

А. А. КОКОВКИН (ИТиГ ДВО РАН)

Специфика окислительного эпигенеза в окраинно-континентальной структуре юга Дальнего Востока России и перспективы региона на гидрогенный уран

Рассмотрена специфика окислительного эпигенеза в окраинно-континентальной структуре (ОКС) юга Дальнего Востока России. Оценена продуктивность этого эпигенеза на гидрогенный уран. Мезозойско-кайнозойские впадины региона представлены как реликтовые структуры, составная часть голоценовой орогенной системы ОКС. Показано, что все впадины были взброшены в голоцене, деформированы взбросо-сдвиговой тектоникой и эродированы, со срезом до сотен метров. Представлена модель формирования уранового оруденения в зоне поверхностного окисления, развивающейся на поступательно снижающемся фронте площадной эрозии. Приведены доказательства того, что в ОКС высокая скорость эрозии и целый ряд других факторов препятствует развитию рудогенеза в этой зоне. Характерное же для орогенной системы ОКС сжатие обусловило формирование в подземных водах ее впадин эксфильтрационного режима. Это препятствует развитию в них масштабных зон пластового окисления. При этом мотивировано наличие в регионе локальных, продуктивных на уран зон пластового окисления в крупных реликтовых палеодолинах. Показаны также особенности развития продуктивных на уран трещинно-инфильтрационных систем.

Ключевые слова: окислительный эпигенез, гидрогенный уран, голоценовая активизация, орогенез, тектоника, эрозия.

А. А. KOKOVKIN (ITiG FEB RAS)

Specific features of oxidative epigenesis in the margin-continental structure of the southern far east, Russia, and prospects of the region for hydrogenic uranium

Specific features of oxidative epigenesis in the continental margin structure (CMS) in the south of the Russian Far East are described. The productivity of the epigenesis for hydrogenic uranium is estimated. Mesozoic-Cenozoic depressions of the region are represented as relict structures, an integral part of the Holocene orogenic system of the CMS. It is shown that all depressions were upthrown in the Holocene, deformed by upthrow-shift tectonics and eroded, with a cutoff of up to hundreds of meters. A model of uranium mineralization formation in the surface oxidation zone evolving at the incrementally decreasing front of areal erosion, is presented. The evidence is given that the high rate of erosion in the CMS and a number of other factors prevent the ore genesis in this zone. The compression, which is typical of the orogenic CMS system, caused the formation of an exfiltration regime in the groundwater of its depressions. This prevents the formation of large stratal oxidation zones in them. At the same time, the presence of local, uranium-productive stratal oxidation zones in relict paleovalleys is justified in the region. Features of the evolution of uranium-productive fractured infiltration systems are shown.

Keywords: oxidative epigenesis, hydrogenic uranium, Holocene activation, orogeny, tectonics, erosion.

Для цитирования: Коковкин А. А. Специфика окислительного эпигенеза в окраинно-континентальной структуре юга Дальнего Востока России и перспективы региона на гидрогенный уран // Региональная геология и металлогения. — 2022. — № 90. — С. 41–57. DOI: 10.52349/0869-7892_2022_90_41-57

Введение. Основная часть гидрогенных месторождений урана связана, как известно, с зонами пластового и поверхностного окисления, развивающимися в рыхлых обводненных осадках мезозойско-кайнозойских впадин и палеодолин [11]. Для них сформированы достоверные прогнозно-поисковые модели (ППМ), надежно зарекомендовавшие себя при поисках во впадинах Средней Азии, Казахстана, Забайкалья, восточного Приуралья и Монголии. Продуктив-

ны на гидрогенный уран также зоны трещинной кислородной инфильтрации, развивающиеся в специализированных на уран гранитных и черносланцевых массивах. Однако изучены они слабо, поскольку системных поисков на этот тип руд не проводилось.

Юг Дальнего Востока России (ЮДВР) насыщен мезозойско-кайнозойскими впадинами (рис. 1), многие из которых вложены в специализированный на уран фундамент. В связи с этим

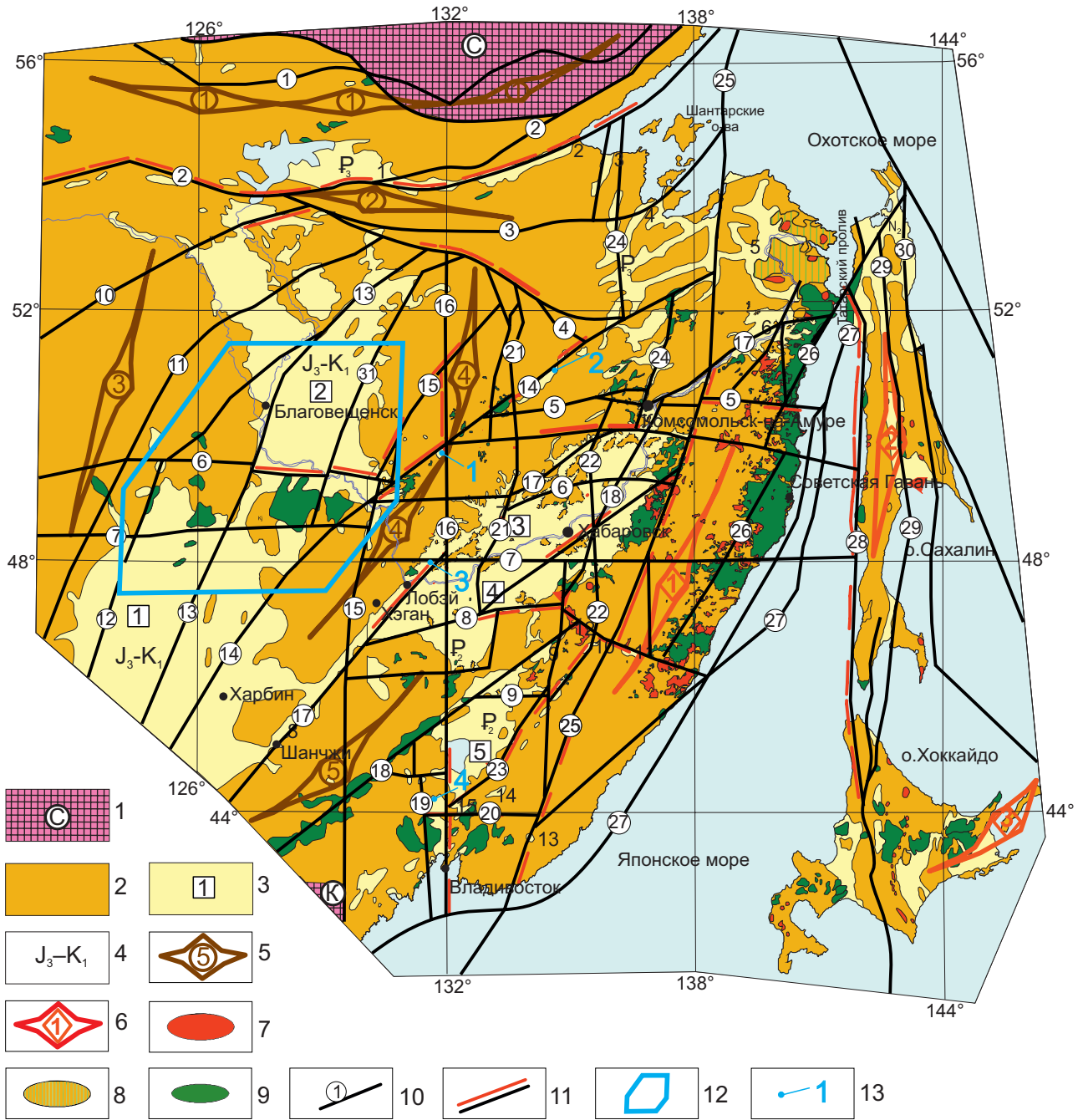


Рис. 1. Окраинно-континентальная структура востока Азии (по [10], с изм.)

1–2 – домезозойские образования: 1 – структуры Сибирского (С) и Китайского (К) кратонов, 2 – байкальско-герцинская структура Центрально-Азиатского пояса с массивами – реликтами протоплатформы; 3 – мезозойско-кайнозойские рифтогенные впадины: 1 – Сунляо, 2 – Амуро-Зейская, 3 – Средне-Амурская, 4 – Саньцзян, 5 – группа Приханкайских впадин; 4 – возраст заложения впадин; 5 – оси новейших орогенов с амагматичным режимом: 1 – Алдано-Становой, 2 – Северо-Буреинский, 3 – Большого Хингана, 4 – Восточно-Буреинский, 5 – Ляолинский; 6 – оси новейших орогенов с магматогенным режимом: 1 – Сихотэ-Алинский, 2 – Хоккайдо-Сахалинский, 3 – Курило-Камчатский; 7 – массивы олигоценовых гранитов; 8 – вулканы базальт-андезит-риолитовой формации неогена; 9 – поля плейстоценовых платобазальтов; 10 – активизированные в новейшее время глубинные разломы: 1 – Становой, 2 – Монголо-Охотский, 3 – Южно-Турурингский, 4 – Пауканский, 5 – Гур-Комсомольский, 6 – Намурхэ-Бирский, 7 – Намурхэ-Амурский, 8 – Наолихэ-Бикинский, 9 – Северо-Ханкайский, 10 – Дербур, 11 – Большого Хингана, 12 – Цицитар-Селемджинский, 13 – Шанси-Селемджинский, 14 – Инкоу-Хинганский, 15 – Муданьцзян-Мельгинский, 16 – Эхилкан-Ханкайский, 17 – Танлу-Курский (Иланьская ветвь Танлу), 18 – Мишань-Алчанский (Мишаньская ветвь Танлу), 19 – Западно-Ханкайский, 20 – Южно-Приморский, 21 – Тастахский, 22 – Петропавловский, 23 – Синегорский, 24 – Комсомольско-Тугурский, 25 – Центральный Сихотэ-Алинский, 26 – Восточный Сихотэ-Алинский, 27 – Татарского пролива, 28 – Западно-Сахалинский, 29 – Центрально-Сахалинский, 30 – Восточно-Сахалинский, 31 – Западно-Туранский; 11 – разломы с признаками современной активности; 12 – контур южной части Амуро-Зейской впадины (рис. 4, А); 13 – положение представительных структур: 1 – Эхилканская впадина (рис. 5, А–Б), 2 – Верхне-Амгуньская впадина (рис. 5, В), 3 – Лобэйский грабен (рис. 6), 4 – Прилукинская палеодолина

регион издавна представлялся привлекательным для поисков гидрогенных урановых месторождений, связанных с зонами пластового окисления. Попытки найти такие месторождения предпринимались неоднократно, но ожидаемых результатов до сих пор не принесли.

Впервые это пытались сделать в 1950–1960-е гг. Октябрьская экспедиция 1-го Главка в Приморье, с ориентировкой именно на месторождения зон пластового окисления (ЗПО), незадолго до того открытые в Средней Азии. Тогда были опробованы впадины Ханкайского массива, но сами ЗПО, как таковые, не обнаружены. Тем не менее, было выявлено 12 рудопроявлений и более сотни аномалий урана, проведена предварительная разведка Раковского месторождения, отнесенного к разряду непромышленных. Генезис его оруденения и других проявлений представлялся тогда довольно неопределенным. Небольшой объем поискового бурения был выполнен и на юго-востоке Амура-Зейской впадины. Там, на границе осадочного чехла с фундаментом, была выявлена малоинтенсивная Долдыканская аномалия. Но следов ЗПО эти работы не обнаружили.

В 1974–1985 гг. автор этой статьи, накопивший к тому времени определенный опыт работ на гидрогенный уран в Кызыл-Кумах и Чу-Сарысуиской впадине, в составе Таежного ПГО проводил поиски в Средне-Амурской, в Амура-Зейской впадинах и в группе Приханкайских впадин. Но выраженных следов пластово-окислительного процесса также не обнаружено. Поверхностное окисление проявлено там повсеместно, но оно не сопровождалось перераспределением и накоплением урана. Однако в процессе поисковых работ были получены доказательства гидротермальной природы практически всех выявленных в этих впадинах проявлений урана.

После открытия в Забайкалье месторождений «витимского» (палеодолинного) типа обозначилась возможность выявления подобных месторождений и на территории ЮДВР. В 1995–1998 гг. Таежным ПГО, получившим к тому времени статус экспедиции, совместно с ВИМСом был выполнен региональный проект, ориентированный на оценку перспектив ЮДВР на данный тип месторождений (отв. исполнители А. А. Коковкин, С. М. Бакулин). Но рамки этого проекта были существенно расширены, он приобрел комплексный, междисциплинарный характер. В ходе работ по проекту были обобщены сведения по ураноносности региона, по его радиогеохимии и радиогидрогеологии, по корам выветривания, по структуре и литологии мезозойско-кайнозойских впадин, по проявленному в этих впадинах уран-полиэлементному рудогенезу, по россыпной (современной и палео-) золотоносности. Было выделено 19 рудоперспективных площадей (РПП), рекомендованных на проведение прогнозно-поисковых работ масштаба 1:200 000 с ориентировкой не только на палеодолинный, но и на другие типы кайнозойского уранового оруденения.

В 1995–2001 гг. на четырех РПП (Тамбовская на юге Амура-Зейской впадины; Бысса-Нимаканская в ее северо-восточной части; Дугдинская, Эхилканская и Адникан-Амгуньская на впадинах Буреинского массива) Таежная экспедиция провела подготовку маршрутами и комплексом профильной геофизики для дальнейшей постановки на них поисков бурением (отв. исп. А. А. Коковкин). Однако данный проект не был завершен – в 2001 г. экспедиция ликвидирована.

Автор статьи с 2001 г. продолжил изучение окраинно-континентальной структуры (ОКС) ЮДВР в составе ИТиГ ДВО РАН. За это время была сформирована эволюционная модель ОКС и модели отдельных структур-полигонов с реконструкциями от современного состояния до протерозоя. Был исследован характер новейшей тектоники, сейсмотектоники, рельефа и эрозионных процессов. Проведено изучение кайнозойской уран-полиэлементной металлогении, разработаны модели ее рудообразующих систем [3; 4]. Одновременно анализировались причины малой эффективности проведенных в регионе поисковых работ на уран. Все эти исследования выполнены в рамках разрабатываемой автором модели *волновой нелинейной геодинамики* [6].

Основная причина поисковых неудач при работах на гидрогенный уран заключается, по мнению автора, в том, что использованные прогнозно-поисковые модели ориентировались на промышленные аналоги месторождений *внутренней* части континента. Они не учитывали специфики окраинно-континентальной структуры ЮДВР – характера ее тектоники и эрозии, особенностей ее климата, гидрохимии и гидродинамики ее подземных вод и целого ряда других факторов.

В последние годы в процессе моделирования ОКС обозначилась необычно высокая активность развития этой структуры на завершающей, голоценовой фазе [7; 10]. В ней на рубеже плейстоцен-голоцен резко активизировалась взбросо-сдвиговая тектоника, доминировавший ранее рифтогенный режим сменился на орогенный. Эта активизация во многом определила современное состояние ОКС, а также условия развития в ней окислительного эпигенеза и связанного с ним гидрогенного уранового рудообразования. Действующие в регионе прогнозно-поисковые модели эту специфику не учитывали.

Цель данной статьи – исследовать характер окислительного эпигенеза в специфических условиях окраинно-континентальной структуры ЮДВР и оценить продуктивность этого региона на гидрогенный уран.

Финансовая поддержка. Исследование проведено в соответствии с тематикой государственного задания Института тектоники и геофизики им. Ю. А. Косыгина ДВО РАН, при частичном финансировании программой «Приоритетные научные исследования в интересах комплексного развития Дальневосточного отделения РАН» (проект 18-5-024).

Автор благодарит сотрудницу лаборатории сейсмологии и сейсмотектоники ИТиГ ДВО РАН Н. В. Сатонину за помощь в подготовке статьи.

Модель формирования ОКС. Рассматриваемая структура испытала достаточно сложную эволюцию, сбалансированную со структурирующими земную кору процессами глобального уровня. В мезозое—кайнозое развитие земной коры, в соответствии с базисной (волновой) моделью, определялось двумя глобальными ритмами растяжения (триас — ранний мел, эоцен—плейстоцен) и двумя ритмами сжатия (поздний мел — палеоцен и голоцен). Ритмы расширения сопровождались на континентах активизацией рифтогенеза, при сжатии же на них доминировал орогенез.

Развитие ОКС проходило под влиянием трехстороннего пульсационного пресса двух кратонов (Сибирского, Китайского) и Тихоокеанского суперплюма. Действие этого пресса инициировано глобальными пульсациями. Ход внутреннего структурирования ОКС определили взаимодействующие системы разломов Альпийско-Гималайского (АГПП) и Тихоокеанского (ТОПП) подвижных поясов. Разломы развиваются до настоящего времени в волновом знакопеременно-сдвиговом (ЗПС) режиме. Структуры обоих поясов заложены здесь на эродированной поверхности байкальско-герцинского Центрально-Азиатского пояса — восточного фрагмента Урало-Монгольского пояса. Формирование этих поясов сопровождалось деформацией Сибирского и Китайского кратонов.

В ходе своего развития ОКС направленно омолаживалась к востоку, к границе континента с Тихоокеанским суперплюмом. Эта граница отличалась аномально активной геодинамикой в течение всего мезозоя—кайнозоя. Здесь и сейчас действует современный фронт структурирования континентальной коры. Основными индикаторами омоложения ОКС служит время заложения ее главных рифтогенов — в позднем мезозое в западной ее части был заложен Сунляо-Амуро-Зейский рифтоген, а в эоцене — расположенный восточнее Амуро-Ханкайский.

Рассматриваемая структура развивается с мезозоя в условиях *гумидного* климата. За это время в ней была сформирована система впадин, выполненных преимущественно сероцветными осадками угленосной аллювиальной формации, с невысокими (1,5–2,5 г/т) концентрациями урана [3]. Самое раннее проявление аридизации отмечено во впадинах ОКС в позднем мелу. Она обозначена пестроцветными окрасками глинистых прослоев в осадках завитинской свиты на юге Амуро-Зейской впадины. Более крупный ареал верхнемеловых пестроцветов находится западнее, в гобийских впадинах [2].

В эоцене—плейстоцене, в основную часть новейшего этапа, в рамках действовавшего в это время ритма глобального расширения, структура региона развивалась с доминантой раздвига. Оба ее рифтогена наращивали в это время оса-

дочный чехол с преимущественно сероцветными отложениями. На их бортах формировались системы палеодолин, а на обрамлении продолжали формироваться развивавшиеся с палеоцена коры выветривания. На поднятиях же в это время в активизированных разломах закладывались новейшие инверсионные впадины — Тункинская, Муйская, Верхне-Зейская в Байкало-Удской рифтовой зоне, контролируемой разломами Монголо-Охотской системы, Верхне-Амгуньская и Эхилканская на Буреинском массиве (в зоне Инкоу-Хинганского разлома), Сутарская в зоне Намурхэ-Амурского разлома и др.

В плиоцене — среднем плейстоцене ОКС была активизирована на мантийном уровне. Значительная ее часть была перекрыта плато-базальтами. С завершающей фазой этой активизации связано проявление средне-низкотемпературного аргиллизитового метасоматоза и полиэлементного (U, Ge, TR, ЭПГ, Au и др.) рудогенеза. Модель этого рудогенеза разработана автором на примере сравнительно хорошо изученного Раковского месторождения урана [10].

Оруденение «раковского» типа локализовано как в обводненном осадочном чехле, так и в раскрытых, не менее обводненных структурах фундамента — в том числе и за пределами современных контуров впадин, на их эродированных бортах. Урановая минерализация (коффинит, оксиды урана, нингеоит) представлена дисперсными выделениями. В осадках (в пластах бурого угля и в углефицированных растительных остатках) получили также развитие уран-органические соединения и сорбционные формы.

Урановое оруденение этого типа сформировано в обводненной среде «разбавленными» гидротермами. Это, по существу, такое же гидrogenное образование, как и руды, сформированные окислительным эпигенезом. Оно вполне пригодно для добычи кучным и подземным выщелачиванием. В структуре ЮДВР и к западу от нее, в глубине континента, этот рудогенез проявлен достаточно широко — от Сахалина и Курил до Монголии и Забайкалья. В региональном плане он, однако, практически не изучен.

В контексте рассматриваемой проблемы важно то, что сформированные в ОКС плейстоценовые эндогенные концентрации — потенциальный источник урана и для рудообразующих систем, связанных с окислительным эпигенезом.

На рубеже плейстоцен-голоцен, с переходом Земли от ритма новейшего расширения к ритму сжатия, региональная структура ЮДВР была резко активизирована. Упомянутый выше трехсторонний пресс двух кратонов и суперплюма был дополнен в это время движением к северу Индийской и Филиппинской плит. В условиях глобального и регионального сжатия эта активизация вызвала в ОКС вспышку *орогенеза*.

Все горные поднятия региона были активизированы и неравномерно взброшены. У них молодой, неравновесный рельеф. Сформированные на них ранее кайнозойские коры выветривания

были сняты синхронно развивающейся эрозией, сохранились лишь их реликты. Были взломаны и эродированы также и перекрывавшие ОКС плиоцен-плейстоценовые плато-базальты. От них остались только отдельные крупные плато (Совгаванское, Налевское, Борисовское, Сулукское, Токское и др.) и многочисленные реликты более мелких покровов и построек центрального типа.

Соответственно, были взброшены, выведены из седиментации и вовлечены в эрозию и все мезозойско-кайнозойские впадины, в том числе, и локализованные в структурах поднятий новейшие инверсионные впадины. У всех впадин ОКС — рельеф, выработанный голоценовой эрозией. Современные седиментационные ландшафты получили в них лишь локальное развитие — уже после их взброса и эрозии.

Вычленив эту супермолодую активизацию, показать ее масштабность и выраженность в структуре ОКС, маскированной современными горно-таежными ландшафтами, было само по себе непросто. Выделению этого феномена помогло изучение хорошо обнаженных структур Казахстана, Монголии, Поволжья и Намибии.

Традиционная геологическая школа выработала устойчивый стереотип «не замечать» активности голоценовой истории — геологического мгновения на долгом пути развития Земли. Это ограничивает мысль исследователя при выделении даже очевидных признаков масштабности голоценовых процессов. Но именно эта геологически мгновенная активизация во многом и определила современное состояние земной коры, а вместе с тем влияние активизированной структуры ЮДВР на окислительный эпигенез и продуктивность этого эпигенеза на гидрогенный уран. Проблема голоценовой активизации носит фундаментальный, междисциплинарный характер и затрагивается лишь в части ее, касающейся данного исследования.

ОКС региона в своем современном состоянии — это *сложнопостроенный голоценовый ороген*. А все ее мезозойско-кайнозойские впадины — собственно, не впадины, а взброшенные, выведенные из седиментации, деформированные тектоникой и эрозией реликтовые структуры, фрагменты данного орогена. Их рыхлые, механически неустойчивые осадки эродировались в ОКС избирательно и намного более интенсивно — по сравнению с обрамляющими их поднятиями фундамента, сложными устойчивыми к эрозии породами. В голоцене была снята эрозией, в первую очередь, самая верхняя, плейстоценовая часть осадочного разреза впадин. В результате эрозии все впадины ЮДВР существенно сократили свои контуры. Такое современное состояние мезозойско-кайнозойских впадин является надежным индикатором голоценового возраста наложенной на ОКС активизации.

Взброшенные и эродированные в ходе голоценового орогенеза впадины и палеодолины ОКС оказались раскрытыми для окислительного эпигенеза, который развивается в них на фронте

эрозии с формированием *зоны поверхностного окисления*. В сероцветном угленосном осадочном чехле, с его высокой восстановительной емкостью, эта зона, в принципе, способна мобилизовать значительную массу урана и сформировать гидрогенные месторождения. Модель такого продуктивного, развивающегося на эрозионном фронте окислительного процесса была разработана автором на примере впадин Монгольской Гоби ранее [2] (рис. 2) по результатам проведенных там прогнозно-поисковых работ.

Орогенная структура Гоби, значительная часть которой перекрыта меловыми осадками, отличается преимущественно равнинным рельефом. В ее наименее взброшенных в голоцене и менее эродированных частях на поверхности впадин обнажены осадки *верхнего мела*. А там, где амплитуда взброса значительно выше и эрозионный срез масштабнее, обнажена *нижнемеловая* часть разреза. Эрозия гобийских впадин проходит в голоцене довольно активно, чему способствует аридный климат и дефляция. Широкая система песчаных пустынь (Кара-Кумы, Кызал-Кумы, Гоби, Алашань и др.) сформирована в голоцене по всей аридной зоне центральной и восточной Азии. Их барханные массивы залегают на уже взброшенной и эродированной поверхности впадин.

Однако в структуре ЮДВР, где климат в значительной мере определяется влажным атмосферным фронтом Тихого океана [3], эта аридизация лишь слегка затронула юг Амуро-Зейской впадины и юго-запад Приханкайских впадин АХР. Для них характерен современный *семигумидный* климат и лесостепные ландшафты.

В гобийских впадинах на фронте эрозии формировалась площадная зона поверхностного окисления, генерирующая урановое гидрогенное оруденение «харатского» типа. А в их прибортовых частях местами получили развитие локальные зоны пластового окисления с «хайрханским» типом руд. Продуктивности окислительного эпигенеза на уран способствовало наличие в разрезе этих впадин мощных прослоев гумусовых глин нижнемеловой дзунбаинской свиты, первично обогащенных ураном, а также практически полное отсутствие современных седиментационных ландшафтов. Главным же определяющим условием для продуктивности послужила высокая ($n \times 10^{-6} - 10^{-4}$ г/л) концентрация урана в подземных водах. При этом содержание урана в водах ОКС существенно ниже — оно редко превышает $n \times 10^{-7}$ г/л [3; 4].

Фронт эрозии снижался в гобийских впадинах в условиях дефляции неравномерно, в зависимости от состава осадков и амплитуды их голоценового взброса, но достаточно быстро. Нередко он опережал развитие зоны поверхностного окисления. В результате отдельные рудные залежи многих месторождений (Харат, Дулан-Караул, Хайрхан, Гурван-Сайхан и др.) были препаированы эрозией и выведены на современную поверхность [12]. Они хорошо выделяются

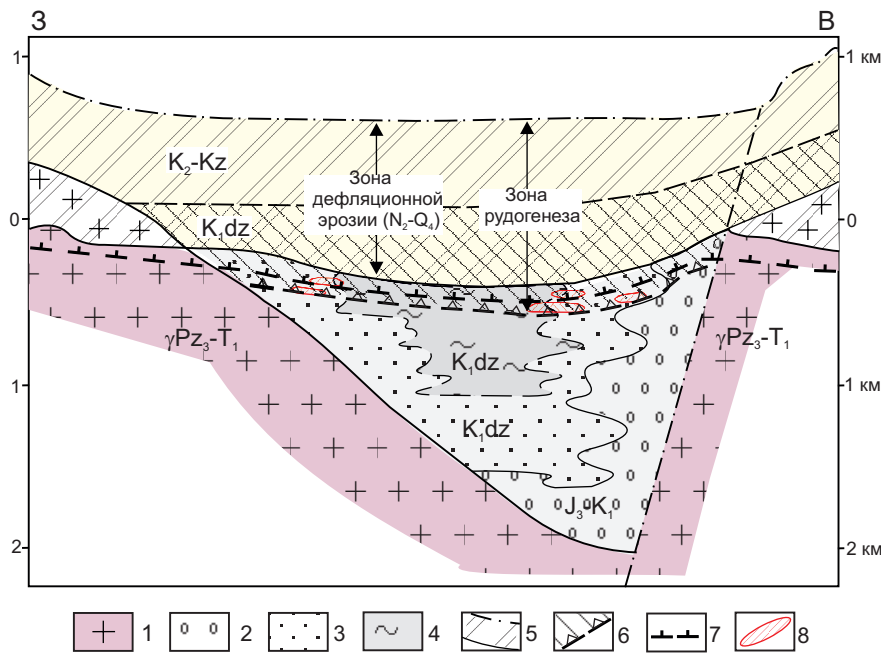


Рис. 2. Модель уранового рудогенеза в зоне поверхностного окисления на фронте площадной эрозии меловых впадин Восточной Гоби (по [2], с доп.)

1 – граниты фундамента; 2–4 – осадки в современном контуре впадины: 2 – пестроцветные паттумы, 3 – песчано-гравийные отложения; 4 – глины; 5 – зона эрозии; 6 – нижняя граница зоны поверхностного окисления; 7 – зона рудогенеза; 8 – рудные тела

АГСМ-съемкой. 23 таких аэро-аномалии были изучены автором в 1989 г.

Окраинно-континентальная структура ЮДВР развивалась в голоцене в гумидных условиях и намного более динамично, чем структура монгольской Гоби, и голоценовый орогенез выражен здесь намного ярче. Поднятия – показатели его активности – с их контрастным, неравновесным рельефом, отчетливо доминируют в ОКС над впадинами. При этом впадины, многие из которых по размерам меньше гобийских, были деформированы в голоцене более интенсивно и более эродированы. Эрозии способствует здесь активно врезающаяся в рыхлые осадки впадин речная сеть, размывающая их с выносом материала в крупные транзитные реки (Амур, Зей, Буряя, Амгунь, Уда и др.), далее в океан и/или в локальные (современные) озерные бассейны. Действие этой сети усиливается в ОКС глобальным ротационным эффектом.

В этих условиях зона поверхностного окисления часто не успевает за быстро снижающимся фронтом эрозии. А при невысоком первичном содержании урана в осадках она не успевает его мобилизовать в количестве, необходимом для формирования значимых рудных концентраций. Не способствует формированию оруденения в ОКС и невысокая концентрация урана в подземных водах впадин.

К тому же в гумидном климате ЮДВР окисление идет в целом значительно медленнее, чем в аридных условиях глубинной части континента. Поступление кислорода в глубину осадочного чехла впадин блокируется органикой хорошо развитого здесь почвенного слоя и локальными современными седиментационными ландшафтами с их восстановительной глеевой средой. Эта среда характерна для всех современных накопительных ландшафтов ЮДВР. Характерна

она и для грунтовых вод, которые обогащены растворимым железом. При вскрытии осадков впадин карьерами это железо быстро окисляется и сбрасывается в форме лимонита и ярозита. То же происходит и при извлечении керна из скважин, вскрывающих верхние части осадочного чехла. Он лимонитизируется в течение нескольких часов. Эта суперсовременная лимонитизация – надежный индикатор глеевой среды.

В результате зоны поверхностного окисления получили в эродируемых впадинах ОКС, в отличие от гобийских, лишь эмбриональное развитие. И, как показали результаты геохимического опробования керна скважин, обнажений на бортах карьеров и дорожных врезов, эти зоны лишены следов перераспределения и накопления урана.

Есть еще одно существенное обстоятельство, негативно влияющее на продуктивность окислительного эпигенеза в регионе ЮДВР. Все перечисленные выше факторы работают в условиях активизации голоценового орогенеза, на фоне регионального сжатия его структуры. Это сжатие препятствует развитию инфильтрации в обводненной, несжимаемой среде ее замкнутых, бессточных впадин. В них доминирует *эксфильтрационный* режим. Из-за этого ЗПО не получили здесь такого повсеместного развития, как во впадинах Средней Азии и Казахстана.

Гидродинамическая система среднеазиатских и казахстанских впадин также работает в условиях орогенного сжатия. Но их взброшенные реликтовые бассейны не замкнуты, они имеют собственные очаги разгрузки – такие, как Арал для впадин Центральных Кызыл-Кумов и Сыр-Дарьинской системы, Ащиколь для Чу-Сарысуейской впадины. К тому же активизированные в голоцене системы поднятий Памира и Тянь-Шаня (гидрогеологические массивы, источники инфильтрационных

потоков этих впадин) имеют километровые абсолютные отметки поверхности. Это определило устойчивость инфильтрационного режима прилегающих к ним впадин с формированием аномально высокого пластового давления в глубине их осадочного чехла. В структуре же ОКС такие условия отсутствуют.

Несмотря на перечисленный комплекс негативных факторов, сохраняется возможность развития в ОКС продуктивных на уран локальных зон пластового окисления в реликтовых (крупных) палеодолинах (подробнее об этом ниже).

Выраженность окислительного эпигенеза в окраинно-континентальной структуре ЮДВР, его продуктивность на уран, взаимосвязи с голоценовыми активизационными процессами можно иллюстрировать примерами наиболее изученных впадин этой структуры.

Амуро-Зейская впадина (рис. 3). Мезозойско-кайнозойская структура этой впадины была взброшена в голоцене, деформирована сдвигом-надвиговой тектоникой, выведена из седиментации и вовлечена в масштабную эрозию. От расположенной южнее впадины Сунляо она была отделена

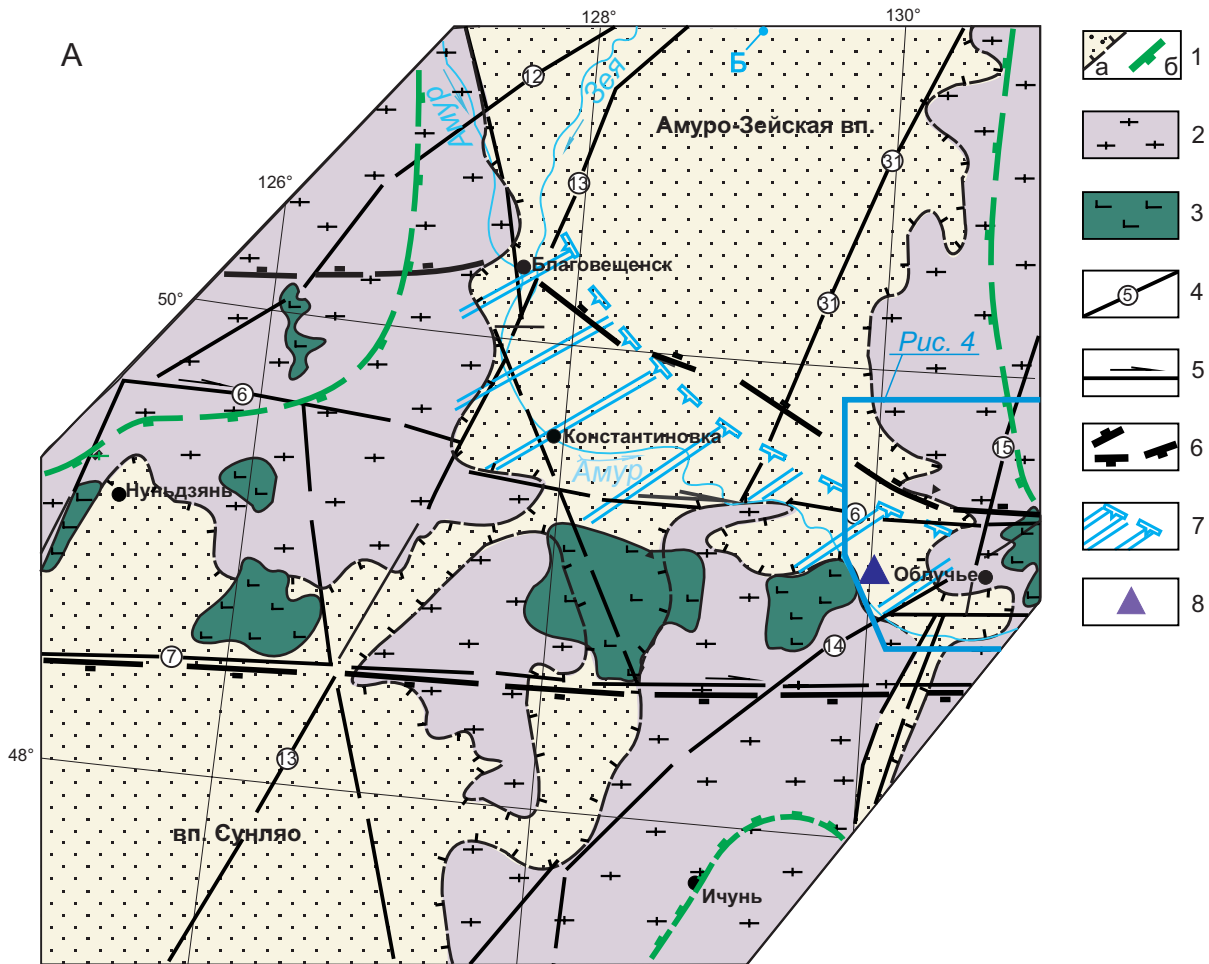


Рис. 3. Амуро-Зейская впадина (по [4], с изм.). Фото автора, 1999 г.

А – схема южной части Амуро-Зейской впадины. 1 – контуры впадин: а – современный, б – реконструированный; 2 – породы фундамента; 3 – плиоцен-плейстоценовые плато-базальты; 4 – активизированные в голоцене разломы (нумерация соответствует рис. 1); 5 – направление сдвиговых смещений; 6 – контур Константиновско-Скобелыцинского свода; 7 – ареал плейстоценовой аргиллизации. 8 – Богучанское инверсионное поднятие. Б – эродированная поверхность взброшенного в голоцене пласта олигоцен-миоценового(?) бурого угля в южной прирусловой части р. Селемджа.



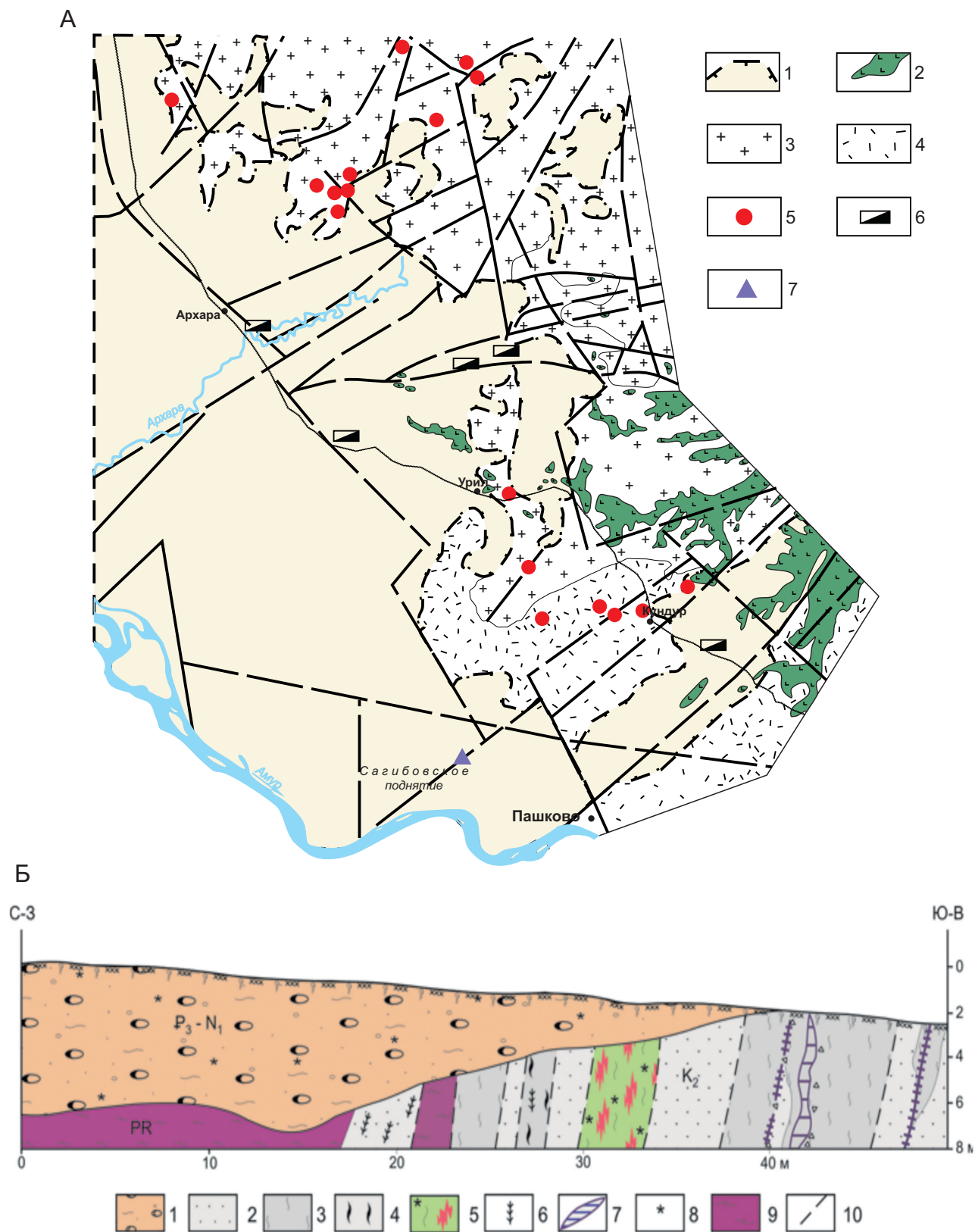


Рис. 4. Реликтовая структура юго-восточного борта Амура-Зейской впадины. Документация автора, 1996 г.
А – фрагмент прогнозной на уран карты Тамбовской площади, масштаба 1 : 200 000. 1 – современные контуры впадины и палеодолин; 2 – реликты плиоцен-плейстоценовых плато-базальтов; 3–4 – фундамент впадины: 3 – граниты палеозоя, 4 – меловые вулканиты; 5 – проявления урана; 6 – месторождения бурого угля; 7 – Богучанское антимонит-флюоритовое проявление.
Б – реликтовый блок осадков впадины в районе ст. Кундур. 1 – красноцветные валунные паттумы плиоцена(?); 2–5 – осадки верхнего мела: 2 – пески серые, полевошпат-кварцевые, разнозернистые; 3 – глины серые; 4 – глины углистые; 5 – глины пестроцветные; 6 – включения углефицированной растительной органики; 7 – жилы сидерита; 8 – пятна лимонита; 9 – биотитовые сланцы; 10 – разрывные нарушения.

(по-видимому, еще в олигоцене) Константиновско-Скобельцинским сводом, контролируемым разломами широтной Намурхэ-Амурской системы (НАС) [8].

В плиоцен-плейстоценовое время этот свод был активизирован и перекрыт плато-базальтами. А в голоцене он был снова активизирован, с выведением на поверхность локальных инверсионных поднятий (Константиновское, Скобельцинское, Шапка, Богучанское) и эродирован. Базальты также были эродированы, от них сохранились лишь фрагменты. Последняя активизация свода подтверждается и тем, что современные подземные воды его северного борта насыщены газовыми аномалиями (He, F, Rn, CO₂, CH, NO) [4]. Эти разломы и сейчас ведут себя как раскрытые, эманулирующие структуры.

Южная часть впадины (рис. 3), наиболее изученная поисковыми работами, развивалась в конце новейшего этапа в условиях относительно благоприятного для окислительного эпигенеза *семигумидного* климата. На северном борту Константиновско-Скобельцинского свода эрозией вскрыты верхнемеловые осадки (завитинская свита). Здесь эрозионный срез впадины максимален. Севернее, на левобережье Зеи (в междуречье Зея — Буряя) впадина эродирована в меньшей степени, но также достаточно интенсивно. Поверхностная часть ее разреза омолаживается до миоцена и плиоцена. Осадки, начиная с плейстоцена, сняты здесь абразионной системой Зеи, смещающейся под влиянием глобальной ротации к западу. Полого-всхолмленный рельеф этой части впадины отражает блоковое строение ее неоднородно взброшенного в голоцене фундамента.

На севере, в центре впадины, (район пос. Майского), на пологом южном борту реки Селемджи наблюдался выход на поверхность пласта олигоцен-миоценового(?) бурого угля видимой мощностью более 5 м (рис. 3, Б), с невысокой радиоактивностью (9 мкР/час) и без следов окисления. Эта часть впадины была взброшена в голоцене более интенсивно, по широтной сдвиговой системе Селемджинского разлома, контролирующего современную долину этой реки. Здесь, судя по всему, голоценовой эрозией снята вся плиоцен-плейстоценовая часть осадочного разреза.

Поверхность же зейского правобережья, поднятая по отношению к левобережью на 100 м, менее эродирована. Здесь осадочный чехол впадины сложен отложениями плиоцена с локализованными в них редкими покровами базальтов, вскрытыми скважинами в ходе поисковых работ (1976 г.). Плейстоценовые осадки здесь также эродированы.

На фронте эрозии в осадках центральной и западной части впадины получила развитие площадная зона поверхностного окисления. Однако следов перераспределения и накопления урана внутри нее и на ее нижней границе не было обнаружено. Пластовое же окисление вовсе не получило здесь развития.

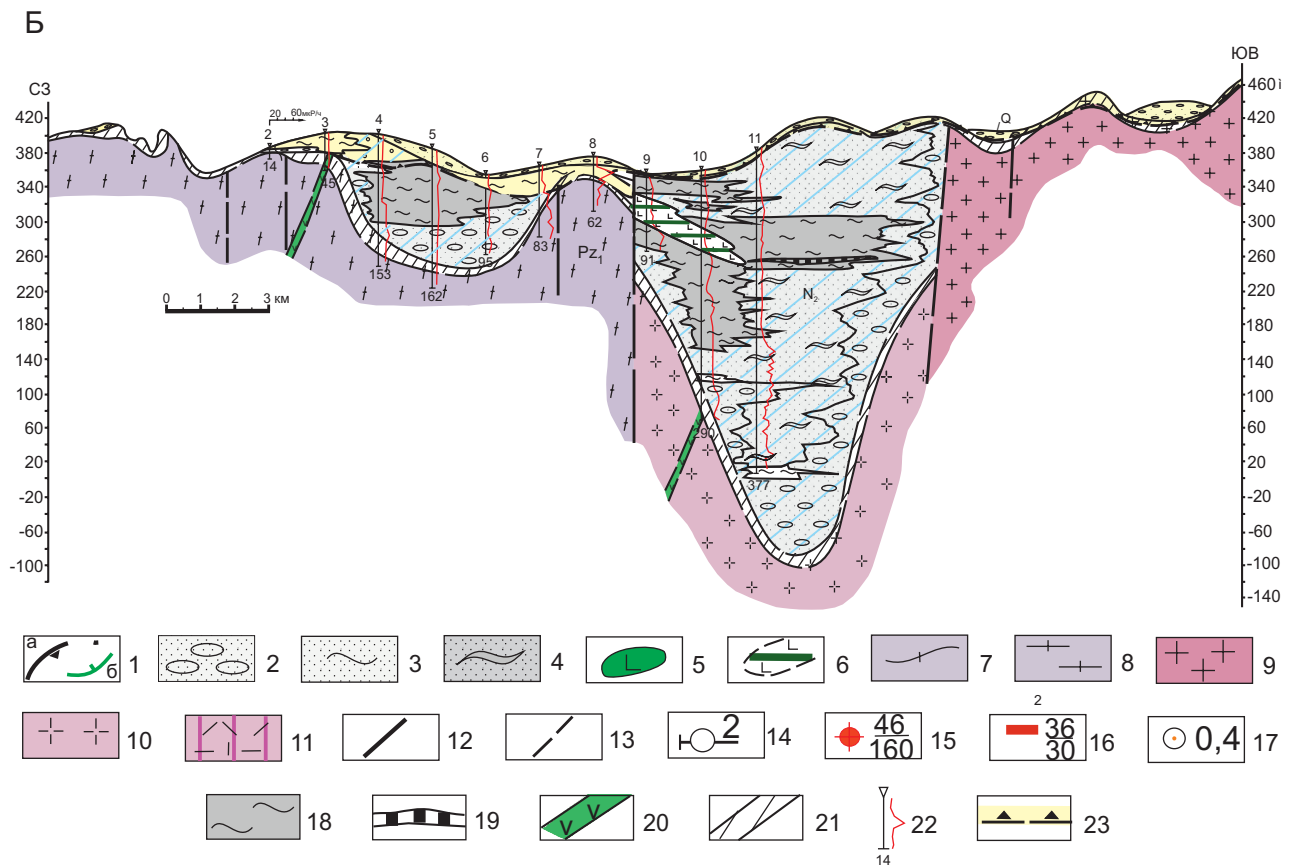
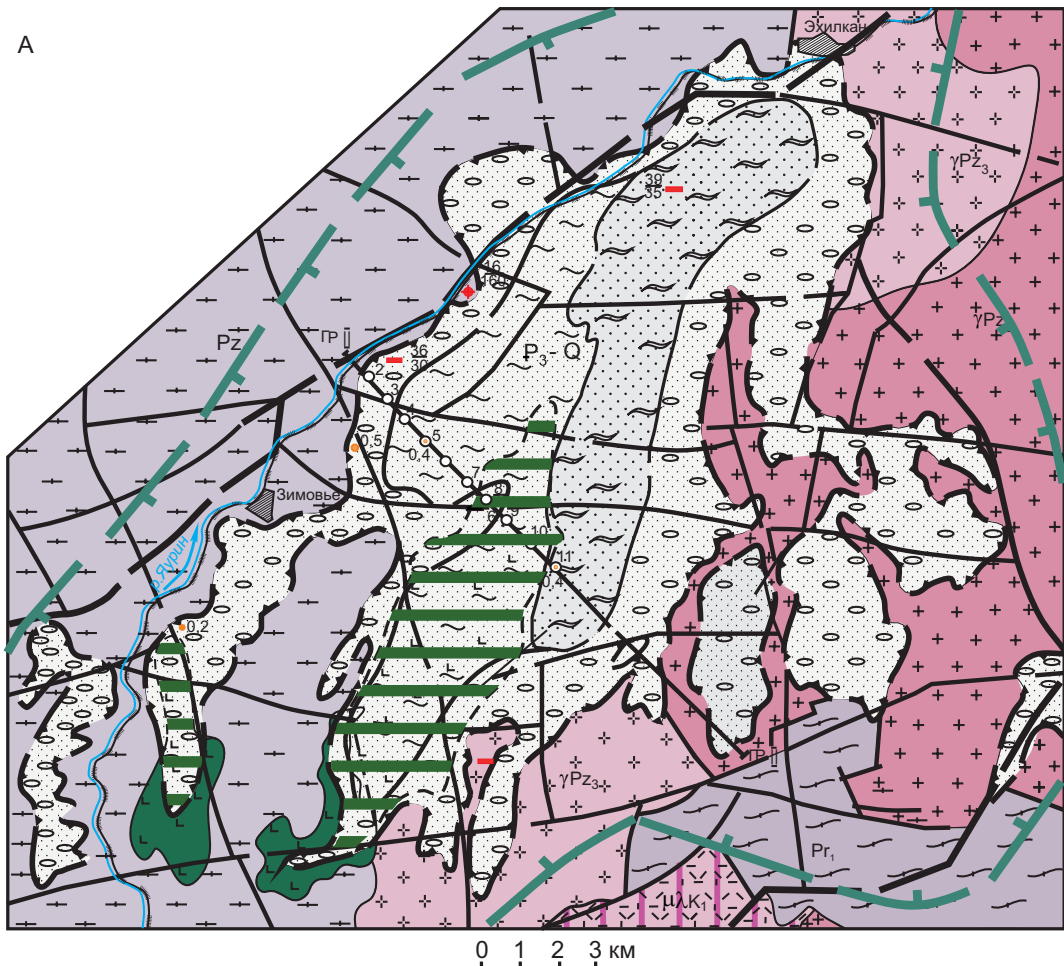
Строение и характер эрозии осадочного чехла Амуро-Зейской впадины, морфология ее рельефа свидетельствуют о голоценовом времени ее взброса и о молодости ее речной сети. Зея, вместе с ее притоками, заложена на уже взброшенной поверхности впадины — это голоценовая транзитная река, работающая на вынос ее осадков в Амур. Соответственно, и Амур представляет собой транзитную (голоценовую) региональную артерию. Долина Амура вложена здесь в активизированные в голоцене разломы НАС.

Восточная часть Амуро-Зейской впадины (рис. 4) была взброшена в голоцене с еще большей амплитудой, до сотен метров, взаимодействующими ЗПС-системами Намурхэ-Амурской и Инкоу-Хинганской зон разломов. Она была интенсивно деформирована и эродирована. Контур впадины в результате эрозии сократился здесь по широте на 50 км и более (см. рис. 3, А).

На борту впадины сохранилась от эрозии реликты палеодолин. По ним проведены маршрутные наблюдения с геохимическим опробованием (1995, 2000 гг.). Эти реликты вложены в специализированные на уран палеозойские граниты и меловые вулканиты, насыщенные мелкими проявлениями урана. Выполнены они рыхлыми, хорошо проницаемыми песчано-гравийными и валунно-галечными осадками с радиоактивностью 10–20 мкР/ч. Они полностью или частично проработаны поверхностным окислением. Но и здесь, как на западе впадины, зона поверхностного окисления также лишена следов продуктивности на уран.

Не получила здесь развития и зона пластового окисления. Упомянутая выше Долдыканская аномалия локализована на границе осадков впадины с фундаментом, в ситуации, характерной для ЗПО. Но в керне вскрывшей ее скважины следов окисления не зафиксировано. Ее аномальный интервал контролируется *аргиллизитовым метасоматозом (каолинизацией)*. Этот метасоматоз, проявленный на завершающей фазе плиоцен-плейстоценовой активизации, получил широкое развитие на юге Амуро-Зейской впадины (см. рис. 3, А). С ним там связан ряд урановых аномалий и антимонит-флюоритовое оруденение на упомянутом выше Богучанском поднятии.

На эродированном восточном борту впадины сохранились реликты осадков верхнего мела в просаженных, ограниченных разломами блоках. Один из таких реликтовых блоков (рис. 4, Б), вскрытый дорожным врезом трассы Чита—Хабаровск, наблюдался автором в 1995 г. в 5 км севернее ст. Кундур. Он выполнен слоистой пачкой сероцветных и пестроцветных осадков верхнего мела (датировка В. С. Маркевич, 1996), деформированных до вертикального положения. Вмещают этот блок биотитовые сланцы протерозоя и меловые вулканиты. На западе блока в его осадки внедрен тектонический клин сланцев. А восточнее осадки инъецированы жилами сидерита (еще один след плейстоценового метасоматоза). С запада же на этот блок надвинута



пластина «немых» красноцветных валунных паттумов, предположительно, олигоцен-миоценового возраста. В другом блоке, расположенном в 5 км западнее, в сероцветных песчано-глинистых осадках, датированных маастрихтом, сохранился скелет шлемоголового динозавра *Olorotitan arharensis* Godefroit [1].

В контексте рассматриваемой проблематики важно то, что осадки этих реликтовых блоков не затронуты поверхностным окислением, что свидетельствует о высокой скорости голоценовой эрозии. А само наличие блоков говорит о молодости и значительной амплитуде взброса всего восточного борта впадины. Об этом же свидетельствует и реликтовый характер развитых здесь плиоцен-плейстоценовых плато-базальтов на юго-западной периферии Хинганского плато. Здесь они прорезаны голоценовой речной сетью – притоками Архары и Амура.

Таким образом, зажатая в короткий интервал голоцена эрозия развивалась во взброшенной структуре Амуро-Зейской впадины с весь-

ма высокой скоростью, местами опережая зону поверхностного окисления. В этих обстоятельствах времени для формирования урановых накоплений здесь просто не хватало. И даже если ранее (до голоценовой активизации) на этом борту впадины и был проявлен продуктивный на уран поверхностный окислительный эпигенез (что довольно сомнительно, учитывая приведенные выше соображения), то сформированное им оруденение было срезано голоценовой эрозией. Близкие ситуации характерны и для других впадин ЮДВР.

Изометричная в плане *Эхилканская впадина* (рис. 5, А–Б) локализована в узле пересечения Инкоу-Хинганского и Эхилкан-Ханкайского разломов [5]. Ее взброшенная, эродированная структура сложена неогеновыми осадками. Расположенные на бортах впадины реликты препарированных эрозией палеодолин обозначают первичный (до голоценового взброса) контур впадины. Деформированные тектоникой осадки вскрыты придорожными карьерами и профилем

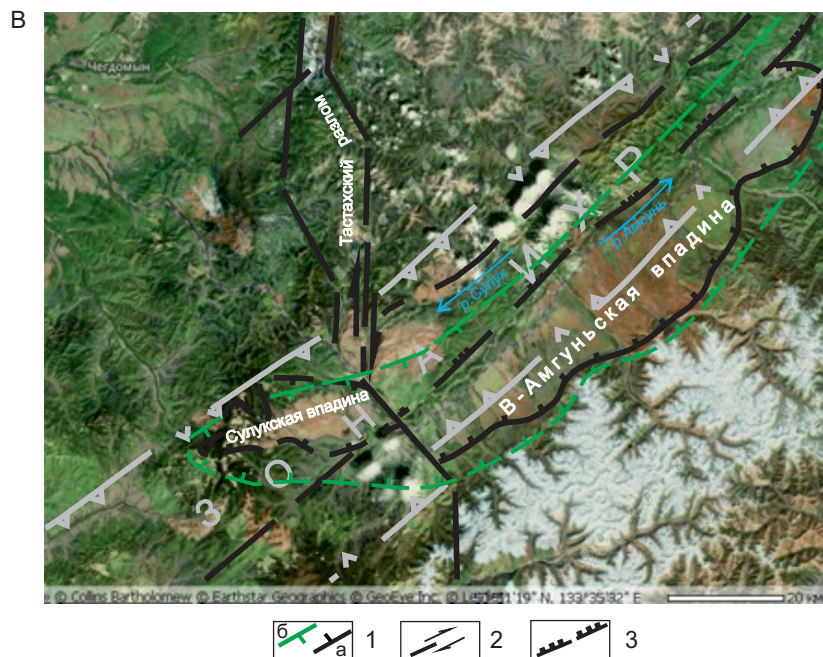


Рис. 5. Реликты новейших инверсионных структур Эхилканской и Верхне-Амгуньской впадин (по [5], с доп.)

А–Б. Эхилканская впадина. А – литолого-структурная карта. Б – геологический разрез по профилю II. 1 – контуры впадины: а – современный, б – реконструированный; 2–4 – осадочное выполнение впадины: 2 – песчано-гравийно-галечные и валунные отложения приобортовой части и палеодолин; 3 – глинисто-песчаные осадки переходной зоны; 4 – углисто-глинисто-песчаные отложения внутренней части впадины; 5–6 – покровы плиоценовых базальтов: 5 – на обрамлении впадины; 6 – аргиллизированный покров в осадочном чехле. 7–11 – породы фундамента впадины: 7 – метаморфические сланцы протерозоя; 8 – гранитогнейсы нижнего палеозоя; 9 – биотитовые граниты верхнего палеозоя; 10 – верхнепалеозойские лейкограниты; 11 – меловые риолиты; 12 – основные швы зон Инкоу-Хинганского и Эхилканского разломов; 13 – второстепенные разломы; 14 – скважины профиля II и их номера; 15 – радиоактивные аномалии в фундаменте впадины (справа в числителе – номер точки наблюдения, в знаменателе – интенсивность в мкР/ч); 16 – радиоактивные аномалии в осадках впадины; 17 – точки наблюдения с весовыми концентрациями золота в г/м³; на разрезе: 18 – глины; 19 – прослои бурых углей; 20 – дайки среднего-основного состава; 21 – кора выветривания пород фундамента; 22 – скважины, их номера и глубины, справа – график гамма-каротажа; 23 – зона поверхностного окисления.

В. Верхне-Амгуньская впадина. Космоснимок Google с дешифрированием автора. 1 – контуры впадины: а – современный, б – реконструированный; 2 – направление сдвиговых смещений; 3 – надвиг меловых вулканитов на северо-западный борт впадины

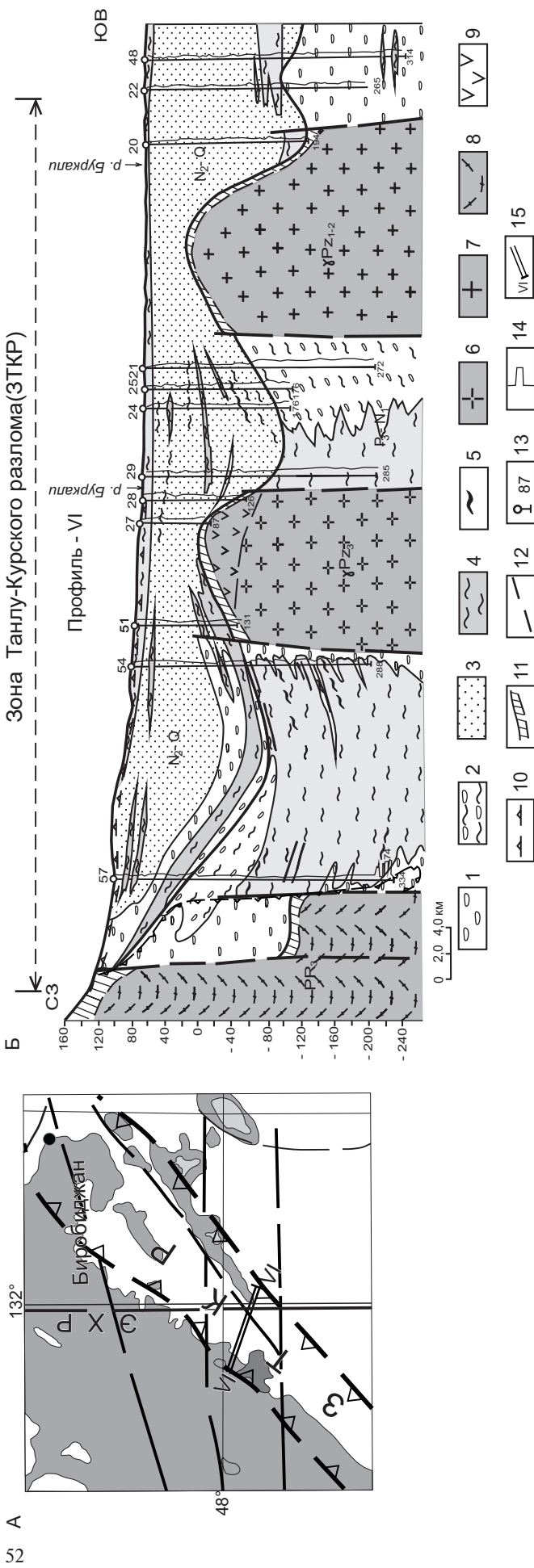


Рис. 6. Внутренняя структура Танлу-Курского разлома в западной краевой части Средне-Амурской впадины [9]

А – План. **Б** – Разрез по профилю реконструированного бурения VI: 1–5 – новейшие осадки (1 – гравийно-галечные отложения, 2 – паттумы переменного состава, 3 – пески, 4 – глины, 5 – углистые глины и прослой бурых углей); 6–9 – породы фундамента (6 – лейкограниты, 7 – гнейсы, 8 – метаморфические сланцы, 9 – вулканиты среднего-основного состава); 10 – линии выклинивания поверхностного и пластового окисления; 11 – кора выветривания пород фундамента; 12 – новейшие разломы; 13 – скважины и их номера; 14 – графика гамма-каротажа; 15 – линия профиля VI на плане. **А. В** – современные накопительные ландшафты в долине р. Биджан (район профиля VI). На дальнем плане – локальное инверсионное поднятие



поисковых впадин. Северная часть впадины прорезана современной долиной реки Юрин, вложенной здесь в шов Инкоу-Хинганского разлома.

В верхней части осадочного чехла скважинами вскрыт аргиллизированный, полностью проработанный мета-галлуазитом, покров базальтов. Аргиллизация (каолинит, сульфиды) захватывает также и проницаемые осадки впадины, с привнесением в них урана, тория, редких земель и золота.

Прибортовая (северо-западная) часть впадины, дренированная долиной р. Юрин, проработана зоной поверхностного окисления на глубину до 10 м. Здесь в ней скважиной вскрыта локальная аномалия интенсивностью 85 мкР/час. Ее образование обусловлено, по-видимому, близостью борта, сложенного здесь специализированными на уран калиевыми гранитами. В основной же части впадины обнажены сероцветные осадки неогена, практически не затронутые окислением.

Расположенная северо-восточнее линейная структура *Верхне-Амгуньской впадины* была изучена в ходе поисковых работ на Адникан-Амгуньской площади в 1998 г. Ее линейная структура (рис. 5, В) контролируется зоной Инкоу-Хинганского разлома. Она была взброшена в голоцене и нарушена правосторонним сдвигом по меридиональному Тастахскому разлому с амплитудой около 10 км. От нее отделилась юго-западная часть – Сулукская впадина. На поверхности обеих впадин в результате взброса и эрозии обнажены неогеновые осадки. Окислительный эпигенез выражен здесь еще менее, чем в Эхилканской впадине и полностью лишен следов продуктивности на уран.

С северо-запада, по шву Инкоу-Хинганской зоны, на осадки Верхне-Амгуньской впадины надвинута пластина меловых вулканитов. В настоящее время в реликтовую структуру этой впадины врезается река Амгунь – это, как и Юрин, голоценовая транзитная река.

Средне-Амурская впадина (СAB), центральная часть Амуро-Ханкайского рифтогена, структурировалась разломами Намурхэ-Амурской системы и Танлу [9]. В 1975 г. была изучена поисковым бурением с комплексом профильной геофизики ее западная краевая часть. Она представлялась наиболее благоприятной для развития пластового окисления, поскольку западный ее борт сложен образованиями Буреинского массива, многие из которых специализированы на уран. Позднее вся впадина была закрыта сетью рекогносцировочных маршрутов, акцентированных на изучение тектонических и сейсмогенных дислокаций в осадках и в структурах инверсионных поднятий.

На границе плейстоцен-голоцен впадина была взброшена и подвержена эрозии. Но затем ее центральная и западная части были просажены и вновь вовлечены в седиментацию. На перекрытой осадками предголоценовой поверхности сохранились реликты поверхностного окисления, лишённые следов накопления урана. Современные седиментационные ландшафты с их глеевой

восстановительной обстановкой блокируют развитие окисления в центре и на западе СAB.

Зона пластового окисления была выделены на западе впадины довольно условно – под влиянием действовавшей тогда прогнозно-поисковой модели. Из трех аномалий интенсивностью до 80 мкР/ч, выявленных в западной краевой зоне, две (скв. 35 на профиле III в Биробиджанском грабене; скважина 50 на профиле IX в Бирофельдском грабене) совмещены с зонами плейстоценового аргиллизитового метасоматоза. Третья аномалия (скв. 57, профиль VI) с мощной (более 30 м) «рудной» записью гамма-каротажа, приурочена к северо-западному борту Лобэйского грабена, взброшенного и деформированного на рубеже плейстоцен–голоцен взбросо-сдвиговой тектоникой Танлу-Курской зоны разломов (Иланьская ветвь Танлу) и разломов НАС (рис. 6, Б). Вся западная краевая зона была насыщена в это время инверсионными поднятиями, многие из которых были выведены на поверхность. Осадки ее взброшенных грабенов активно размываются современными реками с формированием аллювиальных (руслowych, пойменных) накопительных ландшафтов (рис. 6, В).

При отсутствии керна с рудного интервала, учитывая его значительную (более 320 м) глубину, и аномалия скв. 57, по-видимому, также не связана с ЗПО. Сейчас более убедительным выглядит предположение, что скважиной вскрыта здесь фланговая часть рудного тела, сформированного плейстоценовым эндогенным рудогенезом «раковского» типа (подробнее о нем ниже).

Впадины *Приханкайской группы* (южная часть Амуро-Ханкайского рифтогена, см. рис. 1) выполнены преимущественно сероцветными осадками новейшей аллювиальной угленосной формации. Они исследованы значительно более детально по сравнению с другими рифтогенными структурами ЮДВР [8]. В процессе их опознания автор изучил данные по более чем 3000 скважин и обследовал многочисленные карьеры – как в современных контурах впадин, так и на их эродированных бортах.

Осадочные бассейны впадин этой группы развивались в условиях гумидного-семигумидного климата. В голоцене все они были подвержены региональному сжатию и взброшены активизированной в это время структурой Сихотэ-Алинского орогена, контролируемой здесь зоной Синегорского разлома. Впадины были деформированы сдвиговой тектоникой, выведены из седиментации и эродированы. У них эрозионный, полого-всхолмленный рельеф. Контуры впадин в результате эрозии значительно сократились.

Все Приханкайские впадины были раскрыты для окислительного эпигенеза. Но следы ЗПО в них также не были обнаружены. Поверхностное же окисление развивается в их осадках повсеместно, но на незначительную глубину. И оно, как и в других впадинах ОКС, также не сопровождалось перераспределением и накоплением урана. В то же время в осадочном чехле этих впадин

и в контролирующих их разломах (в контуре впадин и на их препарированном голоценовой эрозией обрамлении) получил широкое развитие *плейстоценовый редкоземельно-уран-германиевый рудогенез*.

Этим рудогенезом сформированы месторождения урана и германия в Раковской впадине, уран-германиевое месторождение в Павловской впадине, 13 урановых рудопроявлений в этих и других впадинах Приханкайской группы, также ряд U-Ge- и TR-рудопроявлений и более сотни аномалий. На взброшенных бортах впадин вложенные в разломы рудные зоны этих проявлений препарированы эрозией и выведены местами на поверхность. В ближайших к борту залежах Раковского месторождения их первичное оруденение частично замещено слюдковой минерализацией.

Анализ развития мезозойско-кайнозойских впадин ЮДВР показал, что в голоцене все они были взброшены, деформированы сдвиговой тектоникой и эродированы. В своем современном состоянии — это реликтовые, раскрытые для окислительного эпигенеза структуры. Но в них развивается лишь поверхностное окисление, не сопровождающееся накоплением урана.

Системно, нерегулярно снижающийся фронт голоценовой эрозии существенно сократил контуры впадин ЮДВР. Нередко он опережает развитие поверхностного окисления. А действующие в голоцене на локальных участках впадин накопительные ландшафты, с их глеевой восстановительной средой, полностью блокируют его развитие.

Формированию же зон пластового окисления препятствует действующий во впадинах в условиях регионального сжатия эксфильтрационный режим их подземных вод. Зоны пластового окисления, для которых необходим инфильтрационный режим, здесь не обнаружены. Однако не следует забывать о том, что поиски связанного с ними оруденения проводились в рамках прогнозно-поисковых моделей, ориентированных на выявление «классических», масштабных ЗПО, направленно развивающихся от бортов впадин в глубину их осадочного чехла. Локальные обстановки с рудоносными пластовыми зонами гобийского типа этими ППМ не предусматривались.

В данных обстоятельствах поисковый интерес в ОКС ЮДВР могут представлять вложенные в специализированный фундамент крупные реликтовые палеодолины с мощным чехлом сероцветных проницаемых осадков. В них, по аналогии с гобийскими обстановками, еще сохранились условия длительного и устойчивого развития продуктивного на уран окисления пластовой морфологии.

В этой связи заслуживает внимания *Прилукинская палеодолина* (25 × 10 км) на севере Павловской впадины (рис. 7, см. также рис. 1). Ее взброшенная, препарированная эрозией структура хорошо выражена на космоснимке. Верховье палеодолины поднято относительно ее устья на 50 м. Это благоприятствует развитию концентрирован-

ного инфильтрационного потока. Источник урана для этого потока обеспечивают специализированные ($C_U = 10-15$ Г/т) гродековские граниты фундамента этой палеодолины, с высокой (80–90 %) долей подвижного урана [10].

При значительных площадных параметрах мощность осадков в приосевой части Прилукинской палеодолины должна быть не менее 200 м, что вполне достаточно для развития продуктивной ЗПО. Осадки палеодолины, судя по характеру отложений самой Павловской впадины — рыхлые, сероцветные, угленосные, с высокой восстановительной емкостью. Они представляют собой благоприятную среду для формирования оруденения на выклинивании ЗПО.

Способность мобилизовать уран из таких гранитов иллюстрируют два показательных примера. Первый — мобилизация урана Куйбышевской трещинно-инфильтрационной системой, сформировавшей Вассиановское рудопроявление (подробнее см. ниже).

Второй пример — аномалия в долине р. Ягдынья (район одноименной станции на ж/д Известковая–Чегдомын). Здесь, в борту современной долины этой реки, в черных, обогащенных органикой илах работами «Таежгеологии» выявлены диагенетические концентрации урана. Русло Ягдынья вложено на этом участке в трещиноватые, специализированные на уран калиевые граниты верхнего палеозоя. Такие локальные обстановки не способны накопить значимые концентрации урана, поскольку со временем они неизбежно размываются мигрирующим русловым потоком. Но они служат индикаторами мобилизации урана из пород фундамента, с переводом его в водный раствор и сбросом на восстановительном барьере.

Обращает на себя внимание то обстоятельство, что в приустьевой части Прилукинской палеодолины, на выходе ее в Павловскую впадину, локализовано *Григорьевское рудопроявление урана* с эндогенным плейстоценовым оруденением. Оно контролируется узлом пересечения широтного разлома Вассиановской зоны и меридионального разлома, по которому заложена сама Прилукинская палеодолина. Оба эти разлома являются потенциально рудовмещающими для оруденения «раковского» типа. Данная палеодолина представляется, таким образом, перспективной на выявление обоих типов гидрогенного уранового оруденения.

Подобных обстановок достаточно много на бортах Амура–Зейской и Средне-Амурской впадин, на обрамлении Приханкайских впадин. Но для их выделения необходимо реконструировать первичные контуры этих впадин и их палеодолинных систем, деформированных голоценовой тектоникой и эрозией.

Необходимо также отметить, что на обрамлении впадин ОКС достаточно широко распространены проявления урана в *трещинно-инфильтрационных системах* (ТИС), развивающихся во вскрытых эрозией, специализированных на

уран гранитах. Модель этого рудогенеза разработана автором на примере *Васиановского рудопроявления* [4], локализованного в апикальной части небольшого Куйбышевского массива силурийских лейкогранитов с содержанием урана 20 г/т. Рудопроявление было опознано Октябрьской экспедицией (скважинами и штольневый горизонт) в конце 1950-х гг.

Действующей на массиве трещинно-инфильтрационной системой на восстановительном барьере вблизи уровня грунтовых вод сформирована небольшая плащеобразная залежь со слюдковой и черниевой минерализацией. Продуктивности этой системы способствовало то, что образованная ранее на этом массиве глинистая слабопроницаемая кора выветривания была эродирована. Массив был раскрыт для окислительного эпигенеза.

Однако работа такой небольшой по объему ТИС была зажата в короткий временной интервал, что также не способствовало ее продуктивности. Более перспективными представляются крупные гранитные массивы, развивающиеся в режиме поднятия в течение достаточного продолжительного временного интервала, с палеоцена до начала плиоцен-плейстоценовой активизации (до перекрытия ОКС платобазальтами). Все это время ОКС развивалась в амагматичном режиме с относительно спокойной геодинамикой. На пологом обрамлении впадин, находящихся в состоянии седиментации, формировались коры

выветривания. Но на контрастно выраженных поднятиях, где доминировала эрозия, для трещинно-инфильтрационных системы были созданы вполне благоприятные условия. Выделение таких ТИС также требует соответствующих реконструкций.

Заключение. Проведенные исследования позволили выделить основные закономерности окислительного эпигенеза в структуре ЮДВР, оценить на их основе продуктивность этого эпигенеза на гидрогенный уран, разобраться с причинами малой эффективности проведенных в регионе поисков гидрогенных месторождений и обозначить направление дальнейших исследований по проблеме.

Проводившиеся в регионе поиски месторождений гидрогенного урана были ориентированы, прежде всего, на выявление месторождений зон пластового окисления, с прогнозно-поисковыми моделями, разработанными для месторождений, расположенных в глубине континента. Этими ППМ не учтена специфика окраинно-континентальной структуры ЮДВР. А именно она определила особенности окислительного эпигенеза ЮДВР и его продуктивность на гидрогенный уран. Ниже представлены основные выводы по проведенной работе.

– На новейшем этапе, с которым связан гидрогенный урановый рудогенез, ОКС региона развивалась в весьма напряженном режиме –

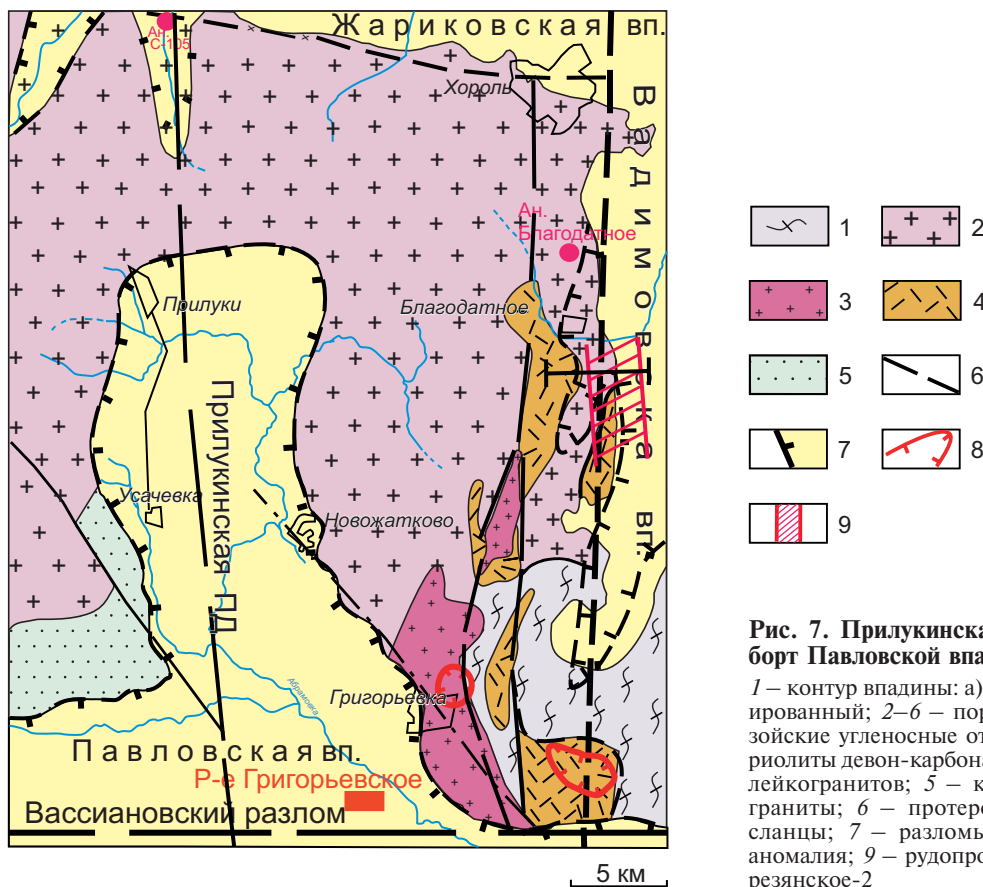


Рис. 7. Прилукинская палеодолина, северный борт Павловской впадины (по [10], с изм.)
 1 – контур впадины: а) современный; б) реконструированный; 2–6 – породы фундамента: 2 – мезозойские угленосные отложения мелкого моря; 3 – риолиты девон-карбона; 4 – интрузии вознесенских лейкогранитов; 5 – калишпатовые гродековские граниты; 6 – протерозойские метаморфические сланцы; 7 – разломы; 8 – радиогеохимическая аномалия; 9 – рудопроявления Березьянское-1, Березьянское-2

сначала в рамках ритма глобального расширения, а с рубежа плейстоцен-голоцен — в рамках сменявшегося его ритма сжатия.

— Мезозойско-кайнозойские впадины ОКС, основной объект исследования, выполнены осадками аллювиальной угленосной формации. В течение всего времени впадины развивались в условиях преимущественно гумидного климата.

— В плиоцене — позднем плейстоцене ОКС была активизирована на мантийном уровне. Значительная ее часть была закрыта плато-базальтами. В заключительную фазу активизации в ней получил развитие аргиллизитовый метасоматоз с водородным уран-полиэлементным оруденением.

— В своем современном состоянии ОКС представляет собой голоценовый ороген с реликтовой системой Mz-Kz впадин и разделяющими их горными сооружениями поднятий домезозойского фундамента.

— Впадины, как часть орогенной системы ОКС, являются основными индикаторами голоценовой активизации. Они были взброшены в голоцене, деформированы сдвиговой тектоникой и избирательно выработаны эрозией со срезом до $n \times 100$ м. В результате они существенно сократили свои первичные контуры.

— Эрозия рыхлых осадков впадин развивалась синхронно с их взбросом, с весьма высокой скоростью. Этому способствовали вложенные в их уже взброшенные структуры речные системы, активно размывающие осадки.

— Взброшенные и эродированные структуры впадин раскрыты для окислительного эпигенеза. Но все фиксируемые во впадинах следы окисления — результат работы зоны поверхностного окисления, развивающейся на фронте голоценовой эрозии.

— Продуктивность зоны поверхностного окисления на уран изначально снижена в ОКС из-за невысокого содержания урана в осадках впадин и низких концентраций в поверхностных и подземных водах.

— Поступление урана в зону поверхностного окисления блокирует площадной (современный) почвенный слой и локальные седиментационные ландшафты с их восстановительной средой.

— Высокая скорость эрозии впадин привела к тому, что ее фронт нередко опережает развитие в них зоны поверхностного окисления.

— В этих условиях, при кратковременности развития этой зоны, мобилизуемый ею уран не успевает накапливаться ее барьерной системой в сколько-либо значимых концентрациях.

— У впадин ОКС — замкнутые, бессточные артезианские бассейны. В голоцене, в условиях характерного для орогенов регионального сжатия, в них доминирует эксфильтрационный режим. Продуктивные на водородный уран площадные зоны пластового окисления, для которых необходим режим инфильтрации, в этих условиях не получили в ЮДВР масштабного развития.

— Но при этом сохраняется возможность развития продуктивных на уран ЗПО в крупных реликтовых палеодолинах, вложенных в специализированные на уран граниты. Особый интерес здесь представляют палеодолины, в которых имеются признаки плейстоценового (водородного) уранового оруденения «раковского» типа.

— На обрамлении впадин развиваются продуктивные на уран трещинно-инфильтрационные системы. Из них интерес представляют, прежде всего, ТИС в крупных, специализированных на уран массивах, развивающихся в режиме устойчивого поднятия в течение большей части новейшего этапа.

Перспективы ЮДВР на водородный уран, связанный с окислительным эпигенезом, ограничиваются, таким образом, двумя достаточно локальными специфическими обстановками: 1. Реликтовые (крупные) палеодолины с фундаментом, сложенным специализированными на уран гранитами. В них возможно развитие продуктивных на уран ЗПО. 2. Трещинно-инфильтрационные системы на длительно развивающихся поднятиях, сложенных специализированными гранитами.

В большой мере перспективы региона связаны с плейстоценовыми рудообразующими системами, сформировавшими комплексное (U, Ge, TR и др.) низкотемпературное водородное оруденение «раковского» типа.

Для выделения обстановок и локальных структур, продуктивных на водородное оруденение трех этих типов, необходимо реконструировать структуру ОКС, восстановив, прежде всего, ее голоценовую историю.

Не следует также забывать, что голоценовой тектоникой и эрозией деформированы все зоны рудогенеза (и не только уранового), начиная с плейстоценовых. Это отдельный, немаловажный аспект крайне слабо изученной до сих пор проблемы пострудных перестроек.

1. Болотский Ю. Л., Бугдаева Е. В., Маркевич В. С. Динозавры и среда их обитания в конце мелового периода (Зейско-Буреинский бассейн, российский Дальний Восток) // Вестник ДВО РАН. — 2009. — № 4. — С. 73–82.

2. Коковкин А. А. Модель экзогенного уранового рудогенеза в рифтогенах Монголии // Геология месторождений редких и радиоактивных элементов. — М.: ВИМС, 2000. — Вып. 142. — С. 52–60.

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

4. Коковкин А. А. Геодинамическая модель кайнозойского этапа развития континентальной коры юга Дальнего Востока России и уран-полиэлементное рудообразование: Автореф. дисс. ... докт. геол.-минерал. наук. — М.: РИС ВИМС, 2007. — 50 с.

5. Коковкин А. А. Особенности новейшего этапа развития зоны Инкоу-Хинганского разлома // Региональная геология и металлогения. — 2016. — № 68. — С. 42–51.

6. Коковкин А. А. Волновая модель структурирования континентальной коры Востока Азии (на пути к парадигме волновой нелинейной геодинамики) // Тектоника, геодинамика и рудогенез складчатых поясов и платформ. Материалы XLVIII Тектонического совещания. — М.: GEOS, 2016. — Т. 1. — С. 248–252.
7. Коковкин А. А. Парадоксы голоцена и роль неоплейстоцен-голоценового рубежа в развитии Земли // Материалы совещания «Проблемы тектоники и геодинамики земной коры и мантии». — М., 2018. — Т. 1. — С. 287–291.
8. Коковкин А. А. Намурхэ-Амурская система разломов в окраинно-континентальной структуре востока Азии // Отечественная геология. — 2019. — № 6. — С. 29–41. DOI: 10.24411/0869-7175-2019-10045.
9. Коковкин А. А. Амуро-Ханкайский рифтоген — индикатор эволюции окраинно-континентальной структуры Востока Азии // Проблемы тектоники континентов и океанов. Материалы LI Тектонического совещания. — М.: GEOS, 2019. — Т. 1. — С. 260–264.
10. Коковкин А. А. Эволюция Синегорской рудно-магматической системы (Южное Приморье): структура, рудогенез, пострудные перестройки. — М.: ВИМС, 2020. — 160 с.
11. Машковцев Г. А. и др. Уран российских недр. Научное издание ФГУП ВИМС / Г. А. Машковцев, А. К. Константинов, А. К. Мигута, М. В. Шумилин, В. Н. Щеточкин. — М., 2010. — 855 с.
12. Чин-Аадан Ж. Г., Миронов Ю. Б. Геодинамика и металлогения урана Монголии // Новые идеи в науках о Земле. Материалы XIV Международной научно-практической конференции: в 7 т. — Т. 2. — М.: РГГУ им. С. Орджоникидзе, 2019. — С. 198–200.
3. Kokovkin A. A. Kaynozoyskie ekzogennye rudoobrazuyushchie sistemy vostoka Azii. *Otechestvennaya geologiya*, 2005, vol. 4, pp. 60–69. (In Russian).
4. Kokovkin A. A. Geodinamicheskaya model' kaynozoy-skogo etapa razvitiya kontinental'noy kory yuga Dal'nego Vostoka Rossii i uran-polielementnoe rudoobrazovanie: Avtoref. diss. dokt. geol.-mineral. nauk. [Geodynamic model of Cenozoic stage of development of the continental crust of the South of the Russian Far East and uranium-polyelement ore formation. Doctor (geological and mineralogical) Thesis]. Moscow, 2007. 50 p.
5. Kokovkin A. A. Osobennosti noveyshego etapa razvitiya zony Inkou-Khinganskogo razloma. *Regional Geology and Metallogeny*, 2016, vol. 68, pp. 42–51. (In Russian).
6. Kokovkin A. A. Volnovaya model' strukturirovaniya kontinental'noy kory Vostoka Azii (na puti k paradigme volnovoy nelineynoy geodinamiki). *Tektonika, geodinamika i rudogenez skladchatykh poyasov i platform. Materialy XLVIII Tektonicheskogo soveshchaniya*. Moscow, GEOS, 2016, vol. 1, pp. 248–252. (In Russian).
7. Kokovkin A. A. Paradoksy golotsena i rol' neopleystotsen-golotsenovogo rubezha v razvitiy Zemli. *Materialy soveshchaniya «Problemy tektoniki i geodinamiki zemnoy kory i mантии»*. Moscow, 2018, vol. 1, pp. 287–291. (In Russian).
8. Kokovkin A. A. Namurkhe-Amurskaya sistema razlomov v okrainno-kontinental'noy strukture vostoka Azii. *Otechestvennaya geologiya*, 2019, vol. 6, pp. 29–41. DOI: 10.24411/0869-7175-2019-10045. (In Russian).
9. Kokovkin A. A. Amuro-Khankayskiy riftogen — indikator evolyutsii okrainno-kontinental'noy struktury Vostoka Azii. *Problemy tektoniki kontinentov i okeanov. Materialy LI Tektonicheskogo soveshchaniya*. Moscow, GEOS, 2019, vol. 1, pp. 260–264. (In Russian).
10. Kokovkin A. A. Evolyutsiya Sinegorskoy rudno-magmaticheskoy sistemy (Yuzhnoe Primor'e): struktura, rudogenez, postrudnye perestroyki. Moscow, VIMS, 2020, 160 p.
11. Mashkovtsev G. A., Konstantinov A. K., Miguta A. K., Shumilin M. V., Shchetochkin V. N. Uran rossiyskikh neдр. Nauchnoe izdanie FGUP VIMS. Moscow, 2010, 855 p.
12. Chin-Aadan Zh. G., Mironov Yu. B. Geodinamika i metallogeniya urana Mongolii. *Novye idei v nauках o Zemle. Materialy XIV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii: in 7 vols*. Moscow, RGGU im. S. Ordzhonikidze, 2019, vol. 2, pp. 198–200. (In Russian).

Коковкин Александр Александрович — доктор геол.-минерал. наук, вед. науч. сотрудник, Институт тектоники и геофизики им. Ю. А. Косыгина Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИТиГ ДВО РАН). Ул. Ким Ю Чена, 65, Хабаровск, Россия, 680000. <kokovkin@itig.as.khb.ru>

Kokovkin Alexander Alexandrovich — Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Leading Researcher, Institute of Tectonics and Geophysics named after Yu. A. Kosygin of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (ITiG FEB RAS). Ul. 65 Kim Yu Chen, Khabarovsk, Russia, 680000. <kokovkin@itig.as.khb.ru>