

Металлогения тория Российской Федерации

Приведены сведения о возможности использования тория в отечественной ядерной энергетике, что делает актуальной проблему выявления и изучения его месторождений. Рассмотрены особенности геохимии и минералогии тория, генезис и эпохи формирования специализированных на торий геологических формаций, а также вещественный состав и геологическое строение ряда важных торийсодержащих объектов с комплексными рудами. Предложена их классификация, основанная на учении о рудных формациях отечественной металлогенической школы и МАГАТЭ. Даны примеры месторождений ведущих геолого-промышленных типов. Рекомендованы направления дальнейших исследований.

Ключевые слова: торий, металлогения, месторождения, рудные формации, районирование.

YU. B. MIRONOV, A. M. KARPUNIN, V. Z. FUKS (VSEGEI)

Thorium metallogeny in the Russian Federation

Information is given on the possibility of using thorium in domestic nuclear power industry that makes the problem of identifying and studying thorium deposits urgent. Features of thorium geochemistry and mineralogy, the genesis and formation epochs of thorium-oriented geological rock associations, as well as the petrological composition and geology of a number of important thorium-bearing targets with complex ores are discussed. Their classification based on studying ore formations of the domestic metallogenic school and the IAEA is proposed. Examples of ore deposits of major geological and economic types are given. Lines for further studies are recommended.

Keywords: thorium, metallogeny, mineral deposits, ore formations, zoning.

Для цитирования: Миронов Ю. Б., Карпунин А. М., Фукс В. З. Металлогения тория Российской Федерации // Региональная геология и металлогения. – 2020. – № 84. – С. 106–116.

В 1930-х годах в геологической науке возникло новое направление – радиогеология. Значительный вклад в ее становление внес выдающийся отечественный ученый В. И. Вернадский [3]. Его последователи Дж. Джоли, Р. Стретт, А. Холмс, А. Е. Ферсман, В. Г. Хлопин, А. Н. Тихонов, А. А. Смыслов [11] и многие другие в дальнейшем успешно развивали новую науку, тем самым заложив тесную связь между геологией и ядерной физикой. Существенное значение также приобрели радиогеохимия и металлогения урана и тория, практическое использование которых открыло неисчерпаемые запасы источников энергии. Изучение закономерностей миграции радиоактивных элементов в горных породах земной коры и условий образования их промышленных концентраций занимают сегодня ведущую роль в общем комплексе геологоразведочных работ, связанных с прогнозированием, поисками и разведкой месторождений радиоактивного сырья.

Современная мировая ядерная индустрия в военном и энергетическом секторах базируется на уран-плутониевом цикле, в котором уран играет доминирующую роль [2]. В последние годы в качестве альтернативы сложившейся ситуации рассматривается вовлечение в ядерный цикл тория, являющегося реальным сырьевым ресурсом атомной энергетики будущего [9; 10].

Очевидны преимущества ториевой энергетики перед урановой. При замене урановых элементов на ториевые на АЭС можно достичь двукратного увеличения энергии, получаемой со стандартного объема активной зоны реактора. В ториевом реакторе нарабатывается не плутоний 239, а изотоп урана 233, который, благодаря предлагаемой технологии тепловыделяющих элементов, обеспечивает высокое выгорание ядерного топлива. Это снижает риск загрязнения окружающей среды. Снимается проблема накопления плутония, а следовательно, и его распространения в виде оружия. Еще один важный аргумент в пользу ториевой энергетики – реактор может работать без перезагрузки топлива 30–50 лет [5].

Рассчитывать на успешное внедрение тория в ядерный топливный цикл в нашей стране можно уже в обозримой перспективе [10]. В случае использования тория в ядерной энергетике мировые потребности в нем резко возрастут, что в итоге вызовет необходимость как освоения уже известных ториевых месторождений, так и выявления новых.

Данное обстоятельство дает основание вернуться к приостановленной в свое время проблеме поисков и научного прогноза месторождений тория в нашей стране, начало которым было положено в 1950–1980-е годы работами отдела

специальной металлогении ВСЕГЕИ при участии ряда родственных организаций – ВИМС, ВНИИХТ и др. [6].

История проблемы. В 1946–1951 гг. в рамках атомного проекта специальные на торий поисковые работы были ориентированы на выявление монацитовых четвертичных россыпей. В 1946 г. в составе Минцвета СССР было организовано Второе главное управление с задачей «руководства предприятиями по добыче ториевых руд, получения окиси и металлического тория» [6], и уже в 1949 г. на месторождениях монацитовых песков в Алданском районе начались работы. В 1972 г. на Химико-металлургическом заводе (Красноярск) создан участок по получению металлического тория, а в 1985 г. освоен новый вид продукции – нитрат тория – современное сырье для получения ториевого ядерного топлива. После завершения этих работ специальных поисков на торий не проводилось [5]. Вместе с тем попутные поиски тория как возможного сырьевого резерва ядерной энергетики не прекращались.

В 1982 г. Всесоюзное геологоразведочное объединение «Союзгеологоразведка» подготовило и разослало подведомственным экспедициям Первого главного геологоразведочного управления письмо с предписанием провести работу по учету известных объектов тория. К письму прилагались «Рекомендации по учету объектов ториевой минерализации». Масштабы ториевых проявлений классифицировались следующим образом: для комплексного оруденения – по запасам основного компонента (урана, тория, редких металлов и т. д.); для собственно ториевого оруденения – к месторождениям отнесены объекты с запасами тория свыше 500 т, к рудопроявлениям – объекты, имеющие рудное пересечение с содержанием тория 0,05 % и метропроценте 0,035. Остальные ториевые объекты характеризуются как проявления минерализации. Учету подлежали все торийсодержащие проявления, в рудах которых тория более 0,01 % в качестве попутного компонента и где он основной полезный компонент; минимальные содержания принимались аналогичными для месторождений урана – 0,05 %.

Специализированные работы по металлогении тория проводились во ВСЕГЕИ под руководством А. А. Смыслова [6]. В результате был подготовлен рациональный комплекс минералого-геохимических методов изучения пространственно-временных закономерностей и форм нахождения урана и тория в различных геологических образованиях, а также разработаны принципы и методика создания радиогеохимических карт разного масштаба и назначения. Были сформулированы положения о латеральной и вертикальной радиохимической зональности литосферы, соотношении тепловых потоков и радиогенного тепла в платформенных и складчато-надвиговых областях. Основные итоги работ освещены в монографиях [6; 11].

Торий является литофильным элементом, встречающимся в виде кислородных соединений (окислов, гидроокислов, кислородных солей и силикатов) с преобладающим ионным типом связи, и концентрируется преимущественно в верхних слоях литосферы (гранитно-метаморфический слой) [4]. В силу близости кристаллохимических свойств тория и урана предполагают идентичность их поведения в эндогенных петрогенетических процессах. Однако выявляются некоторые особенности поведения тория в различных процессах петро- и рудогенеза эндогенного и экзогенного типов. Принято считать, что эндогенное рудообразование тесно связано с производными кислого и щелочного магматизма и сопряженными с этим гидротермально-метасоматическими и гидротермальными образованиями. При процессах кислого магматизма формируются ультраметаморфогенные и ортомагматические гранитоиды. В первом случае происходит перераспределение тория совместно с ураном и редкими землями, изменение форм его нахождения и концентрация в аксессуарных минералах. В гнейсах торий рассеян по породообразующим темноцветным минералам, изоморфно входя в решетки биотита, амфибола, полевых шпатов и других минералов. В развивающихся по этим гнейсам ультраметаморфогенных гранитоидах торий входит в состав различных минеральных фаз – ортита, монацита, циркона и других минералов. По содержанию радиоактивных элементов и условиям формирования гранитоидных интрузий, составу исходных магм и прочих физико-химических факторов ортомагматические гранитоиды разделяют на три типа: ураноносные (обычно лейкократ-гранитовая формация), торий-урановые и ториевые [6].

Эндогенные накопления тория промышленного уровня связаны со щелочными формациями натриевого ряда. Ориентируясь на предполагаемую глубину зарождения исходных расплавов, условия формирования интрузий и вещественный состав слагающих их комплексов щелочные формации относят к разряду мантийных или мантийно-коровых образований. Установлено, что щелочные магматические породы содержат повышенные количества редкометалльных (тантал, ниобий, цирконий, бериллий), редкоземельных (церий, лантан, иттрий) и радиоактивных элементов, что является важнейшими геохимической и металлогенической особенностями рассматриваемой группы пород [11].

При процессах образования карбонатитов происходит интенсивное метасоматическое преобразование вмещающих пород под воздействием газовой-жидкой эманации (H_2O , CO_2 , F, R и др.). В итоге возникают специфические метасоматические породы типа камафоритов. Устанавливается прямая зависимость между содержанием тория и агаидностью пород. Наиболее высокие содержания тория отмечаются в агаидных нефелиновых сиенитах Ловозерского типа [1]. Можно отметить еще некоторую специфику геохимии

тория в эндогенных породах. Так, выявляется зависимость содержания тория от геологического возраста пород: в молодых магматических породах его содержание обычно более высокое, чем в однопитных петрохимических разностях пород, более ранних по возрасту.

При экзогенных процессах в ходе механического разрушения специализированных на торий горных пород и мобилизации осадочного терригенного материала, обогащенного рудными устойчивыми к химическому выветриванию минералами, происходит формирование россыпных месторождений тория, циркония, редких земель и тантало-ниобатов. Это, как правило, наблюдается в относительной близости от источников сноса, которыми являются в подобных случаях гранитные интрузии, орто-, парагнейсы и другие породы, содержащие в повышенных количествах торий-редкометалльно-редкоземельные минералы. Примером служат современные континентальные монацит-циркон-ильменитовые россыпи Приазовья и лопаритовые россыпи в южной части Кольского полуострова. В первом случае функцию материнских пород выполняли монацитоносные гранитоиды Украинского кристаллического массива, во втором — агапитовые нефелиновые сиениты ловозерского комплекса. Геохимический спектр элементов при экзогенных процессах лимитируется химическим составом устойчивых к выветриванию рудных минералов [6].

Для тория, как и для урана, выделяют геохимические и металлогенические эпохи проявления и накопления. В число первых входят: эпоха пангранитизации в раннем протерозое, когда в итоге гранитизации гнейсов формировались огромные массы высокоториевых гранитов (за счет образования акцессорных торийсодержащих, в меньшей степени собственно ториевых минералов). Средне-позднепротерозойская активизация стимулировала возникновение рудных формаций тория — торий-редкометалльно-урановой в калиевых метасоматитах, щелочных и лейкократовых гранитах, пегматоидах и пегматитах, а также торий-урановой и золото-редкоземельно-ториевой в конгломератах, гравелитах, песчаниках и кварцитах. В фанерозое заметной геохимической эпохой явилось время формирования в земной коре щелочных и субщелочных пород — позднепалеозойско-раннемезозойская (пермь — триас) глобальная эпоха.

Металлогенические эпохи. Для тория намечаются четыре металлогенические эпохи — позднепротерозойская, среднепалеозойская, позднепалеозойско-раннемезозойская и неоген-четвертичная. Именно в этот период сформировались главные специализированные на торий геологические формации.

По спектру разнообразия ториевых концентраций в фанерозое и суммарным характеристикам масштабов проявления ториевого оруденения позднепалеозойско-раннемезозойская эпоха является и ведущей металлогенической. Второй

по значимости — среднепалеозойская, далее — неоген-четвертичная эпохи. В фанерозое проявлен широкий спектр рудных формаций тория, при этом отмечены определенные временные закономерности [6].

Позднепалеозойско-мезозойская эпоха характеризуется преимущественным распространением эндогенных рудных формаций, последовательность развития которых отражает общую эволюцию земной коры в этот период. Намечается тенденция возрастания роли более низкотемпературных и генетически удаленных от материнской магматической формации рудных ториевых объектов. Распространенное ранее развитие высокотемпературных щелочных (преимущественно калиевых) метасоматических рудных формаций, генерированных преобладающими рудоформирующими процессами (магматизм, метаморфизм, метасоматоз), сменяется более низкотемпературными (уже преимущественно натриевыми) метасоматитами и гидротермалитами.

Со среднепалеозойской эпохой связана значительная часть ториеносных карбонатитов. В последующую эпоху сформированы кварц-полевошпатовые метасоматиты натриевой линии (альбититы) плутоногенного генезиса, лопаритоносные магматические породы, поздние карбонатиты и их коры выветривания, гидротермалиты. Экзогенные, главным образом россыпные, накопления тория проявились в мезозое (отчасти) и кайнозое (наибольшее развитие). Ториеносные россыпи характерны и для четвертичного (вплоть до современного) осадконакопления [11].

Рудные формации. Находясь в неразрывной связи со структурно-формационными комплексами как во времени, так и в пространстве, рудные формации служат одним из основных критериев при металлогеническом районировании и прогнозе. Использование на практике классификации различных месторождений радиоактивных руд на формационной основе является главным принципом металлогенического районирования территорий. Подобный подход применим и для тория. В СССР прикладное значение получила классификация ториевых объектов И. В. Чиркова [14], рекомендованная в 1982 г. Первым главком Министерства геологии СССР производственным экспедициям при поисках и учете торийсодержащих объектов. Всего на территории СССР было установлено более десяти ториеворудных и ториеносных формаций. Указанная классификация сыграла положительную роль при типизации и оценке торийсодержащих объектов в разнообразных геолого-структурных обстановках.

В 1982 г. в отделении специальной металлогении ВСЕГЕИ совместно с другими организациями составлена первая металлогеническая на торий карта территории СССР м-ба 1 : 10 000 000 с объяснительной запиской к ней [6]. В основу работы были положены результаты ранее проводившихся исследований по изучению ториеносности территории СССР, а также данные, полученные в ходе

Классификация месторождений тория

Номер формации	Знак	Рудная формация	Месторождения и их номера на схеме
1		Торий-редкометалльная в агапитовых сиенитах и зонах метасоматоза	2 – Вавнбед, 3 – Ловозерское
2		Редкометалльно-ториевая в щелочных метасоматитах и флюорит-баритовых жилах	Рудопроявления в Северном Прибайкалье
3		Торий-цирконий-фосфорная в эйситах и карбонат-апатитовых жилах	Рудопроявления в Алтае-Саянской и Байкальской минерагенических провинциях
4		Торий-урановая в щелочных метасоматитах и кварц-флюорит-баритовых жилах	15 – Торгойское
5		Редкоземельно-ториевая ураноносная в альбититах и эгирин-амфиболовых метасоматитах	6 – Вишневогорское, 7 – Сибирка, 11 – Улуг-Танзек, 12 – Арысканское, 16 – Катугинское, 19 – Бугундья
6		Ториевая редкоземельно-редкометалльная с ураном в поликомпонентных метасоматитах	Рудопроявления в Северной Карелии и на Алданском щите
7		Торий-редкометалльно-урановая в калиевых метасоматитах, щелочных и лейкократовых гранитах, пегматитах	14 – Ермаковское, рудопроявления на Алданском щите
8		Редкоземельно-редкометалльно-фосфорно-ториевая в карбонатах	1 – Ковдор, 4 – Африканда, 9 – Мало-Растайское, 10 – Кийское, 17 – Селигдар, 18 – Ингилийское
9		Золото-редкоземельно-ториевая и урановая в метаморфизованных протерозойских конгломератах, гравелитах, песчаниках и кварцитах	Рудопроявления на Алдане, Урале, Енисейском кряже
10		Редкоземельно-ториевая в корях выветривания карбонатитов и специализированных на торий породах	10 – Кийское, 13 – Томтор, рудопроявления на Кольском и в других регионах
11		Торий-редкоземельно-цирконий-титановая погребенных прибрежно-морских и дельтовых россыпей	8 – Туганское
12		Редкоземельно-редкометалльно-ториевая континентальных современных россыпей	Рудопроявления в обрамлении массивов разрушавшихся торийсодержащих пород
13		Ториеносная в лигнитах и углях	Рудопроявления в чехлах платформ
14		Ториеносная в фосфатах	Рудопроявления в чехлах платформ
15		Неясной формационной принадлежности	5 – Салдинское

Формации: 1–8 – эндогенные (1–4 – щелочного и 5–7 – кислого магматизма, 8 – карбонатиты); 9 – полигенные (метаморфогенные); 10–14 – экзогенные (10 – остаточные, в корях выветривания, 11–14 – осадочные (россыпи: 11 – погребенные, 12 – современные, 13 – углеродисто-осадочные, 14 – фосфорно-осадочные); 15 – неясной формационной принадлежности.

оценки специальной изученности территории на уран и торий. На основе проведенных исследований была дана характеристика установленных закономерностей размещения ториевого оруденения на обширной территории СССР. Классификация, ранжирование и выделение металлогенических подразделений проводились по методике и на принципах, разработанных на тот период во ВСЕГЕИ. При этом учитывались результаты проведенного ранее структурно-формационного

и тектонического районирования, а также приняты во внимание вещественные и структурные критерии ториеносности территории. обстоятельно рассмотрены специализированные на торий формации различных геоструктур страны (платформы, щиты и срединные массивы, складчатые области, зоны тектонической и тектономагматической активизации) [6].

По результатам анализа накопленной информации авторами представлена на формационной



Рис. 1. Схема минерагенических провинций России

1–7 – минерагенические провинции: 1 – щитов древних платформ (АСЦ – Алдано-Становая, АЩ – Анабарская, КК – Карело-Кольская), 2 – чехлов древних платформ (ВЕ – Восточно-Европейская, ВС – Восточно-Сибирская), 3 – чехлов молодых платформ (ЗС – Западно-Сибирская, СФ – Скифская, ТП – Тимано-Печёрская), 4 – коллизионные (ВК – Верхояно-Колымская, ЛС – Ляховско-Святоносская, ЛП – Лаптевоморская, КЧ – Колымо-Чукотская, ПН – Пай-Хой-Новоземельская, ТС – Таймыро-Североземельская), 5 – аккреционно-коллизионные (КО – Колымо-Омолонская, КВ – Крымско-Кавказская, УР – Уральская), 6 – аккреционно-коллизионно-активноокаинные (АС – Алтае-Саянская, БА – Байкальская, МО – Монголо-Охотская, ОК – Олюторско-Камчатская, ОЧ – Охотско-Чукотская, СА – Сихотэ-Алинская, ХБ – Ханкай-Буреинская, С – Сахалинская), 7 – островодужные (КУ – Курильская); 8, 9 – границы: 8 – минерагенических провинций, 9 – металлогенических зон, рудных узлов, районов.

Месторождения: 1 – Ковдор, 2 – Вавнбед, 3 – Ловозерское, 4 – Африканда, 5 – Салдинское, 6 – Вишневогорское, 7 – Сибирка, 8 – Туганское, 9 – Мало-Растайское, 10 – Кийское, 11 – Улуг-Танзек, 12 – Арысканское, 13 – Томтор, 14 – Ермаковское, 15 – Торгойское, 16 – Катугинское, 17 – Селигдар, 18 – Ингилийское, 19 – Бугундя.

Металлогенические зоны (МЗ), рудные узлы (РУ) и районы (РР): I – Ковдору-Ловозерская МЗ, II – Катугинский РУ, III – Верхненимныйский РР, IV – Псел-Чёрнокалитвенская МЗ, V – Уджинская МЗ, VI – Чадобецкий РУ, VII – Маймеча-Котуйская МЗ, VIII – Среднетиманский РР, IX – Четласский ПРУ, X – Туганский РР, XI – Верхнетурско-Новооренбургская МЗ, XII – Центрально-Енисейская МЗ, XIII – Сангиленская МЗ.

Рудопроявления и проявления минерализации тория из-за масштаба схемы не отображены, что объясняет отсутствие на схеме значков формаций 2, 3, 6, 9, 13, 14 (см. табл. 1)

основе актуализированная классификация торий-содержащих рудных объектов, включающая месторождения и рудопроявления разных формационных типов (табл. 1).

Отметим, что характеристика геоструктур страны исследователями прежних лет приводилась исходя из фиксированного подхода, тогда как их современная интерпретация предполагает мобилистскую концепцию – это обстоятельство затрудняло синтез разных подходов применительно к металлогении тория и в целях объективности обязало авторов сохранять название структур по используемым первоисточникам [6; 7].

Металлогеническое районирование. Размещение комплексных торийносных месторождений России приведено на Схеме минерагенических провинций России (рис. 1) с учетом актуализации

предыдущих схем районирования торийносных объектов [7; 8]. В качестве металлотектов в соответствии с современными представлениями ВСЕГЕИ, реализованными при составлении Прогнозно-минерагенической карты территории Российской Федерации и ее континентального шельфа м-ба 1 : 2 500 000 (2019 г.), выделены минерагенические зоны, рудные узлы и районы с объектами, представляющими интерес в отношении торийносности.

По причине масштабного ограничения на схеме показаны только типовые месторождения-представители торийсодержащих формаций.

Щиты древних платформ. В пределах Карело-Кольской минерагенической провинции (МП) выделяются: *Ковдору-Ловозерская минерагеническая зона (МЗ) (I)*, включающая Ловозерский, Хибинский, Ковдорский

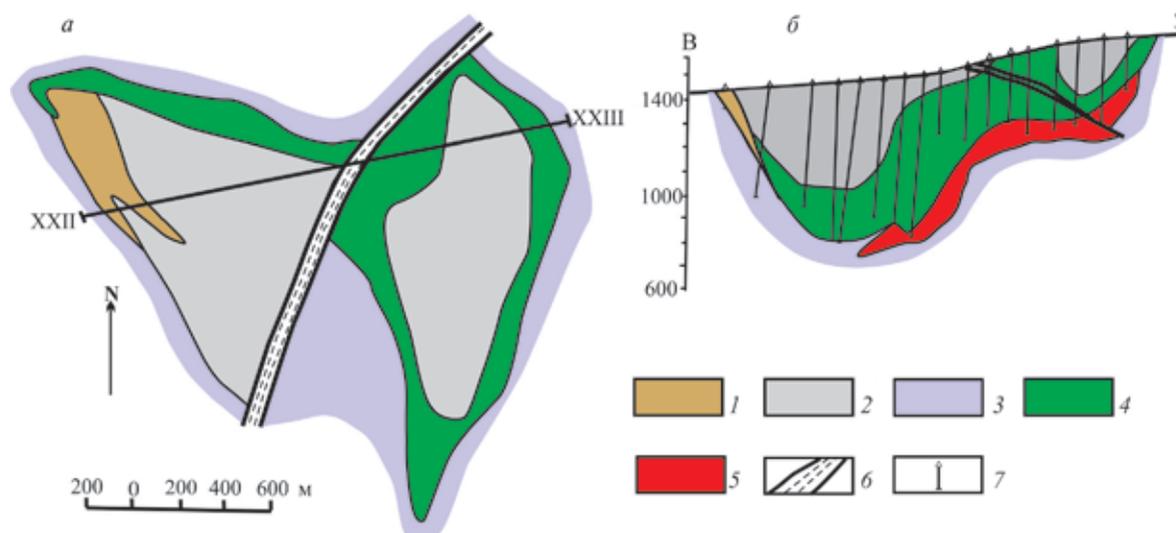


Рис. 2. Геологическое строение (а – план и б – разрез) Катугинского месторождения (по Ю. В. Быкову и др., 1987)
 1, 2 – метасоматиты (1 – биотитовые, 2 – амфиболовые); 3 – кристаллические сланцы; 4 – богатые тантало-ниобиевые руды; 5 – богатые ториево-иттриево-редкоземельные руды; 6 – разрывы, сопровождающиеся мощными зонами катаклаза; 7 – скважины

и Африкандовский рудные узлы (РУ) с месторождениями комплексных руд с торием – Ловозерское (3) и Вавнбед (2) торий-редкометалльной в агпайтовых сиенитах и зонах метасоматоза формации, Ковдор (1) и Африканда (4) редкоземельно-редкометалльно-фосфорно-ториевой в карбонатитах формации (далее – рудная формация) (см. легенду к рис. 1). В Алдано-Становой МП – Катугинский РУ (II) с одноименным месторождением редкоземельно-ториевой ураносной в альбититах и эгирин-амфиболовых метасоматитах рудной формации (рис. 2), Верхненимырский РР (III) с месторождением Селигдар рудной формации, а также месторождения Ингилийское (18), Бугундя (19), аналогичные рудным формациям, и Торгойское (15) – торий-урановой в щелочных метасоматитах и кварц-флюорит-баритовых жилах рудной формации.

Анабарский щит является единственным в мире, в пределах которого к настоящему времени не выявлено месторождений полезных ископаемых, хотя его потенциал на спектр полезных ископаемых у большинства геологов сомнений не вызывает. По всей вероятности, это обусловлено недостаточной его прогнозно-минерагенической, поисковой изученностью и отсутствием проведенных региональных работ по ГДП-200/2 в пределах листов, обладающих высокой поисковой перспективностью [7]. В Анабарской МП с позиций ториеносности интерес представляют Билляхская, Салтахская, Ламуйская, Ченгелен-Харапская, Котуйкан-Монголинская потенциально металлогенические зоны (ПМЗ) и Биригиндино-Мюнусахский и Монголинский потенциально рудные узлы (ПРУ) с ториевой редкоземельно-редкометалльной с ураном в поликомпонентных метасоматитах формацией, а также Мальджангарский ПРУ с той же рудной формацией.

Чехлы древних платформ. В пределах Восточно-Европейской МП месторождений тория не выявлено. Повышенные содержания тория (до 0,7 %) зафиксированы в бокситоносных формациях, в частности в бокситах Висловского и Яковлевского месторождений в центральной части платформы за счет присутствия циркона, монацита и торита.

Псёл-Чёрнокалитвенская МЗ (IV) отвечает ареалу развития титан-циркониевых россыпей в позднеолигоценово-раннемиоценовых прибрежно-морских отложениях полтавского надгоризонта мощностью от 8–10 до 45 м. Продуктивный горизонт тонко-мелкозернистых светло-желтовато-серых кварцевых песков мощностью от 1 до 15 м приурочен к верхнеберекской подсвите полтавского надгоризонта. Содержание в рудном пласте тяжелой фракции изменяется от 0,05 до 1,87 % (иногда до 5 %). Мощность рудных пластов от 2 до 9 м, а минералы тяжелой фракции в них составляют (кг/м³): ильменит 7,88–10,13, рутил 4,12–6,28, лейкоксен 2,01–3,17, циркон 3,32–6,16, сумма ставролита и турмалина 1,6–4,39, сумма дистена и силлиманита 1,7–2. Наиболее практически значимые россыпи выявлены в Обоянском ПРР. Рудоносные пески слагают здесь водоразделы рек Псёл, Ворскла, Пена, Северный Донец и размывы на наиболее высоких участках. Минерагеническая зона включает еще ряд потенциально рудных узлов – Бутовский, Высоконовский, Борисовский и Истобнянский. Прогнозные ресурсы тория в ПРУ не оценивались.

На северной части Восточно-Сибирской МП к востоку от Анабарского щита в пределах Анабаро-Оленёкской антеклизы расположена Уджинская МЗ (V). Она объединяет пять рудных узлов с массивами щелочно-ультраосновных пород и карбонатитов, три из которых выделены под

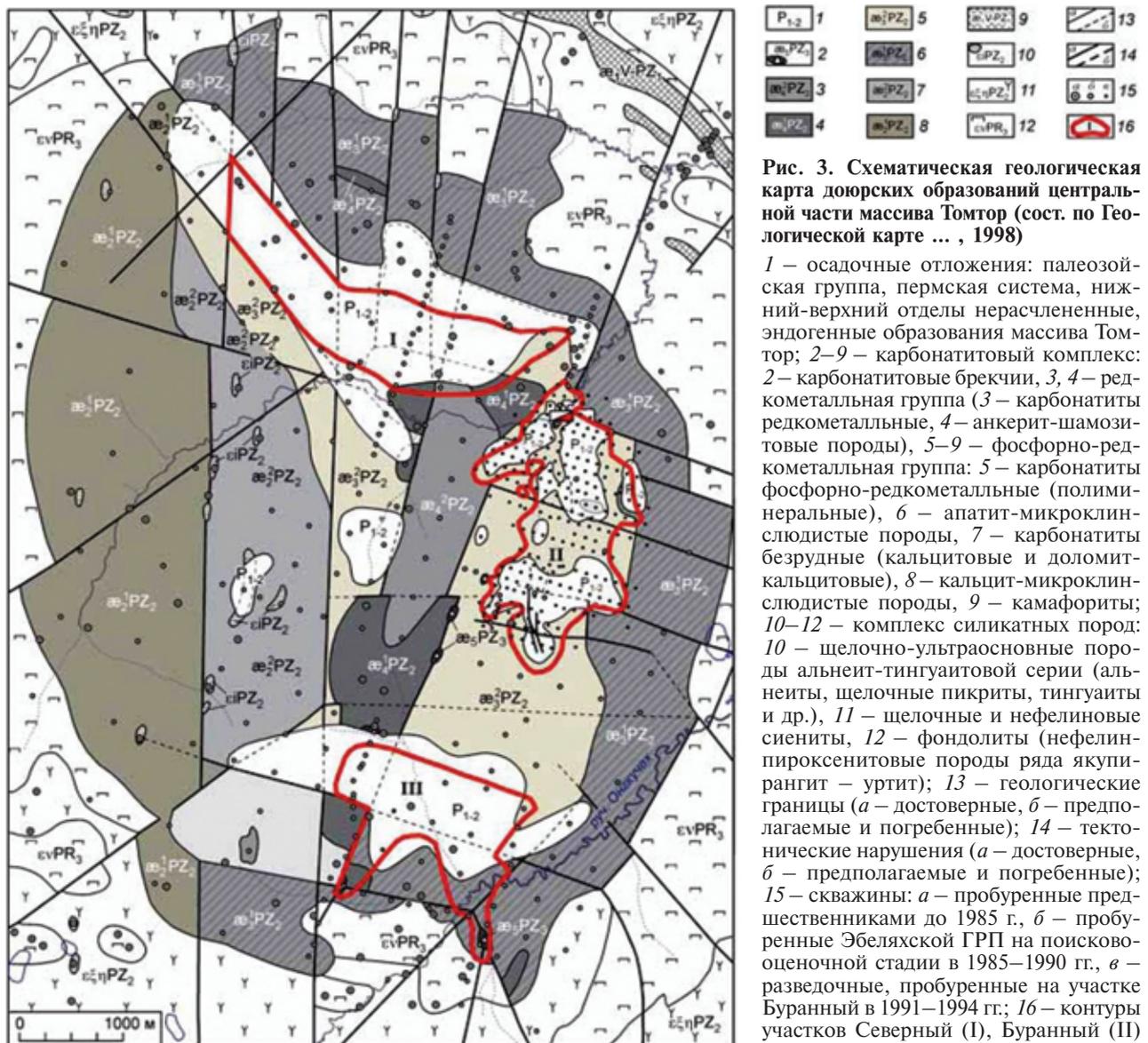


Рис. 3. Схематическая геологическая карта доюрских образований центральной части массива Томтор (сост. по Геологической карте ... , 1998)

1 – осадочные отложения: палеозойская группа, пермская система, нижний-верхний отделы нерасчлененные, эндогенные образования массива Томтор; 2–9 – карбонатитовый комплекс: 2 – карбонатитовые брекчии, 3, 4 – редкометалльная группа (3 – карбонатиты редкометалльные, 4 – анкерит-шамозитовые породы), 5–9 – фосфорно-редкометалльная группа: 5 – карбонатиты фосфорно-редкометалльные (полиминеральные), 6 – апатит-микроклин-слюдистые породы, 7 – карбонатиты безрудные (кальцитовые и доломит-кальцитовые), 8 – кальцит-микроклин-слюдистые породы, 9 – камафориты; 10–12 – комплекс силикатных пород: 10 – щелочно-ультраосновные породы альнеит-тингвайтовой серии (альнеиты, щелочные пикриты, тингуаиты и др.), 11 – щелочные и нефелиновые сиениты, 12 – фондолиты (нефелин-пироксенитовые породы ряда якупирангит – уртит); 13 – геологические границы (а – достоверные, б – предполагаемые и погребенные); 14 – тектонические нарушения (а – достоверные, б – предполагаемые и погребенные); 15 – скважины: а – пробуренные предшественниками до 1985 г., б – пробуренные Эбеляхской ГРП на поисково-оценочной стадии в 1985–1990 гг., в – разведочные, пробуренные на участке Буранный в 1991–1994 гг.; 16 – контуры участков Северный (I), Буранный (II) и Южный (III)

чехлом осадочных пород позднего палеозоя и мезозоя. В составе зоны наиболее хорошо изучены *Томторский РУ*, который вместе с другими приурочен к Уджинскому субмеридиональному поднятию, где на поверхность выходят карбонатно-вулканогенно-терригенные толщи рифея и венда. Они прорваны массивами щелочно-ультраосновных пород.

Томторский массив занимает ведущее положение по масштабам проявления карбонатитов и связанного с ними оруденения (рис. 3). Здесь установлены редкоземельно-редкометалльно-фосфорно-ториевая, магнетит-железно-рудная минерализация в карбонатитах, а также месторождения нефелинов в самом массиве. Формирование рудной минерализации происходило в интервале от позднего докембрия до ранней перми. Выделено три этапа в ее образовании: становление многофазного массива и карбонатитов (R–D), формирование мощной зональной коры выветривания (D₃–C) и переотложение коры в локальных впадинах (P₁). Содержание

полезных компонентов в перемытой коре резко возрастает (табл. 2). Такой горизонт с перемытой корой получил название рудного пласта. Из полезных ископаемых в нем присутствуют ниобий, редкие земли, торий, иттрий, скандий, ванадий, фосфор, стронций. По масштабам оруденения и концентрации элементов – это уникальный объект.

В западной части провинции выделен *Чадобецкий РУ* (VI), в котором в остаточной и перемытой корях выветривания по карбонатитам и щелочно-ультраосновным породам Чадобецкой интрузии установлены крупные месторождения ниобий-редкоземельно-торий-фосфатных руд (Чуктуконское) и бокситов (Центральное).

Кроме того, в целом по провинции намечена серия среднепалеозойских кимберлитовых полей (потенциальных рудных узлов), представляющихся перспективными на торий. К их числу относятся: *Верхне-Моторчунский, Чемидикянский, Нижнетомбинский, Салакутский, Юлэгурский, Хомпу-Майский, Ереминский, Барылайский.*

Средние содержания (г/т) тория и урана в породах и рудах массива Томтор
(по А. В. Толстову, А. П. Гунину, 2001)

Литолого-вещественные петрологические комплексы (разновидности) пород и руд	Количество проб	Th	U	Th/U
Песчано-глинистые отложения нижней юры	5	15,2	4	3,8
Угленосные терригенные образования перми, перекрывающие рудный пласт	162	221	24	14,3
Переотложенная кора выветривания каолинит-крандаллитового горизонта (рудный пласт)	888	1438	65	52,3
Сидеритовый горизонт, подстилающий рудный пласт	251	754	31	59,2
Гётитовый горизонт	42	425	5	116,8
Франколитовый горизонт	31	581	72	38,7
Плащевая (гидрослюдистая) кора выветривания	28	132,9	14,1	9,4
Эксплозивные карбонатитовые брекчии	20	640,5	13,7	46,8
Карбонатиты редкометалльные (анкеритовые)	33	738,3	6	124,3
Карбонатиты фосфорно-редкометалльные (полиминеральные)	109	106,4	7,1	15,0
Карбонатиты безрудные (кальцитовые и доломит-кальцитовые)	50	73,1	7,9	9,3
Комплекс силикатных пород (сиениты, фондолиты)	46	39	5	8,8

Другой особенностью, определяющей минерогенетический облик Восточно-Сибирской провинции, является ториеносная минерализация, связанная с щелочно-ультраосновными интрузиями и карбонатитами, которые объединены в *Маймеча-Котуйскую МЗ* (VII). В зону входят более 15 массивов, даек и силлов щелочно-ультраосновных массивов. Самый крупный — Гулинский массив площадью почти 2000 км². Возраст оруденения считается раннетриасовым, хотя становление части массивов или отдельных фаз произошло в поздней перми. Маймеча-Котуйская МЗ представляется перспективной в отношении ториеносности и кор выветривания по карбонатитам.

Чехлы молодых платформ. В пределах Тимано-Печёрской МП выделен ряд ториеносных металлотектов. В *Среднетиманском РР* (VIII) бокситоносная толща среднего девона перекрывает интенсивно дислоцированную сланцево-карбонатную толщу быстринской свиты рифея. Мощность бокситов от 5 до 30 м. Содержания тория до 0,7 % выявлены на Верхне-Щугорском и Центральном бокситовых месторождениях. В рудный район входят *Светлинско-Ворыквинский* и *Заостровско-Ямозерский РУ* с суммарными прогнозными ресурсами бокситов более 50 млн т.

Четласский ПРУ (IX) выделен по наличию редкоземельной минерализации иттриевой группы (0,18–0,24 % TR₂O₃) и ниобия (0,02–0,34 % Nb₂O₃) в кварц-полевошпатовых, гематит-полевошпатовых, альбит-эгириновых плагиоклазитовых жильных ториеносных метасоматитах в зонах нарушений, пересекающих сланцево-кварцитовые толщи рифея (рудопоявление тория Верхне-Мезенское). Рудоносные метасоматиты вскрыты скважинами на глубине около 160 м на Октябрьской, Новобобровской и Мезенской площадях. Сведения о ресурсах тория не приводятся [7].

В Западно-Сибирской металлогенетической провинции интерес представляет *Туганский РР* (X), контролируемый зоной погружения Кольванской складчатой зоны под осадочный чехол Западно-Сибирской плиты. Продуктивные россыпи залегают в мелкозернистых песках кусковской свиты люлинворского горизонта нижнего-среднего эоцена. Отрабатываемое в Туганском РУ одноименное месторождение включает пять россыпей. Площадь самой крупной из них Кусковско-Ширяевской составляет 4,2 км² [7]. В *Георгиевском РУ*, в пределах вышеуказанного рудного района, в отложениях кусковской свиты эоцена на глубине более 100 м выявлено Георгиевское месторождение, пригодное для отработки методом скважинной гидродобычи. К сожалению, ресурсы тория в перечисленных рудных узлах не оценивались.

Складчато-надвиговые области. Аккреционно-коллизонная Уральская МП включает Верхнетурско-Новооренбургскую МЗ (XI) с Вишневогорским (6) месторождением в нефелин-сиенитовых пегматитах ильменогорского комплекса P₂–T₁ в Тайгинском РУ редкометалльно-ториевой в щелочных метасоматитах и флюорит-баритовых жилах формации, а также месторождение Сибирка (7) с промышленным содержанием Nb, Ta, Zr, Th, Mo, Be. В связи с плохой обогатимостью руд обычными способами месторождение отнесено в разряд забалансовых, но при этом оно остается крупнейшим редкометалльным месторождением Урала. Месторождение сложено полевошпатовыми, фельдшпатоидно-полевошпатовыми и карбонатитовыми метасоматитами с разнообразной тонкозернистой редкометалльной минерализацией.

Аккреционно-коллизонно-активноокараинная Алтае-Саянская МП включает Центрально-Енисейскую МЗ (XII), где в субширотной

полосе протяженностью около 500 км расположены месторождения Кийское (10), Татарское и Чуктуконское рудной формации [13]. В них продуктивны – карбонаты, а вмещающие их коренные породы – преимущественно известняки и доломиты. Собственно месторождением является полоса карбонатитового штокверка протяженностью 2,5 км при средней ширине 400 м; обогащенный участок коры выветривания по карбонатитам имеет размеры 300 × 400 м. Содержания Th в рудных охрах 0,02–0,11 %, а оксидов редких земель в пробах – 20 %, составляя в среднем 5,90 % [13]. Сангиленская МЗ (XIII) включает месторождение Улуг-Танзек (11), представленное оруденелым штокообразным телом кварц-альбит-микроклиновых метасоматитов (квальмитов), развивающихся по щелочным гранитоидам. Залегает оно среди мраморов балыктыгхемской свиты и имеет в плане клиновидную форму протяженностью по длинной субширотной оси 1,5 км при ширине от 0,9 на востоке до 0,1 км на западе. Площадь массива – 0,9 км². Границы рудного тела довольно четкие и полностью соответствуют контурам массива. Сложен Улуг-Танзекский массив мелко-среднезернистыми породами кварц-альбит-микроклинового состава с переменным соотношением главных породообразующих минералов. Выделены две основные разновидности пород: рибекитсодержащие и полислюдистые, которые различаются по содержанию Ta и Nb, их соотношению и основным минералам-концентраторам полезных компонентов. Кроме Ta и Nb в рудах присутствуют Th, U, Zr, Li, TR, Hf, образующие редкоземельно-ториевую ураноносную в альбититах и эгирин-амфиболовых метасоматитах формацию. Ведущим типом редкометалльных руд являются полислюдистые разновидности, на долю которых приходится около двух третей запасов Ta и Nb.

В этой же минерагенической провинции расположено и Арысканское (12) месторождение аналогичной рудной формации. Редкоземельно-ториевая, Ta-Nb и Zr минерализация здесь связана с альбитизацией, преобразовавшей сиениты

и гнейсы в квальмиты. Уникальна наиболее крупная альбит-малакон-рибекитовая жила, протяженностью 170 м при средней мощности 0,45 м. Состав руд на месторождении с глубиной меняется: если на поверхности преобладает фергусонит, то на глубоких горизонтах он сменяется пироксеном. Для руд характерно резкое преобладание иттриевых земель над цериевыми, что делает рудный объект экономически особенно привлекательным.

В Монголо-Охотской МП повышенные проявления тория отмечены на Ермаковском (14) комплексном бериллиевом месторождении (формация редкоземельно-ториевая ураноносная в альбититах и эгирин-амфиболовых метасоматитах). В рудах содержится до десятых долей процента иттрия, иттербия, гафния. Торий связан с торитом, цирконом, ксенотимом. Месторождение на 47 % запасов отработано карьером. В настоящее время оно законсервировано.

Из приведенного перечня типовых (эталонных) месторождений и потенциально ториеворудных и ториеносных формаций наиболее перспективными среди эндогенных объектов представляются: редкоземельно-редкометалльно-фосфорно-ториевая в карбонатитах формация, а также в их корах выветривания, торий-урановая в щелочных метасоматитах и кварц-флюорит-баритовых жилах, редкоземельно-ториевая ураноносная в альбититах и эгирин-амфиболовых метасоматитах, а среди экзогенных – торий-редкоземельно-цирконий-титановая в погребенных прибрежно-морских и дельтовых россыпях, что определяется качеством руд, масштабом оруденения и распространенностью той или иной формации. Попутное получение тория рентабельно при отработке месторождений торий-редкометалльной в агапитовых сиенитах и зонах метасоматоза и торий-цирконий-фосфорной в эйситах и карбонат-апатитовых жилах формаций.

Запасы и ресурсы. Существующие в мировой практике категории запасов для твердых полезных ископаемых к торию не применялись и при оценке ториеносности ограничивались, как правило,

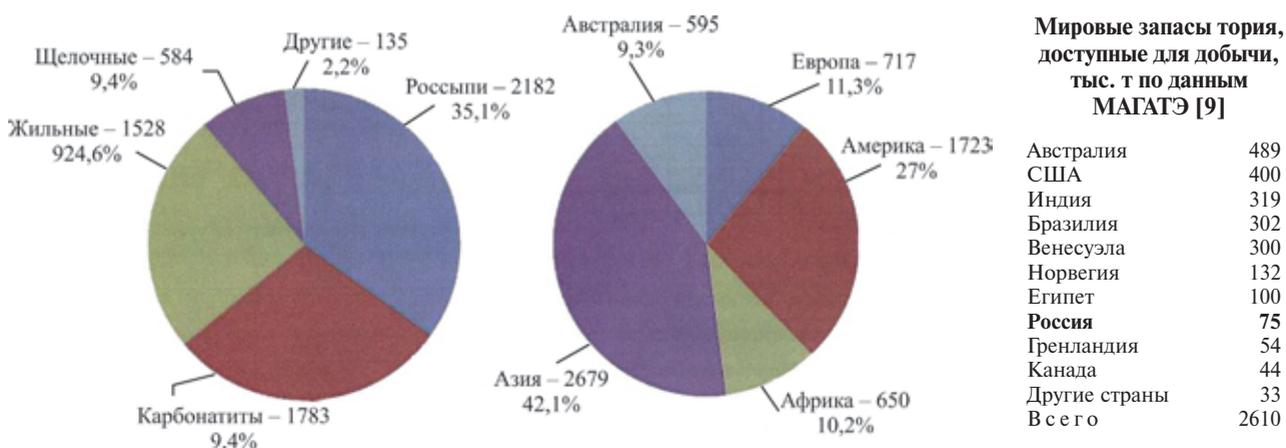


Рис. 4. Основные промышленные типы месторождений тория [12]

лишь прогнозными ресурсами. Промышленный баланс ресурсов обеспечивают четыре типа охарактеризованных выше месторождений, в первую очередь карбонатиты и россыпи (рис. 4). Характеризуя распределение ресурсов тория по континентам, Г. А. Машковцев и др. [12] полагают, что этих ресурсов вполне достаточно для обеспечения будущего развития любых вариантов использования тория в энергетических реакторах. По данным МАГАТЭ, прогнозные ресурсы тория России составляют 75 000 т [14; 15].

Предыдущими исследованиями на территории России выявлено и учтено около полутора тысяч торийсодержащих комплексных редкометалльных месторождений и рудопроявлений, запасы и ресурсы оценены на 211 объектах, в числе которых 113 четвертичных монацитовых россыпей и 61 эндогенное торий-редкометалльное месторождение и рудопроявление, при этом преобладают (86,7 %) ресурсы в эндогенных комплексных, как правило, полиметаллических и значительных по масштабам месторождениях [5].

Выводы. Выполненные исследования показали все более отчетливо проявляющуюся тенденцию в ядерной энергетике во многих странах к использованию тория в качестве ядерного топлива на АЭС, что, соответственно, вызывает необходимость оценки и укрепления сырьевой базы тория. Об этом свидетельствует все более расширяющийся круг отечественных и зарубежных публикаций на эту тему [15]. По запасам тория, доступным для добычи, Россия занимает восьмое место в мире, что неприемлемо в случае реализации проекта по использованию тория в отечественной ядерной энергетике. В целях стратегических интересов страны уже в ближайшем будущем неизбежно возобновление работ по переоценке запасов и прогнозных ресурсов и пополнению запасов тория известных и новых геолого-промышленных типов с комплексными рудами.

Для этих целей актуализирована классификация торийносных объектов на формационной основе с учетом отечественных и зарубежных (МАГАТЭ) схем типизации месторождений тория, рассмотрены особенности геохимии и минералогии тория, генезис и металлогенические эпохи формирования специализированных на торий геологических формаций, даны примеры отдельных месторождений ведущих геолого-промышленных типов. Как следствие, на базе современных представлений металлогенической школы ВСЕГЕИ проведено металлогеническое районирование территории РФ на торий с выделением перспективных структур, металлогенических зон и рудных районов.

Учитывая, что скопления тория, обладающего природной радиоактивностью, на многих месторождениях сопровождаются дефицитными редкими и редкоземельными металлами, возобновление поисков и добычи подобных комплексных руд экономически весьма рентабельно.

Рекомендуется при проведении государственного геологического картирования различного масштаба использовать апробированный комплекс радиометрических методов и ввести торий в отдельный перечень учитываемых полезных ископаемых.

1. Баюшкин И. М., Трофимов Н. С. Геохимия и минералогия урана и тория. — М.: ВИМС, 2016. — 260 с. (Минеральное сырье; № 32).
2. Бекман И. Н. Уран. — М.: Изд-во МГУ, 2009. — 300 с.
3. Вернадский В. И. Очерки геохимии. — М.: Изд-во АН СССР, 1954. — 696 с. (Избранные сочинения. В 5-ти томах. Т. 1).
4. Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений / А. А. Бродский, Г. А. Голева, С. Р. Крайнов и др. — М.: Недра, 1965. — 227 с.
5. Котова В. М., Скороваров Д. И. Месторождения тория СНГ и их перспективность (генетические типы месторождений) // Доклады совещания технического комитета МАГАТЭ. — Киев, 1995. — С. 87–91.
6. Металлогения урана и тория СССР / ред. А. А. Смыслов, В. М. Терентьев, М. В. Шумилин. — М.; Л., 1988. — 252 с.
7. Минерально-сырьевой потенциал недр Российской Федерации: в 2 т. Т. 1: Прогнозно-металлогенический анализ. — СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2009. — 224 с.
8. Миронов Ю. Б., Карпунин А. М. Металлогения тория российской части Центрально-Азиатского подвижного пояса // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту): Материалы совещания. Вып. 17. — Иркутск: ИЗК СО РАН, 2019. — С. 178–180.
9. Пельмский Г. А. Торий — перспективный сырьевой ресурс атомной энергетики / Г. А. Пельмский, В. М. Котова, П. А. Чехович, И. М. Капитонов // Рациональное освоение недр. — 2012. — № 1. — С. 30–45.
10. Семченков Ю. Ториевый ренессанс в ядерной энергетике? / Ю. Семченков, В. Сидоренко, С. Субботин, П. Алексеев // ОАО «Концерн Росэнергоатом». — 2014. — № 11. — С. 14–17.
11. Смыслов А. А. Уран и торий в земной коре. — Л.: Недра, 1974. — 231 с.
12. Урановорудный потенциал России. 2015–2035 / Г. А. Машковцев, А. К. Мигута, А. В. Тарханов, В. Н. Щеточкин. — М.: ВИМС, 2017. — 118 с. (Минеральное сырье; № 33).
13. Цыкин Р. А. Редкометалльные и редкоземельные охры карбонатитовых месторождений Нижнего Приангарья // Известия Сибирского отделения секции наук о Земле РАЕН. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. — 2013. — № 1 (42). — С. 96–102.
14. Чирков И. В. Торийносные рудные формации СССР // Материалы по геологии урановых месторождений. — 1975. — Вып. 40. — С. 4–30.
15. International Symposium on Uranium Raw Material for the Nuclear Fuel Cycle: Exploration, Mining, Production, Supply and Demand, Economics and Environmental Issues (25–29 June 2018). — Vienna, International Atomic Energy Agency, 2018. — 541 p.

1. Bayushkin I. M., Trofimov N. S. Geochemistry and mineralogy of uranium and thorium. Moscow, Vserossiyskiy nauchno-issledovatel'skiy institut mineral'nogo syr'ya im. N. M. Fedorovskogo, 2016, 260 p.

2. Bekman I. N. Uran [Uranus]. Moscow, Moskovskiy gosudarstvennyy universitet im. M. V. Lomonosova, 2009, 300 p.
3. Vernadskiy V. I. Ocherki geohimii [Essays on geochemistry]. Moscow, Izdatel'stvo Akademii nauk SSSR, 1954, 696 p.
4. Brodskiy A. A., Goleva G. A., Kraynov S. R. et al. Instrukciya po geohimicheskim metodam poiskov rudnykh mestorozhdeniy [Instruction on geochemical methods of prospecting for ore deposits]. Moscow, Nedra, 1965, 184 p.
5. Kotova V. M., Skorovarov D. I. Mestorozhdeniya toriya SNG i ikh perspektivnost' (geneticheskie tipy mestorozhdeniy) [Thorium deposits of the CIS and their prospects (genetic types of deposits)]. *Doklady soveshchaniya tekhnicheskogo komiteta Mezhdunarodnogo agentstva po atomnoy energii*. Kiev, 1995, pp. 87–91. (In Russian).
6. Smyslov A. A., Terent'ev V. M., Shumilin M. V. (eds.). Metallogeniya urana i toriya SSSR [Metallogeny of uranium and thorium in the USSR]. Moscow, Leningrad, 1988, 252 p.
7. Mineral'no-syr'evoy potencial nedr Rossiyskoy Federacii: v 2 tomakh. T. 1: Prognoznno-metallogenicheskiy analiz [Mineral resources potential of the subsoil of the Russian Federation: in 2 volumes. Vol. 1: Predictive metallogenic analysis]. Science editor O. V. Petrov. St. Petersburg, A. P. Karpinsky Russian Geological Research Institute, 2009, 224 p.
8. Mironov Yu. B., Karpunin A. M. Metallogeniya toriya rossiyskoy chasti Tsentral'no-Aziatskogo podvizhnogo poyasa [Thorium metallogeny in the Russian part of the Central Asian mobile belt]. *Geodinamicheskaya evolyutsiya litosfery Tsentral'no-Aziatskogo podvizhnogo poyasa (ot okeana k kontinentu): Materialy soveshchaniya. Iss. 17*. Irkutsk, Institut zemnoy kory Sibirskogo otdeleniya Rossiyskoy Akademii Nauk, pp. 178–180. (In Russian).
9. Pelymskiy G. A., Kotova V. M., Chekhovich P. A., Kapitonov I. M. Thorium – a promising fuel resource for the nuclear power sector. *Ratsionalnoe Osvoenie Nedr*, 2012, no. 1, pp. 30–45. (In Russian).
10. Semchenkov Yu., Sidorenko V., Subbotin S., Alekseev P. Torievyy renessans v yadernoy energetike? [Thorium Renaissance in Nuclear Power?]. *Otkrytoe Aktsionernoe Obshchestvo «Kontsern Rosenergoatom»*, 2014, no. 11, pp. 14–17. (In Russian).
11. Smyslov A. A. Uran i toriy v zemnoy kore [Uranium and thorium in the earth's crust]. Leningrad, Nedra, 1974, 231 p.
12. Mashkovets G. A., Miguta A. K., Tarkhanov A. V., Shchetochkin V. N. Uranovorudnyy potencial Rossii. 2015–2035 [Uranium ore potential of Russia. 2015–2035]. Moscow, Vserossiyskiy nauchno-issledovatel'skiy institut mineral'nogo syr'ya im. N. M. Fedorovskogo, 2017, 118 p.
13. Tsykin R. A. Rare-metal and rare-earth ochers of carbonatite deposits in the Angara river downstream. *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya Sektzii nauk o Zemle RAEN. Geologiya, poiski i razvedka rudnykh mestorozhdeniy*, 2013, no. 1 (42), pp. 96–102. (In Russian).
14. Chirkov I. V. Torienosnye rudnye formatsii SSSR [Thorium-bearing ore formations of the USSR]. *Materialy po geologii uranovykh mestorozhdeniy*. Moscow, 1975, iss. 40, pp. 4–30. (In Russian).
15. *International Symposium on Uranium Raw Material for the Nuclear Fuel Cycle: Exploration, Mining, Production, Supply and Demand, Economics and Environmental Issues (25–29 June 2018)*. Vienna, International Atomic Energy Agency, 2018, 541 p.

Миронов Юрий Борисович – доктор геол.-минерал. наук, зав. отделом, ВСЕГЕИ¹. <Yuri_Mironov@vsegei.ru>

Карпунин Анатолий Михайлович – канд. геол.-минерал. наук, ст. науч. сотрудник, ВСЕГЕИ¹. <Anatoly_Karpunin@vsegei.ru>

Фукус Владимир Зиновьевич – ст. науч. сотрудник, ВСЕГЕИ¹. <Vladimir_Fuks@vsegei.ru>

Mironov Yuriy Borisovich – Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Head of Department, VSEGEI¹. <Yuri_Mironov@vsegei.ru>

Karpunin Anatoliy Mikhaylovich – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Senior Researcher, VSEGEI¹. <Anatoly_Karpunin@vsegei.ru>

Fuks Vladimir Zinov'evich – Senior Researcher, VSEGEI¹. <Vladimir_Fuks@vsegei.ru>

¹ Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского (ВСЕГЕИ). Средний пр., 74, Санкт-Петербург, 199106, Россия.

A. P. Karpinsky Russian Geological Research Institute (VSEGEI). 74 Sredny Prospect, St. Petersburg, 199106, Russia.