

УДК 553.04:553.495(470)

Шумилин М.В. (эксперт Росатома)

О СТРАТЕГИИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ НА УРАН В РОССИИ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

*В статье рассматривается проблема обеспеченности российской атомной энергетики ресурсами урана. Констатируется, что в настоящее время общая потребность страны в уране более чем на 50 % покрывается импортом, а освоению резервных источников сырья препятствует высокая себестоимость их продукции при низких мировых ценах на уран. Показано, что доля дешевых ресурсов в мире в целом еще относительно высока и предполагаемый будущий рост мировых цен может оказаться умеренным и недостаточным для рентабельного развития добывающих мощностей внутри страны, при неизбежном истощении используемой базы. Выражается солидарность с публикациями о необходимости резкого усиления геологоразведочных работ на уран. Однако в качестве стратегического направления этих работ обосновывается изучение новых районов, с ориентировкой на новый для страны тип урановых месторождений с богатыми рудами, при использовании современных генетических моделей и поисковых методик, разработанных и успешно применяемых за рубежом. **Ключевые слова:** ресурсы урана, изучение новых районов, месторождения типа «несогласия».*

Shumilin M.V. (Rosatom expert)

ON THE STRATEGY OF GEOLOGICAL EXPLORATION FOR URANIUM IN RUSSIA AT THE PRESENT STAGE

*The article deals with the problem of providing the Russian nuclear power industry with uranium resources. It is stated that at present the country's total demand for uranium is more than 50% covered by imports, and the development of reserve sources of raw materials is hampered by the high cost of their production at low world prices for uranium. It is shown that the share of cheap resources in the world as a whole is still relatively high and the anticipated future growth in world prices may turn out to be moderate and insufficient for the profitable development of production capacities within the country, with the inevitable depletion of the used base. Solidarity is expressed with publications about the need to dramatically increase geological exploration for uranium. However, as a strategic direction of these works, the study of new regions is substantiated, with an orientation towards a new type of uranium deposits with rich ores for the country, using modern genetic models and prospecting techniques developed and successfully applied abroad. **Keywords:** uranium resources, exploration of new areas, deposits of the «dissent» type.*

Атомная энергетика занимает важное место в энергобалансе России. Выработка энергии на АЭС в 2019 г. достигла 19,4 % общего производства, причем для европейской части страны эта доля составила 30 %. Принятая государственной Программой предусматривается дальнейшее развитие данной отрасли.

Как известно, топливом АЭС служит уран, причем его расход (в пересчете на природный) не так уж мал. Кроме потребления собственными АЭС, атомным флотом и другими (около 5 тыс. т), Россия является крупным экспортером ядерного топлива, что определяет суммарную потребность в уране на уровне 9–10 тыс. т /год [1].

Добычу урана в России в настоящее время осуществляют три предприятия, входящие в сырьевой дивизион Росатома — «Атомредметзолото» (АРМЗ): АО «Далур» (Курганская обл.), АО «Хиагда» (Бурятия) и ПАО «Приаргунский комбинат» (Читинская обл.). В сумме они производят лишь порядка 3000 т урана. Дефицит в основном покрывается за счет импорта с совместных предприятий Росатома в Казахстане (около 5000 т) [1, 2]. Себестоимость урана на этих предприятиях ниже, чем на отечественных. Поэтому в ближайшие годы в России планируется стабилизация суммарного внутреннего производства.

В резервном фонде имеется достаточно большое количество месторождений, но все они по своим параметрам являются источниками относительно дорогими. В их числе лишь Эльконский урановорудный район в Якутии включает ресурсы, позволяющие создать производство, по масштабам способное заместить импорт [2, 3]. Однако себестоимость урана здесь значительно превышает современные мировые цены и освоение этого источника до 2035 г. не планируется.¹

Предполагается, что цены к указанному сроку вырастут. Но достигнут ли они уровня, достаточного для рентабельного освоения Эльконского района?

Анализ мировой базы урана показывает, что доля ресурсов низкой себестоимости (<80 \$/кг) в ней еще достаточно высока (23 %), в то время как в базе России эта доля только 4 % (рис. 1) [4]. Обеспеченность дешевыми ресурсами у нас составляет менее 5 лет по текущему уровню добычи.

Динамика мировых цен, очевидно, будет определяться состоянием мировой базы, и рост цен может оказаться относительно умеренным. В России же дешевые ресурсы будут исчерпаны еще до 2035 г., а объем производства на действующих сегодня предприятиях неминуемо снизится. Не исключено и снижение

¹ На конец 2020 г. биржевая спорт-цена составляла около 78 \$/кг. Себестоимость урана месторождений Элькона >130 \$/кг. Рентабельность освоения требует 1,5–2-х кратного превышения цены над себестоимостью.

импорта из Казахстана при несомненном росте собственного потребления.

В этой связи понятно беспокойство группы авторитетных специалистов урановой отрасли, еще в 2017 г. выступивших с большой статьей, посвященной проблеме уранового сырья в России [2]. В ней они приходили к однозначному выводу о неудовлетворительном состоянии отечественной сырьевой базы и необходимости резкого усиления геологоразведочных работ по ее воспроизводству. Однако какой-либо публичной реакции Росатома и Роснедр на эту статью не последовало.

Авторами этой статьи правильно отмечается, что на современном этапе необходимо ориентироваться на выявление слепых, не проявленных на поверхности месторождений, что требует качественно иного подхода к опережающему геологическому изучению площадей и обеспечения поисковых работ не геологическими картами поверхности, а трехмерными моделями геологического строения изучаемых участков. Создание таких моделей, в свою очередь, возможно только при насыщении опережающих геолого-съёмочных работ глубинной геофизикой и опорным бурением, а это требует коренного пересмотра регламентирующих геологоразведочные работы документов.²

Однако стратегическая направленность геологоразведочных работ по урану, предлагаемая в упомянутой выше статье, вызывает некоторые замечания.

Общей задачей таких работ авторы ставят «...*выявление новых рудных районов, полей и узлов со скрытыми, крупными по запасам, эндогенными месторождениями богатых руд*» [2].

На какие же конкретные геологические типы следует ориентировать работы для выявления «эндогенных» и «богатых» месторождений?

Авторы не конкретизируют такие направления, за исключением традиционного для России типа месторождений в вулканогенно-тектонических структурах (Стрельцовского).

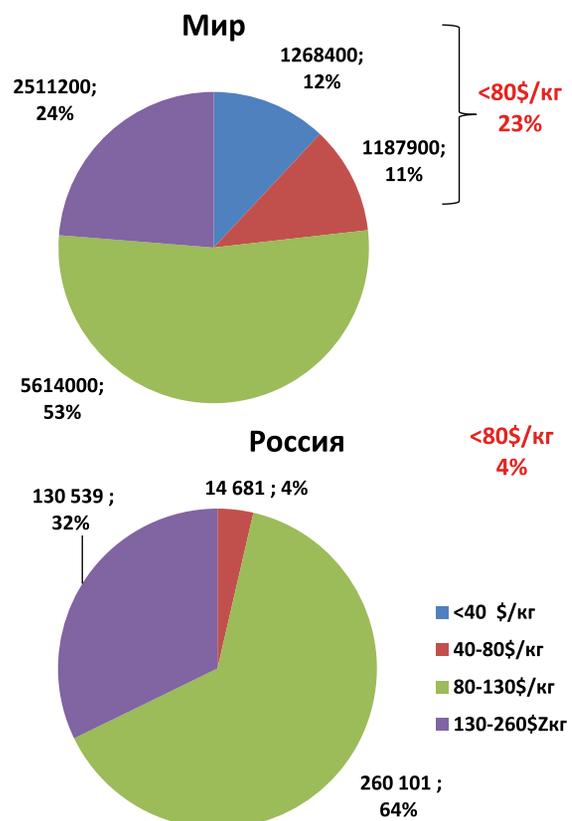
Однако реально к богатым месторождениям можно отнести только объекты единственного района в мире — бассейна Атабаска в Канаде. Во всех остальных случаях следует говорить лишь о месторождениях, заключающих обогащенные участки, при среднем по запасам содержании на уровне долей %. Таковыми являлись и лучшие отечественные месторождения — Стрельцовское и Тулукуевское (среднее содержание около 0,3 %) и даже знаменитый Антей (около 0,6 %) [5]. В сравнении с такими месторождениями района Атабаска, как МакАртур и Сигар, где среднее содержание составляет более 15 %, все отечественные руды могут полагаться рядовыми.

² Автор не может не вспомнить, что еще в 1980-е годы в системе 1 ГРУ Мингео СССР при работах на уран действовала специальная стадийность, включавшая стадию геологической подготовки поисковых площадей. По району Кызылкумов был даже подготовлен и издан Атлас погоризонтных геологических и гидрогеологических карт под его редакцией (в то время, к сожалению, с грифом «секретно»).

При этом месторождения Антей и Аргунское в Стрельцовском районе занимают весьма своеобразную структурную позицию, располагаясь в образованиях фундамента под экранирующим покровом вулканитов. Попытки найти подобные объекты на площадях, где формации фундамента обнажены, на что было затрачено немало усилий, были, на наш взгляд, обречены на неудачу. Такие объекты, если они существовали, должны были бы или проявляться на поверхности (и тогда уже быть открытыми), или являться смытыми до убогих корней, какие только и удавалось фиксировать.

Стрельцовский район изучается уже почти 50 лет, и надежды на существенный прирост ресурсов здесь могут связываться только с ограниченными площадями, где фундамент с сохранившимся покровом вулканитов перекрыт еще и меловыми осадками, т.е. в Урулюнгуевской впадине. Однако глубина поисков при этом составит около 1000 м. Выявленные руды (если их удастся найти) будут по горнотехническим условиям достаточно дорогими, но вовсе не обязательно богатыми.

Вулканические структуры Приамурья, также выдвигаемые авторами [2] в качестве перспективных, более молодые, и верхняя покрывка кислых вулканитов там очень слабо эродирована. Фундамент под вулканитами залегает на глубинах 700–1000 м и условия поисков тоже крайне тяжелые. При этом известный объект — Ласточка находится в условиях вероятного



Структура себестоимости сырьевой базы урана России и Мира в целом. Ресурсы inferred, по [4]. В подписях на рисунке: ресурсы в т урана, доли в %

приповерхностного обогащения, т.е. наличие на глубинах именно богатых руд ничем не подтверждено.

Обратимся теперь к бассейну Атабаска. Из более чем двух десятков открытых там месторождений, объекты, заключающие руды со средним содержанием выше 1 % все-таки численно преобладают — таковых более 60 %. При этом общие перспективы района явно еще не исчерпаны [6]. Это позволяет считать, что для данного типа месторождений повышенная концентрация урана в рудах — естественное первичное свойство, определяемое особенностями генезиса.

Как известно, месторождения этого бассейна рассматриваются как особый тип, получивший наименование «месторождений несогласия». Поэтому поставленную проблему следовало бы формулировать именно как выявление в России месторождений нового для нас типа несогласия — аналогов объектов бассейна Атабаска.

Такая постановка вопроса не нова: попытки поиска подобных объектов с перерывами предпринимались с 1980-х годов, но значимых открытий не дали. Однако эти попытки производились без четкого понимания, что же реально представляют собой такие месторождения, где и как их следует искать и, к тому же, при весьма ограниченных финансовых средствах. При этом одно такое месторождение — Карку, все же было выявлено [5].

За последние 30 лет в изучении месторождений несогласия за рубежом был сделан огромный шаг вперед. В бассейне Атабаска выявлены и оценены несколько новых крупных месторождений с богатыми рудами (Рофрайдер — 11 %, Феникс — 19 %, Миллениум и Эрроу — около 4 %), доказана промышленная ураноносность еще двух сходных бассейнов Канады (Телон и Отиш), опубликованы многие десятки научных работ, в которых сформулирована и обоснована модель образования месторождений типа несогласия.

В 2018–2020 гг. нами был выполнен обзор и анализ этих публикаций, результаты которого обобщены в работе [6]. Основные выводы нашего анализа сводятся к следующему:

1. Месторождения несогласия представляют собой особый тип урановых концентраций, формирование которых происходило в условиях осадочных палеобассейнов путем обменных реакций между циркулировавшими кислородными ураноносными пластовыми водами (захороненными бассейновыми рассолами) и восстановительными безурановыми флюидами, поступающими по разломам фундамента.

2. Условия возникновения такой гидродинамической обстановки определялись высокой проницаемостью осадков при полном отсутствии в них восстановителей (органики), что могло иметь место только в бассейнах внутриконтинентального типа в период отсутствия наземной жизни, т.е. в протерозое. Таким образом, месторождения несогласия являются специфическими образованиями именно протерозойской эпохи в интервале 1800–1200 млн лет.

3. Источниками урана считаются сами осадки (за счет урансодержащих аксессуариев), но повышен-

ным содержанием урана отличались и бассейновые воды, что могло быть связано с выщелачиванием ими урана еще на путях миграции при увеличении концентрации за счет эвапорационных процессов. Континентальные бассейны с повышенным содержанием урана в водах известны и на современной Земле (Иссык-куль, Ван и др.), но в протерозое процессы эрозии протекали более интенсивно, и насыщение вод замкнутых бассейнов ураном могло достигать гораздо более высокого уровня.

4. Поступление в осадки восстановительных флюидов определяется наличием проницаемых каналов — разломов в породах фундамента, обеспечивающих гидравлическую связь поверхности раздела между фундаментом и осадочным покровом (несогласия) с глубокими горизонтами этого фундамента. При этом четкая связь локализации месторождений с определенными комплексами пород фундамента отсутствует, хотя благоприятным фактором является наличие в них образований с повышенной концентрацией восстановительных агентов — графита, Fe^{2+} , V^{2+} , V^{3+} , Cr^{2+} .

5. Условия формирования богатых руд, вероятно, определялись длительностью процесса (сотни млн лет), т.е. длительно сохранявшейся стабильной геотектонической обстановкой.

Перечисленные положения позволяют достаточно точно определить основные критерии выделения площадей, перспективных для поисков месторождений, с повышенной вероятностью наличия богатых руд. Это, прежде всего, осадочные бассейны определенного возраста и с определенным составом осадков, при развитии в фундаменте системы разрывных структур, заложенных еще до накопления осадочных толщ и, частично, подновленных после их образования.

Таким образом, ориентировка на месторождения богатых руд, как объекты исключительно эндогенного происхождения, как это предлагается авторами [2], по существу является ошибочной.

Зарубежная методика поисков месторождений несогласия на первом этапе включает выполнение, интерпретацию и анализ аэрогеофизических съемок (аэрогамма-спектрометрия, магнитка высокого разрешения, электроразведка). Интерпретация геофизических материалов завершается опорным бурением. Основной целью этих работ является составление карт погребенного фундамента, с выделением зон тектонических нарушений — проводников восстановительных флюидов.³

³ У нас практически по всем перспективным площадям аэрогеофизические съемки были проведены еще до 1990 г. Однако они выполнялись частично с недостаточно совершенной аппаратурой, без записи на электронные носители или с использованием устаревших систем такой записи и, как правило, без электроканала. Их первоочередной целью являлся поиск контрастных радиоактивных аномалий. Обработка и анализ старых данных на современном уровне в картографических целях, вероятно, уже невыполнимы. Поэтому при проектировании новых исследований начинать надо с ревизии этих старых материалов, при необходимости предусматривая повторное выполнение таких съемок на современной основе.

На втором этапе выполняются наземные геофизические и геохимические исследования, первые — с целью заверки результатов интерпретации аэросъемок и детализации данных по участкам, включая картирование рельефа фундамента и 3D моделирования структуры, вторые — с целью выявления и прослеживания зон измененных пород и геохимических ореолов урана, и элементов-спутников в породах осадочного покрова. Последние при этом включают литохимию по коренным породам, петрохимический анализ образцов и ГЖВ минеральных новообразований, геохимическую съемку различными методами, включая изучение донных осадков озер и др. При этом обязательно выполняются определения абсолютных возрастов пород фундамента и покрова.

В необходимых случаях такие работы производятся с вскрытием коренных пород мелкими скважинами пневмо-ударного бурения.

На третьем этапе производится вскрытие выделенных структурных зон и аномалий скважинами колонкового бурения с обязательным пересечением поверхности несогласия и заглубкой в фундамент, с изучением разломных структур до 100–200 м ниже этой поверхности.

Как правило, все полевые работы, кроме аэрогеофизики, выполняются не сразу во всем проектом объеме, а поэтапно, с паузами, в течение которых делается вся аналитика и полная камеральная обработка результатов заверченных работ, что позволяет оперативно корректировать направления и методику при переходе к следующему этапу. В целом комплекс таких исследований занимает, как правило, несколько лет и требует достаточно крупных ассигнований. Так, одной из компаний в пределах своей лицензионной площади на поиски в течение трех лет было затрачено около 1200 млн руб.⁴, однако промышленных месторождений так и не было выявлено. Тем не менее, считается, что перспективы участка сохраняются и работы следует продолжать, хотя они приостановлены из-за неблагоприятной конъюнктуры.

Каковы же реальные перспективы выявления месторождений типа несогласия в России?

Протерозойские осадочные формации на территории России в основном перекрыты более молодыми осадками, а в обнаженных районах существенно эродированы и имеют останцовое развитие в крайних зонах щитов. Замкнутых, бассейновых структур, подобных Атабаске, они нигде не образуют, однако по составу и возрасту нередко примерно отвечают сформулированным выше критериям. При этом в одном из районов — Пашско-Ладожском, выявлено месторождение Карку, квалифицируемое, как тип несогласия [5].

К сожалению, этот объект, открытый еще в 1989 г., брошен в явно недооцененном состоянии [7]. Положение рудных тел на нем отчетливо контролируется разломами фундамента, но рудоносность самих разло-

мов на глубине не проверена, т.к. все скважины, при глубине всего до 150 м, пройдены вертикальными и плоскости разломов не пересекают. Рудоконтролирующие структуры отчетливо уходят под акваторию Ладожского озера, но рудоносность этой площади не оценена никак.

Возможности изучения Карку, как и его промышленные перспективы, ограничены сложной экологической обстановкой. Однако представлялось бы необходимым, как минимум, изучить прилегающую акваторию геохимическим опробованием донных осадков и/или экспозиционной радоновой съемкой, что было бы целесообразным даже с экологических позиций. Необходимо также продолжить буровые работы на берегу, с попыткой оценить рудоносность разломных структур под несогласием, т.к. ряд месторождений Атабаски локализуется ниже этой поверхности на глубинах до 300 м (Игл Пойнт, Грифон и др.). Пока это единственный эталон месторождений типа несогласия на территории нашей страны. При общем сходстве с месторождениями Атабаски, он все же имеет и некоторые отличительные особенности. Во-первых, мощность фильтрующего слоя песчаников тут сильно ограничена покровом непроницаемых базальтов, а во-вторых, разломы фундамента занимают не согласное, а секущее положение относительно слоев графитистых гнейсов, что резко уменьшает объем контакта глубинных флюидов с восстановительной средой. Насколько данные факторы могли повлиять на масштабы оруденения неясно, т.к. сами эти масштабы, по существу, не оценены. При этом площадь развития рудовмещающих отложений рифея в регионе достаточно велика и Карку вполне может являться не единичным объектом. Приступать же к опосредованному этой площади, не изучив эталонный объект и не отработав на нем методику, значит увеличивать и так не малые риски.

Ряд объектов, предположительно относимых к типу несогласия, известен у нас в краевой зоне Сибирской платформы по Саянскому (Столбовое, Ансах) и Северобайкальскому (Туюкан, Чепок) ее фасам [5]. Однако здесь еще очень много неясных вопросов. Сами эти объекты по своим параметрам внимания не привлекают. Возрастное взаимоотношение рудного процесса и осадконакопления неясно из-за локализации руд исключительно в породах фундамента при неполноте и противоречивости геохронологических данных. Не исключено, что оруденение здесь вообще древнее осадков и, следовательно, никакого отношения к типу несогласия не имеет. Сами осадки, при терригенном составе, отвечают скорее океанической окраине, а не внутриконтинентальным бассейнам и др.

Здесь необходимой представляется постановка комплексных научно-производственных работ со сбором и анализом фондовых материалов и целевыми полевыми исследованиями для уточнения истории развития этих областей и положения в ней ураново-рудного процесса.

⁴ В пересчете канадских долларов в рубли по текущему курсу.

Еще одним районом, привлекающим внимание в качестве потенциального бассейна месторождений несогласия, является восточная окраина Алданского щита (Учуро-Майский район) [3]. В этом районе, помимо ряда рудопроявлений в образованиях фундамента, на площади развития покрова рифейских красноцветных песчаников, зафиксирована крупная (100 км²) площадная аномалия аэроспектротометической съемки (Адоргайская). В 1990-х годах была предпринята попытка изучения этой аномалии бурением, но в пройденном единичном профиле лишь одна скважина добурена до поверхности несогласия (глубина 500 м). Скважиной установлен ореол изменения песчаников (обеление) с отдельными повышениями радиоактивности, что можно было бы рассматривать как положительный результат [3]. Однако работы на этом закончились из-за недостатка финансирования.

Дальнейшие исследования здесь должны начинаться с ревизии материалов аэрогеофизической съемки и, скорее всего, с ее повторения, но уже на современном аппаратном и методическом уровне (высокоточная аэромагнитка, аэроэлектроразведка) и составления структурной карты погребенного фундамента с последующим изучением локальных участков наземными методами по принятой за рубежом методике (см. выше).

На наш взгляд, Учуро-Майский район по имеющимся геологическим данным, выглядит весьма перспективным и остается еще практически не изученным на наличие месторождений типа несогласия. Он также более благоприятен по сравнению с Пашско-Ладожским, в экологическом отношении. К тому же — это район Дальнего Востока, приоритетное развитие которого определено Правительством.

Рассчитывать на возможность открытия новых урановородных районов, а лишь такое открытие способно коренным образом изменить качественное состояние сырьевой базы урана в России, можно только путем изучения новых территорий. Найти такие объекты вблизи от действующих предприятий или в районах, в течение десятилетий и при немалых объемах бурения, изученных еще в советский период, на наш взгляд, нереально.

Решение этой задачи возможно только в условиях устойчивого финансирования. Поэтому приступая к таким работам, следовало бы располагать разработанной многолетней Программой, утвержденной совместным решением Роснедр и Росатома.

ЛИТЕРАТУРА

1. О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов в России. Госдоклад Минприроды РФ, раздел «Уран», 2018.
2. Коноплев, А.Д. Проблемы минерально-сырьевой базы урана в России и пути их решения / А.Д. Коноплев, С.В. Полонянкина, И.И. Царук, Е.А. Митрофанов // Минеральные ресурсы России. — № 5. — 2017.
3. Машковцев, Г.А. Ресурсная база урана: проблемы развития и освоения / Г.А. Машковцев, А.К. Мигута, В.Н. Щеточкин, А.К. Константинов. Научно-технический обзор. — № 3. — АРМЗ, 2013.
4. Uranium 2020: Resources, Production and Demand. IAEA-NEA №7551, 2020.

5. Уран России / Под ред. Машковцева Г.А. — ВИМС, 2010.
6. Шумилин, М.В. Урановые месторождения типа несогласия: геология, генетическая модель, поисковые методы и перспективы выявления в России. Обзор зарубежных и отечественных публикаций / М.В. Шумилин // Минеральные ресурсы. — Вып. 41. — ВИМС, 2021.
7. Шумилин, М.В. Урановые месторождения типа несогласия: новая генетическая модель и проблема поиска в России / М.В. Шумилин // Разведка и охрана недр. — № 11. — 2017.

© Шумилин М.В., 2021

Шумилин Михаил Владимирович // shumilin.zbk@gmail.com

УДК 553.411:553.495(571.55)

Гребенкин Н.А.¹, Бабкин Н.Я.¹, Карманов Е.Н.¹,
Корявко А.И.¹, Кряжев С.Г.², Кузьменко П.С.¹,
Леденева Н.В.¹, Мельников С.И.¹, Ржевская А.К.¹
(1 — ФГБУ «ВИМС», 2 — ФГБУ «ЦНИГРИ»)

МОДЕЛЬ ДОКЕМБРИЙСКИХ УРАНОНОСНЫХ И ЗОЛОТОНОСНЫХ СИСТЕМ ТОНОДСКОГО ГРАНИТ-МЕТАМОРФИЧЕСКОГО ПОДНЯТИЯ (СЕВЕРНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ)

*Представлена геолого-генетическая модель докембрийских урановых и золоторудных объектов Тонодского гранит-метаморфического поднятия южного обрамления Сибирской платформы. В ее основу положено предположение о связи полихронного золотого и уранового рудообразования, процессов континентального рифтогенеза и пульсационного основного магматизма с мантийным очагом, фиксируемым в настоящее время гравиплотностным выступом на глубине 16–18 км. **Ключевые слова:** Тонодское поднятие, уран, золото, глубинное строение, глубинный гравиплотностной выступ.*

Grebenkin N.A.¹, Babkin N.Ya.¹, Carmanov E.N.¹,
Koryavko A.I.¹, Kryazhev S.G.², Kuzmenko P.S.¹, Ledeneva N.V.¹,
Melnikov S.I.¹, Rzhetskaya A.K.¹ (1 — VIMS, 2 — TSNIGRI)

URANIUM AND GOLD-BEARING PRECAMBRIAN SYSTEMS MODEL OF THE TONOD GRANITE-METAMORPHIC UPLIFT (NORTHERN TRANSBAIKALIA)

*A geological and genetic model of Precambrian uranium and gold ore objects of the Tonod granite-metamorphic uplift of the southern frame of the Siberian Platform is presented. It is based on the assumption that polychronous gold and uranium ore formation, continental rifting and pulsational mafic magmatism processes are related to the mantle chamber, which is currently fixed by a gravity-density nose at a depth of 16–18 km. **Keywords:** Tonod uplift, uranium, gold, deep structure, deep gravity-density nose.*

Геологическое строение и металлогения Тонодского поднятия. Докембрийские краевые поднятия, располагающиеся в пределах южной границы Сибирской платформы, контролируют многочисленные урановые и зо-