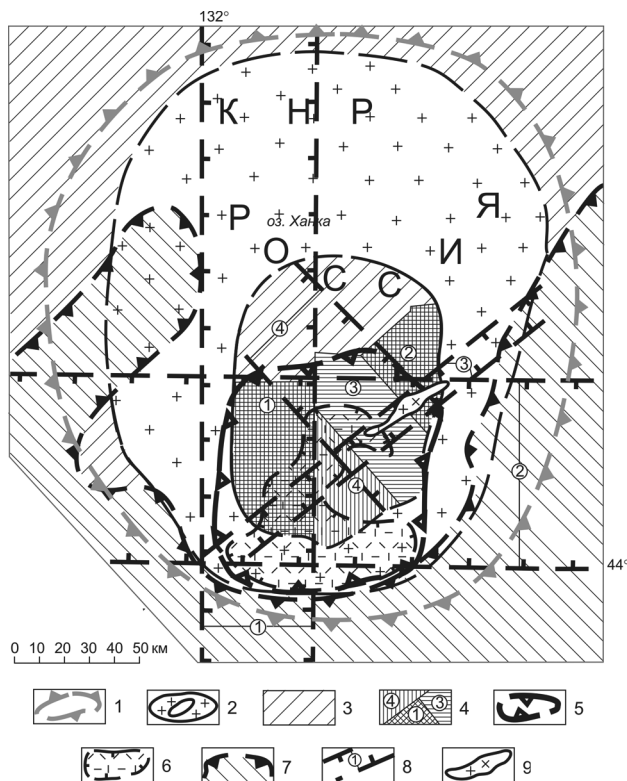


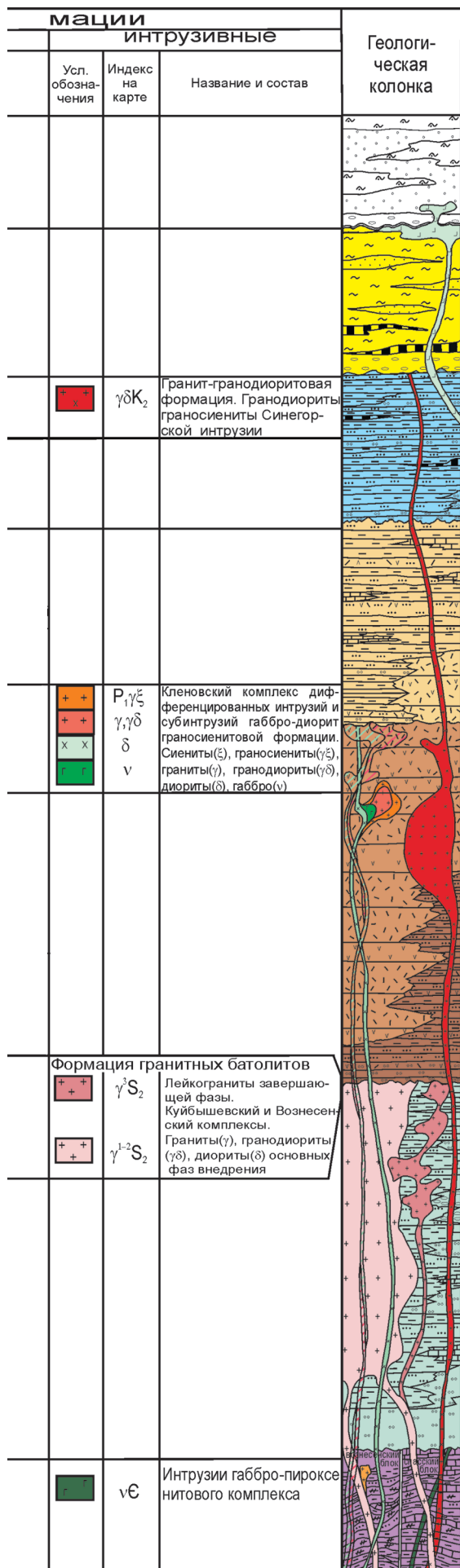
Рис. 1. Позиция Синегорской РМС в региональной структуре

1 – контур Приханкайского свода (ПХС) по данным космофотодешифрирования; 2 – контур кольцевого батолита; 3 – байкальско-каледонские образования Центрально-Азиатского пояса с реликтами протоплатформы; 4 – жесткие блоки протерозой-раннепалеозойских пород внутренней части батолитового кольца: 1 – Вознесенский, 2 – Спасский, 3 – Черниговский, 4 – Вассиановский; 5 – контур Синегорской РМС; 6 – контур девон-карбонных и пермских (континентальных) ВТС; 7 – контур развития субаквальных вулканогенных позднепермских и прибрежно-морских осадочных мезозойских образований южной части ПХС; 8 – основные зоны глубинных разломов: 1 – Эхилкан-Ханкайская, 2 – Кавалерово-Дальнегорская, 3 – Синегорская, 4 – Спасская; 9 – Синегорская интрузия. По [2, 6] с дополнениями

В южной (российской) части ПХС с этого времени собственно и начала существовать как самостоятельный металлогенический объект *Синегорская рудно-магматическая система*. С упомянутыми интрузивно-купольными структурами связано развитие двух ее локальных РМС (Вознесенской и Куйбышевской), продуцировавших флюоритовое, полиметаллическое, редкоземельное и редкометалльное оруденение.

В **девоне – перми** Приханкайский свод продолжал развиваться и был эродирован с препарацией батолитового кольца и интрузивно-купольных структур в его внутренней части. Активизация очага гранитообразования, расположенного в ядерной части свода, привела к расколу его апикальной части с развитием рифтогенеза. На эродированной поверхности образовалась система вулканогенно-тектонических структур (ВТС), выполненных предвулканогенной молассой люторгской свиты с перекрывающими ее вулканитами андезириолитовой формации, характеризующейся устойчивым щелочным уклоном с преобладанием калия и широкой вариацией кремнекислоты. Породы формации специализированы на уран и достаточно обширную группу других элементов с преобладанием тория, циркония, олова,

Возраст		Основные этапы развития региона	Основные этапы развития СРМС	Геологические фор					
геологический	абс., млн. лет			осадочные		вулканогенные			
				Усл. обозначения	Индекс на карте	Усл. обозначения	Индекс на карте	Название и состав	
Q	2	Мезозойско-кайнозойских подвижных поясов	Синхронное развитие АХРС и САО в условиях амагматического режима с деградацией рифтогенеза в конце этапа		N ₂ -Q	Аллювиальная глинисто-песчано-галечниковая формация. Рыхлаые обводненные осадки речных долин и озерных котловин. Усть-суифунская свита			
N ₂	9		В конце этапа мантийная активизация с трапповым магматизмом. С зюцена развитие САО и АХРС. В палеоцене – планация рельефа, развитие КВ		P ₃ -N ₂	Сероцветная аллювиальная формация. Глины, пески, гравийно-галечные отложения, прослои бурых углей. Угловская, надеждинская, усть-давыдовская, суифунская свиты		βN ₂ -Q	Формация щелочных платобазальтов. Базальты, андезиты, реже андезидациты
N ₁	25								
P ₁₋₃	60	Мезозойско-герцинских подвижных поясов	Орогенез, внедрение Синегорской интрузии с формированием одноименной горст-антиклинали						
K ₂	100		Тихоокеанская трансгрессия с захватом южной части ПХС						
K ₁	137								
J	195					J-K ₁	Угленосная песчаниково-алевролитовая формация мелкого моря		
T	230	Байкальско-герцинских подвижных поясов	Переработка южной периферии ПХС мобильными структурами ЦАПП. На континенте эрозия свода, формирование локальных очагов гранитизации с внедрением дифференцированных интрузий, образование ВТС		P ₂ -T	Вулканогенно-карбонатно-терригенная формация. Песчаники, алевролиты, конгломераты, их туфогенные разности, известняки (чадалазская свита)		P	Субазральная андезириолитовая формация. Вулканогенно-осадочные образования смешанного состава – реликты в приосевой части Синегорской горст-антиклинали (горнохотурская свита)
P	285								
C	350		Усиление гранито- и сводообразования в ЦАПП. Формирование структуры Аргуно-Ханкайского мегасвода. Разрастание и эрозия ПХС с препарацией кольцевого батолита. В конце этапа активизация гранитного очага, раскол свода, континентальный рифтогенез, формирование системы сочлененных ВТС		D-C	Формация предвулканогенной континентальной молассы		D-C	Субазральная андезитрахириолитовая формация Покровные фаши: риолиты, трахириолиты, дациты, реже андезиты, трахиандезиты, ингимбриты и туфы. Субвулканы и экструзии: риолиты(λ), риодациты(λξ), дациты(ξ), их щелочные разности(τ). андезиты(α), диабазы(β)
D	405	Байкальско-герцинских подвижных поясов	Активизация очага гранитизации с образованием кольцевого батолита						
O	440								
O	450								
Є	500	Протоплатформенный	Формирование Синегорской впадины. Заложение ПХС с очагом гранитообразования. Формирование ЦАПП с реликтовыми блоками-микроконтинентами		Є-O	Пестроцветная карбонатно-терригенная (молассоидная) формация. Конгломераты, гравелиты, песчаники прибрежной зоны (меркушевская, даубихезская свиты). Гравелиты, песчаники, конгломераты переходной зоны (даубихезская свита). Внутренняя зона бассейна: алевролиты, песчаники гравелиты и конгломераты, линзы известняков (медвежинская, реттиховская, вассиановская свиты – снегуровская толща). В отдельных горизонтах алевролитов примесь туфого материала			Предполагаются локальные проявления (андези-)риолитовой формации на периферии мобильной зоны
Є	525								
Є	550								
PR ₃ -Є ₁	570		Формирование чехла протоплатформы		PR ₃ -Є	Пестроцветная терригенно-карбонатная формация (спаская и вознесенская серии). Пестроцветные алевролиты, песчаники, филлитовидные и углеродисто-кремнистые сланцы. Известняки, слюдистые сланцы, гнейсы			
PR ₃ -Є ₁	1600								



бериллия, редких земель, свинца, титана, ниобия и тантала. Характер специализации пород трахириолитового ряда в герцинских ВТС близок к специализации каледонских гранитов ПХС, что свидетельствует об общности продуцировавшего их магматического очага.

Максимальной специализацией на уран характеризуются породы субвулканических и экструзивных фаций, среди которых выделяются высокоспециализированные (до 10–15 г/т урана) массивы трахириолит-дацитового состава, фиксирующие положение крупных структурных узлов. По уровню специализации они соответствуют вулканитам рудных районов Казахстана, Забайкалья и Монголии. С развитием герцинских ВТС в Синегорском районе связано появление целого ряда локальных *рудно-магматических систем* (Васиановская, Лунзенская, Тихорецкая и др.), сформировавших урановое оруденение месторождений Липовское, Синегорское, Феникс, многочисленных рудопроявлений и аномалий.

С **позднего мезозоя** эволюция Синегорской РМС получила принципиально иное направление, она стала развиваться под определяющим влиянием трансформирующей ее мезозойско-кайнозойской структуры Тихоокеанского подвижного пояса (ТОПП). Трансгрессия *ранней (рэт-юрско-раннемеловой)* фазы развития ТОПП захватила в том числе и южную периферию СРМС. Следы этой трансгрессии сохранились здесь в виде реликтовой структуры Раздольненской впадины, выполненной слаболитифицированными прибрежно-морскими угленосными осадками и преобразованной более поздними (мезозойско-кайнозойскими) процессами.

В **позднем мелу – палеоцене** на окраине Азии отчетливо доминировал орогенез. В начале этапа с северо-востока по Синегорскому разлому в структуру СРМС внедрилась одноименная трещинная интрузия гранодиоритов с формированием конформной ей горст-антиклинали. Вмещающие интрузию образования с локализованным в них герцинским урановым оруденением были подвергнуты контактовому метаморфизму. Особенно ярко это выразилось в Тихорецкой (на месторождении Синегорское) и в Лунзенской (рудопроявление Каменное) рудно-магматических системах [2]. В **палеоцене** структура СРМС продолжала свое развитие в том же (орогенном) режиме, но уже с заметно пониженной активностью магматизма. В условиях влажного теплого климата в динамичном взаимодействии с эрозионными процессами развивались площадные и линейные коры выветривания, последние преимущественно по зонам долгоживущих разломов, с особой избирательностью по дайкам среднего-основного состава. Выветрелые дайки мезозойских андезитов вскрывались, в частности, поисковыми скважинами на глубине более 250 м от подошвы осадочного чехла в гранитном фундаменте Раковской впадины.

Особенности новейшего развития структуры СРМС. Структура Синегорской РМС (рис. 3) испытала целый ряд преобразований, самые существенные связаны с наложением на нее новейших окраинно-континентальных структур Амуру-Ханкайского рифтогена и Сихотэ-Алинского орогена, а также с развитием плиоцен-четвертичной активизации глобального уровня. Ход трансформаций СРМС контролировали глубинные разломы, унаследовавшие структурный план предыдущих этапов. Сейчас они представляют собой «раскрытые», выполненные обводненным, дезинтегрированным субстратом структуры, поддерживаемые в этом состоянии активной сейсмогеодинамикой

Рис. 2. Эволюционная модель Синегорской РМС. По [2] с дополнениями

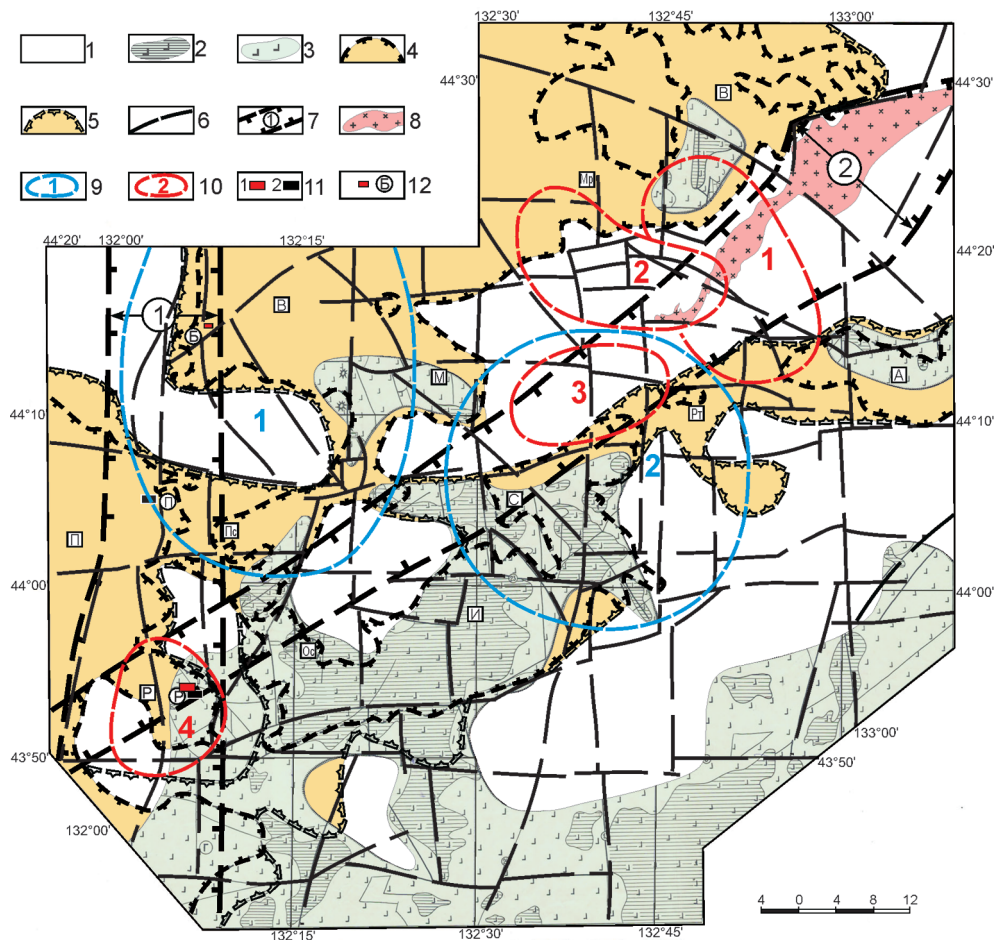


Рис. 3. Схема новейших трансформаций Синегорской СРМС

1 – выходы на поверхность пород фундамента новейших впадин; 2, 3 – контуры полей неоген-четвертичных платобазальтов: 2 – современные, 3 – реконструированные; 4, 5 – контуры новейших впадин (в полях платобазальтов не закрашены): 4 – современные, 5 – реконструированные. Основные впадины (буквы в квадратах): Р – Раковская, И – Ивановская, Пс – Поисковская, П – Павловская, С – Сандуганская, Рт – Реттиховская, В – Вадимовская, А – Арсеньевская, М – Монастыришенская, Ос – Осинонская; 6 – новейшие разломы; 7 – зоны Эхилкан-Ханкайского (1) и Синегорского (2) разломов; 8 – Синегорская интрузия; 9, 10 – локальные докайнозойские СРМС: 9 – каледонского этапа (1 – Вознесенская, 2 – Куйбышевская), 10 – герцинского этапа (1 – Тихорецкая, 2 – Лунзенская, 3 – Вассиановская, 4 – Раковская); 11 – месторождения новейшего этапа: 1 – Раковское урановое, 2 – Раковское (Р) и Павловское (П) германиевые; 12 – рудопроявление урана Березьянское-1. По [2] с дополнением

востока Азии [1]. В новейшей эволюции СРМС достаточно уверенно выделяются *три основные стадии*.

В *эоцене – миоцене* отдельные блоки на западе СРМС были погружены под воздействием сдвиговой тектоники АХР до глубины 0,5–2 км с формированием системы впадин и сопряженных с ними палеодолин. Впадины выполнялись осадками аллювиальной угленосной формации со «скользящим» во времени базальным слоем, с пестрым по литологии набором преимущественно грубообломочных отложений аллювиального и пролювиального комплекса фаций. Пилообразность верхнего контакта базального слоя отражает фациальный характер взаимоотношений этого слоя с углистоглинистыми осадками внутренних частей впадин. У крутых бортов наиболее крупных структур (Жариковская, Вадимовская) мощность базального слоя наращивалась до сотен метров. Базальный слой с высокой в целом проницаемостью образует единый для впадины водоносный горизонт. Контролируя ее инфильтрационные потоки и разгрузку трещинно-жильных вод из «раскрытых» новейших структур фундамента, он в значительной мере определяет

характер гидродинамики и гидрохимии впадины, создавая тем самым благоприятные условия для развития в ней эпигенетических процессов.

Формировавшаяся на этой стадии структура САО развивалась в магматогенном режиме, особенно хорошо выраженном на северной и восточной окраинах Азии, куда сместился фронт структурирования континентальной коры [8]. Здесь в орогене получили развитие массивы калиевых гранитов и вулканоструктуры базальт-андезитрахириолитовой формации. Новейшие осадки Синегорской СРМС были обогащены тонким туфовым материалом. Отдельные горизонты пепловых туфов отмечены, в частности, в верхней части осадочного чехла Раковской и Павловской впадин [2, 6].

Существенное влияние на структуру западной части СРМС оказала зона Эхилкан-Ханкайского разлома (ЭХР). Его длительно развивающаяся меридиональная система, заложенная еще в период активного развития ЦАПП, прослеживается от Сибирского кратона до Японского моря. В новейшее время в пределах СРМС этот разлом под действием знакопеременного сдвига [1, 3] был фрагментирован с наращиванием мощности до 50 км и более.

Отдельные швы зоны ЭХР содержат многочисленные дайки каледонских аплитовидных гранитов, герцинских риолитов и мезозойских андезитов. На Вознесенском блоке один из таких швов вмещает крупное линейное субвулканическое тело девон-карбонных риолитов, указывая как минимум на герцинский возраст его заложения. Несколько севернее зона ЭХР контролировала развитие крутого западного борта новейшей Вадимовской впадины. Трассирующие её борт эоцен-четвертичные осадки подгорно-верного комплекса фаций обозначили конседиментационный характер этой зоны. В южной части на СРМС были наложены субширотная структура *Южно-Приморского разлома*, активизированного в новейшее время южного фрагмента Кавалерово-Дальнегорской системы разломов ЦАПП. Вместе с ЭХР этот разлом контролировал формирование Раковской, Павловской, Ивановской и других впадин Амура-Ханкайского рифтогена. С северо-востока СРМС была преобразована новейшей структурой *Сихотэ-Алинского орогена*, развивающейся здесь под определяющим влиянием активизированной зоны *Синегорского разлома*. Под воздействием этого разлома и сопряженной с ним северо-западной (Спасской) системы разломов была трансформирована Синегорская горст-антиклиналь, и в ее ядерной части на поверхность выведена Синегорская интрузия.

В *плиоцен-раннечетвертичное* время вся система разломов Синегорской РМС подверглась новейшей глобальной активизации на мантийном уровне. Значительная часть ее поверхности была закрыта платобазальтами (рис. 3), сохранившимися в виде реликтовых полей Шкотовского и Сергеевского плато, фрагментов базальтовых покровов, останцов базальтовых вулканов, а также многочисленных даек среднего-основного состава. Эти дайки, в отличие от близких к ним по составу даек более раннего возраста, заметно менее затронуты выветриванием. Отдельные покровы базальтов проникли также и в верхнюю часть осадочного чехла новейших впадин (Ивановская, Сандуганская и др.). Отношения их с вмещающими породами характеризуются «холодными» контактами. По своей петрохимической характеристике базальты СРМС соответствуют щелочным разностям нормального ряда. Содержание урана в них обычно не превышает 1 г/т, но местами (в частности, в районе ст. Свягино и с. Вассиановка) достигает 3,5 г/т.

В осадках впадин в это время развивались разрывные и пликвативные дислокации с вертикальной амплитудой до 10–15 м, послонные срывы и субгоризонтальные зоны смятия. В породах фундамента и коре их выветривания широкое развитие получили разрывные дислокации – «раскрытые» зоны трещиноватости, дробления и брекчирования. Плоскости открытых новейших трещин покрыты зеркалами и бороздами скольжения. Дислокации этого возраста нередко сопровождалась проявлениями аргиллизитового низкотемпературного метасоматоза с каолинитом, монтмориллонитом, нонтронитом, другими гидрослюдами, карбонатами (кальцит, сидерит) и сульфидами. В очагах этого метасоматоза получил развитие новейший уран-полиэлементный рудогенез.

Плейстоцен-голоценовая завершающая стадия трансформаций СРМС связана с последней фазой активизации структуры САО, прошедшей с отчетливо выраженной доминантой *амагматических*

процессов. Была активизирована вся система новейших разломов СРМС. В центре СРМС были дополнительно изменены тектоникой и эрозией Синегорская интрузия и сформированная ею горст-антиклиналь. Были взломаны и эродированы плиоцен-четвертичные платобазальты. Под воздействием САО впадины АХР в центре и на юге СРМС были нарушены сдвиго-надвиговой тектоникой, взброшены с амплитудой до первых сотен метров, выведены из седиментации и также эродированы. Индикатором трансформаций является эрозионный рельеф поверхности большинства впадин, а также взброс на 300 м миоценовой структуры Ретиховской впадины [2]. Близкий по амплитуде взброс осадков того же возраста установлен нами по данным поискового бурения и на южном борту Ивановской впадины. Амплитуды вертикальных перемещений положительного знака возрастали в СРМС к северо-востоку. За ее пределами (в приосевой части Сихотэ-Алиня) они достигали 1000 м и более [8]. Несколько южнее СРМС в зоне ЭХР на взброшенном новейшей тектоникой восточном борту долины р. Раздольная в осадках четвертичной террасы нами наблюдался левосторонний взбрососдвиг с горизонтальной амплитудой не менее 50 м. По контакту с песками в глинах здесь развиты крупночешуйчатые дислокации – результат проявленного при взбросо-сдвиге «бульдозингового» эффекта.

Высокий уровень активности современной геодинамики Синегорской РМС подчеркнут развитием в ней сейсмодислокаций, особенно в зоне ЭХР, вскрытой с поверхности многочисленными дорожными и угольными карьерами. На обрамлении новейших впадин сейсмодислокации наложены на породы их фундамента и кору выветривания этих пород, а внутри впадин – на плейстоцен-голоценовые осадки верхней части их осадочного чехла. Современная активность зоны ЭХР проявлена и на выходе в Япономорскую впадину, где с ней совмещен линейный рой эпицентров глубоководных землетрясений. Высокая современная активность «раскрытой» обводненной структуры ЭХР дополнительно обозначена приуроченностью к ней аномалий водно-газового состава. В подпочвенном воздухе и подземных водах в контуре Вадимовской, Раковской и Павловской впадин и на их обрамлении, по данным проведенного нами радиогидрохимического опробования [2], зона ЭХР насыщена аномалиями гелия, радона, предельных и непредельных углеводородов.

Новейшие рудообразующие и рудотрансформирующие процессы. В *плиоцене – раннем квартере* в структуре СРМС получил активное развитие **уран-полиэлементный рудогенез** с рудообразующими системами (РОС) *эндогенного, экзогенного и полигенного* классов [4–6]. Новейшие *эндогенные РОС* связаны с проявлением упомянутого выше *низкотемпературного гидротермального аргиллизитового метасоматоза*, развивавшегося в завершающую фазу плиоцен-четвертичной мантийной активизации, захватившей в том числе и всю структуру востока Азии. Эталон для их изучения послужило Раковское месторождение урана в одноименной впадине [5]. Гидротермальные растворы поступали в обводненный осадочный чехол кайнозойских впадин из «раскрытых», выполненных не менее обводненным, дезинтегрированным субстратом новейших разломных структур фундамента. Раз-

гружаясь в эту объемную водонасыщенную среду, гидротермы приобретали все более «разбавленный» характер. В контуре СРМС в осадках Павловской и Раковской впадин ими сформированы два крупных месторождения германия (Павловское и Раковское) и Раковское урановое месторождение. Помимо них, здесь известны 12 близких к ним по характеру рудопроявлений урана и несколько сотен урановых аномалий.

Большая часть уранового оруденения локализуется над «раскрытыми» структурами новейших разломов, в основном в базальном слое осадочного чехла. Урановая минерализация представлена коффинитом, оксидами урана и нингиоитом с тонковкрапленными и дисперсными выделениями, сорбционными формами и уран-органическими соединениями. В комплексе с ураном встречается достаточно широкий, варьирующий по составу набор элементов (F, Ge, Mo, Zn, Pb, Cu, W, Sc, F, Au, РЗЭ, ЭПГ и др.). Германий образует в контуре урановых залежей локальные концентрации, нередко ураганские (до 300 г/т). Как правило, они приурочены здесь к скоплениям углефицированной органики. Основная же часть германиевых руд оторвана от урана, смещена по латерали и выше по разрезу к более контрастному барьеру-осадителю, который обеспечивает там пласты бурого угля.

В ряде впадин (Раковская, Вадимовская, Поисковая и др.) сформированное «разбавленными» гидротермами новейшее урановое оруденение установлено также и в «раскрытых» рудоподводящих структурах гранитного фундамента на глубине до 100–300 м от подошвы осадочного чехла. Однако оно выявлено лишь единичными скважинами и по сути случайное. При методике поисков, ориентированной на руду в осадочном чехле, эти находки получены в ситуациях, когда аномальная радиоактивность непрерывно прослеживалась гамма-картажем из осадков в фундаменте. В рамках представленной здесь гидротермальной модели такие обстановки должны быть типовыми. Они открывают возможность существенного наращивания уранового потенциала СРМС и, по мнению автора, представляют несомненный поисковый интерес.

Необходимо заметить, что около половины запасов и ресурсов урана Раковского месторождения вполне пригодно для подземного выщелачивания. Этому способствуют обводненность и высокая проницаемость его основной рудовмещающей среды – базального слоя впадины и «раскрытых», активизированных в новейшее время структур ее фундамента.

В проработанных новейшей аргиллизацией структурах фундамента, сложенного силурийскими лейкогранитами с ксенолитами сланцев протерозоя, существенную роль начинают играть также и редкоземельные элементы. На северо-восточном борту Павловской впадины вблизи Павловского буроугольного месторождения установлены ураганские (до $n\%$) концентрации элементов иттриевой группы [9]. Многочисленные аномалии РЗЭ иттриевой и цериевой групп с содержанием до $0.n\%$ выявлены и нами в зонах новейших разломов с близким по составу аргиллизитовым метасоматозом на активизированных бортах Раковской, Павловской, Поисковой и Сандуганской впадин [2].

Экзогенные уран-полиэлементные РОС развивались в трещинно-инфильтрационных системах (ТИС), действующих в СРМС на обрамлении но-

вейших впадин – на положительных морфоструктурах, сложенных специализированными на уран (до 20 г/т и более) лейкогранитами с высокой (до 80–90%) долей подвижного урана. Эталонном для изучения этих РОС послужило рудопроявление Вассиановское, локализованное на выступе Куйбышевского массива силурийских лейкогранитов [4]. Данные РОС формируют плащевидные залежи на субгоризонтальном восстановительном барьере, функционирующем в ТИС в пульсационном режиме в нижней части нисходящего водного потока с насыщенными кислородом атмосферными водами на границе с восходящим потоком подземных вод. Оруденение представлено оксидами урана и вторичной слюдковой минерализацией. Продуктивность этих РОС обеспечивает динамичность процесса трещинной инфильтрации, обусловленная, с одной стороны, активностью новейшей тектоники, формирующей мощные «раскрытые» трещинные системы, а с другой – теплым приморским климатом, поддерживающим устойчивую водонасыщенность ТИС.

В осадках «раскрытых», вовлеченных в эрозию реликтовых палеодолин, врезанных в граниты на бортах новейших впадин, предполагается также развитие продуктивного на уран окислительного эпигенеза, формирующего оруденение *палеодолинного типа*. Многочисленные фрагменты этой реликтовой палеодолинной сети имеются в СРМС на обрамлении Вадимовской, Раковской, Павловской, Сандуганской и других впадин.

Полигенные уран-полиэлементные РОС действовали в СРМС на бортах и на обрамлении впадин в трещинно-инфильтрационных системах, вложенных в активизированные на новейшем этапе разломы с проявленным в них (также новейшим) очаговым низкотемпературным метасоматозом. Такое, казалось бы, сложное сочетание не столь уж редко для образованной гранитами западной части Синегорской РМС с наложенной на них зоной Эхилкан-Ханкайского разлома. Представитель данного типа оруденения, в частности, выявленное автором рудопроявление Березьянское-1 в зоне ЭХР на западном борту Вадимовской впадины (рис. 3) сложено специализированными на уран гранитами вознесенского комплекса. В «раскрытой» структуре ЭХР длительное время работает трещинно-инфильтрационная система. Снизу по разлому в ходе плиоцен-раннечетвертичной активизации в нее поступали низкотемпературные гидротермы, сформировавшие в подводящей структуре разлома и в перекрывающих ее осадках прибортовой части впадины очаг аргиллизации с изменениями сульфидно-карбонат-каолинитового (с гидрослюдами) состава. Взаимодействие гидротерм с нисходящим инфильтрационным потоком привело к формированию концентраций урана рудного (до 0,03%) уровня с объемным ореолом рассеяния ($Cu \geq 0,005\%$), прослеженным одним профилем скважин в фундаменте на глубину более 200 м от подошвы осадочного чехла. Такие полигенные РОС достаточно широко развивались также на Буреинском массиве (участки Мостовой, Крутой, Дитурский), в Забайкалье (месторождения Горное, Березовое) и на северо-востоке Азии (месторождения Северное, Бутагычар) [6].

Новейшие трансформации герциньских и каледонских РМС. Зоны рудогенеза этих локальных РМС

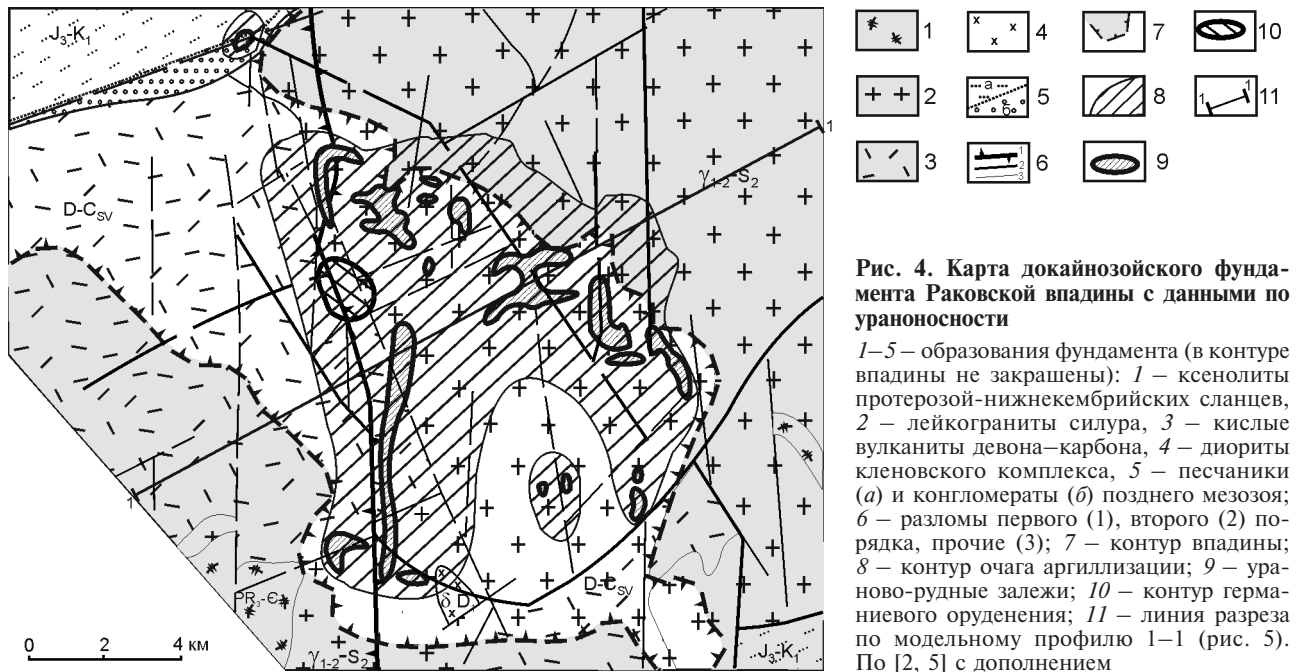


Рис. 4. Карта докайнозойского фундамента Раковской впадины с данными по ураноносности

1–5 – образования фундамента (в контуре впадины не закрашены): 1 – ксенолиты протерозой-нижнекембрийских сланцев, 2 – лейкограниты силура, 3 – кислые вулканы девона–карбона, 4 – диориты кленовского комплекса, 5 – песчаники (а) и конгломераты (б) позднего мезозоя; 6 – разломы первого (1), второго (2) порядка, прочие (3); 7 – контур впадины; 8 – контур очага аргиллизации; 9 – ураново-рудные залежи; 10 – контур герцинического оруденения; 11 – линия разреза по модельному профилю 1–1 (рис. 5). По [2, 5] с дополнением

вместе со всей структурой СРМС существенным образом преобразованы новейшей тектоникой и эрозией. Их эрозионный срез минимален в контуре впадин АХР, где они были законсервированы (перекрыты осадками и защищены от эрозии), тогда как в динамично развивающейся структуре Сихотэ-Алинского орогена эти зоны были эродированы в максимальной степени. Уровень их среза возрастает за пределами впадин к северо-востоку с повышением активности новейшей структуры САО от 0,5–1 км в Вознесенской и Раковской РМС до 1,5–2,5 км в Лунзенской и Вассиановской.

По имеющимся данным, в осадках кайнозойских впадин и в «раскрытых» под ними структурах фундамента над «слепыми» герцинскими и кале-

донскими рудными телами новейшим аргиллизитовым метасоматозом сформированы **вторичные (ремобилизационные) ореолы рассеяния**. Привлекает внимание ситуация на **Раковской ВТС** с одноименной герцинской потенциальной урановой рудномагматической системой [2] (рис. 4, 5). Восточная часть этой ВТС была в новейшее время сброшена по нарушениям Эхилкан-Ханкайской зоны разломов, перекрыта осадками Раковской впадины и подвержена аргиллизитовому метасоматозу. Представляется, что молодые руды Раковского месторождения, равно как и другие проявления урана этого типа, могли (частично или полностью) образоваться в результате перераспределения новейшими гидротермами «слепого» герцинского оруде-

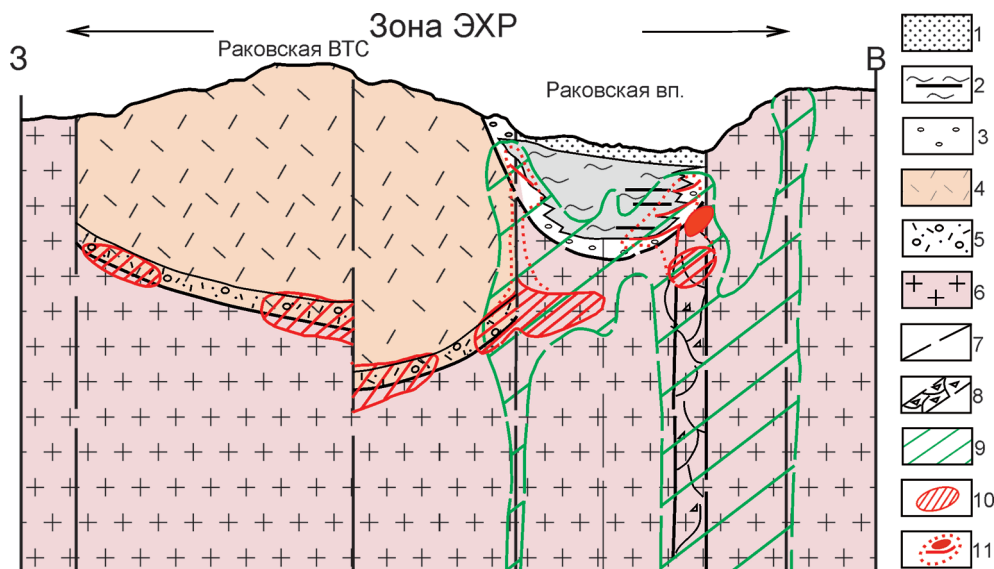


Рис. 5. Ремобилизационная модель Раковского месторождения урана

1–3 – осадки Раковской впадины: 1 – пески, 2 – глины с прослоями бурого угля, 3 – глинисто-песчано-гравийно-галечково-валунные образования базального слоя; 4 – девон-карбоновые риолиты Раковской ВТС; 5 – предвулканогенная моласса; 6 – лейкограниты силура; 7 – разломы Эхилкан-Ханкайской зоны; 8 – зона новейшего разлома с дроблением и дезинтеграцией; 9 – зоны новейшей аргиллизации; 10 – «слепое» герцинское оруденение в подошве и фундаменте ВТС; 11 – новейший ремобилизационный ореол рассеяния урана с рудными залежами в осадочном чехле и фундаменте Раковской впадины

нения, локализованного у контрастной границы раздела, в гранитном фундаменте ВТС и в породах предвулканогенной молассы. Ремобилизационная модель Раковского месторождения представлена на рис. 5.

Показательно, что одна из самых протяженных залежей Раковского месторождения, локализованная в верхней части базального слоя, совмещена в плане с границей ВТС – фундамент, активизированной в новейшее время по одному из меридиональных швов ЭХР. Залежь вытянута вдоль этого активизированного контакта более чем на 10 км и пересекает с юга на север едва ли не всю структуру Раковской впадины. Следует заметить, что *Раковская ВТС – единственная в Синегорском урановорудном районе вулканотектоническая структура с гранитным фундаментом, отличающимся к тому же повышенной (до 20 г/т) специализацией на уран.* К сожалению, по иронии своей поисковой судьбы эта ВТС оказалась и наименее изученной.

Обращает на себя внимание тот факт, что герцинские руды всех трех урановых месторождений Синегорского района, многих рудопроявлений и аномалий локализованы именно в фундаменте ВТС, но не в гранитном с его повышенной урановой специализацией, а в осадочно-метаморфическом, практически не специализированном на уран. Все эти рудные объекты расположены за пределами этих реликтовых ВТС, трансформированных новейшей структурой САО, т. е. в ситуациях с максимально высоким пострудным срезом. Проведенное же в пределах самих ВТС бурение обеспечило поисковую информацией лишь самую верхнюю, сложенную вулканитами, далеко не самую благоприятную для рудолокализации часть их разреза. Сама же граница раздела ВТС – фундамент с предвулканогенной молассой (один из наиболее перспективных рудолокализуемых элементов зоны герцинского уранового рудогенеза) – практически не была охвачена поисковыми работами. Свидетельством возможного присутствия на этой границе и ниже нее, в фундаменте ВТС, «слепого» уранового оруденения с концентрациями промышленного уровня является также наличие ремобилизационных концентраций урана в экзоконтакте не специализированных на уран пермских субинтрузий кленовского комплекса (рудопроявления Смольное, Блуждающее, Водопадное и др.) [2].

Формирование ремобилизационных ореолов *каледонских руд* имеет место в зоне ЭХР на северном фланге Вознесенского рудного района, на западном борту Вадимовской впадины. Здесь в очаге низкотемпературной аргиллизации, в осадках ее подгорно-верного шлейфа и в границах ее фундамента развиты повышенные (до 0,1 г/т) концентрации Cu, Pb, Zn [2]. Вполне вероятно, что они появились в результате перераспределения «слепого» полиметаллического (каледонского) оруденения, локализованного в зоне ЭХР под чехлом новейших осадков. Несмотря на спорные перспективы новейшего полигенного уранового оруденения, они тем не менее заслуживают внимания.

Основные выводы. Своим современным структурно-металлогеническим планом СРМС обязана в значительной мере событиям новейшего этапа.

Характер преобразования СРМС новейшей сдвиго-надвиговой тектоникой и эрозией определит положение ее в зоне взаимодействия новейших окраинно-континентальных структур АХР и САО.

Существенную роль в новейшей эволюции СРМС сыграла плиоцен-четвертичная активизация, проявившаяся на мантийном уровне, в сопровождении траппового магматизма.

Низкотемпературный метасоматоз, развивавшийся на завершающей стадии плиоцен-четвертичной активизации, сопровождался проявлением молодого уран-полиэлементного рудогенеза, сформировавшего в осадочном чехле новейших впадин и структурах их фундамента оруденение, пригодное для добычи методом подземного выщелачивания.

В очагах новейшего метасоматоза имеются признаки перераспределения сформированного ранее каледонского и герцинского оруденения.

Источником урана для Раковского месторождения могла служить ремобилизация «слепого» герцинского оруденения в гранитном фундаменте.

Поиски «слепого» уранового оруденения в фундаменте герцинских ВТС и новейших впадин представляются достаточно перспективными и могут существенным образом увеличить ресурсный потенциал Синегорского района.

1. *Быков В.Г., Бормотов В.А., Коковкин А.А.* и др. Сейсмогеодинамика, активные тектонические структуры и сейсмический процесс на востоке Азии // Изменение окружающей среды и климата, природные и связанные с ними техногенные катастрофы: в 8 т. Т. 1: Сейсмические процессы и катастрофы / под ред. Н.П. Лаверова. Отв. ред. А.О. Глико. – М.: ИФЗ РАН, 2008. – С. 44–65.

2. *Коковкин А.А.* История геологического развития и перспективы ураноносности Синегорской рудно-магматической системы в Южном Приморье. Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. – М.: ВИМС, 1991.

3. *Коковкин А.А.* Волновая модель структурирования континентальной коры в кайнозое для области сочленения Центрально-Азиатского и Тихоокеанского подвижных поясов // Вестник ДВО РАН. 2006. № 3. – С. 47–60.

4. *Коковкин А.А.* Кайнозойские экзогенные рудообразующие системы востока Азии // Отечественная геология. 2005. № 4. – С. 60–69.

5. *Коковкин А.А.* Эндогенные уран-полиэлементные рудообразующие системы в рифтогенных структурах юга Дальнего Востока России // Отечественная геология. 2006. № 2. – С. 5–12.

6. *Коковкин А.А.* Геодинамическая модель кайнозойского этапа развития континентальной коры юга Дальнего Востока России и уран-полиэлементное рудообразование. Автореф. дис. ... докт. геол.-мин. наук. – М.: РИС ВИМС, 2007. – 50 с. <http://vak.ed.gov.ru/announcements/geomin/573/>.

7. *Коковкин А.А.* Амуро-Ханкайская рифтогенная система в эволюционирующей структуре континентальной коры востока Азии // Тектоника и глубинное строение востока Азии. VI Косыгинские чтения: Доклады Всероссий. конф., 20–23 января 2009 г., г. Хабаровск / под ред. А.Н. Диленко, А.А. Степашко. – Хабаровск: ИТиГ ДВО РАН, 2009. – С. 59–62.

8. *Коковкин А.А.* Новейшая структура Сихотэ-Алинского орогена: эволюционная модель // Регион. геология и металлогения. 2012. № 52. – С. 39–48.

9. *Середин В.В., Кременецкий А.А., Грач Г.Н.* и др. Новые данные об иттриево-редкоземельных гидротермальных рудах с ураганскими концентрациями РЗЭ // Доклады РАН. 2009. Т. 425. № 3. – С. 378–383.