

стях ториеносных блоков. Вмещающие оруденение породы обладают аномально высоким кларком урана, околорудные метасоматиты (калишпатиты и эйситы) характеризуются аномально высокими содержаниями урана при пониженном торий-урановом отношении.

Выявленные закономерности позволят более целенаправленно проводить дальнейшие поисковые работы в пределах Окунайского урановорудного узла.

© Кислюченко Г.А., Царук И.В., 2015

Кислюченко Григорий Анатольевич // gan@urangeo.ru
Царук Ирина Васильевна // tsaruk@urangeo.ru

УДК 553.495.04(470)

**Петров О.В., Миронов Ю.Б., Лебедева Г.Б.,
Пуговкин А.А., Шатов В.В. (ФГУП «ВСЕГЕИ»)**

«ПОВЕРХНОСТНЫЕ» МЕСТОРОЖДЕНИЯ — НОВОЕ НАПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЯ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ УРАНА РОССИИ

Рассмотрены возможности формирования «поверхностных» урановых месторождений в связи с торфами для гумидной климатической зоны на примере США, Великобритании, Швеции и Российской Федерации. Ключевые слова: гумидная зона, «поверхностный» тип, торфяники, уран.

Petrov O.V., Mironov Yu.B., Lebedeva G.B., Pugovkin A.A.,
Shatov V.V. (VSEGEI)

**«SURFACE» URANIUM DEPOSITS — NEW TREND OF
DEVELOPMENT OF THE MINERAL RESOURCES BASE OF
URANIUM IN THE RUSSIAN FEDERATION**

The opportunities of the formation of the «surface» uranium deposits associated with peats of the humid climatic zone on the example of the United States, Great Britain, Sweden and the Russian Federation, were studied. Key words: humid zone, «surface» type, peatlands, uranium.

В практической деятельности зарубежных геологов в последние годы все большее внимание привлекает новый тип, так называемых «поверхностных» месторождений урана. Системная характеристика «поверхностных» месторождений урана впервые приведена в работе J.K. Otton [4]. Более поздние публикации отражают результаты поисковых работ в различных регионах мира [3, 4, 5, 7].

Доля «поверхностных» месторождений в мировых запасах урана в начале XXI века составляла около 10–13 %. Роль месторождений этого типа в общем балансе мировых запасов урана будет возрастать, благодаря высокой рентабельности их отработки, несмотря на ряд технологических проблем переработки руд (Кудрявцев, 1987).

«Поверхностные» урановые месторождения обнаружены в различных климатических зонах земного шара, в разных физико-географических ландшафтах. Наиболее значительные по масштабам рудные объекты, имеющие практическую ценность, установлены в настоящее время в аридных климатических зонах, где конт-

ролируются дренажными системами, включающими сухие русла и озерно-плайевые бассейны. В аллювиальных и озерных отложениях зон умеренного гумидного климата повышенные концентрации урана располагаются вдоль направленных потоков поверхностных и грунтовых вод, обогащенных ураном, на участках скопления органических остатков. В областях зонального или переменного влажного климата ураноносные отложения и другие гипергенные породы, свойственные рудоконтролирующим дренажным системам аридных зон, и обогащенные органикой ураноносные речные и озерно-болотные отложения гумидных зон нередко пространственно сближены или пространственно совмещены [7].

В настоящее время существующие классификации не учитывают все известные типы «поверхностных» месторождений урана. Наиболее приемлемой считается классификация J.K. Ottona (1987), в которой «поверхностные» ураноносные образования по климатическим условиям формирования разделены на пустынные (аридные), гумидные, тропические и переходные. Практическое значение выделенных групп «поверхностных» месторождений различно. Для обширных территорий России наиболее актуальной является задача изучения ураноносности обогащенных органикой речных и озерных отложений областей с умеренным климатом (гумидная климатическая зона).

Гумидная климатическая зона является основной в Российской Федерации и представляет практический интерес для поисков месторождений урана «поверхностного» типа. Рудные концентрации урана в обстановках данного типа установлены в различных географических ландшафтах, обязательными компонентами которых являются потоки обогащенных ураном поверхностных или грунтовых вод и наличие на путях их транзита скоплений органического материала, обеспечивающего как аккумуляцию урана, так и формирование окислительно-восстановительных барьеров.

Масштаб «поверхностного» уранового оруденения в гумидных районах колеблется от 100 кг и более урана, содержащегося в тонком слое обогащенных органикой почв, до ~1000 т. Содержание урана в ураноносных торфах Швеции (рис. 1) варьирует от сотых долей до 3 % (сухое основание), определяется концентрацией металла в «местных» грунтовых и поверхностных водах и процентным содержанием органического вещества в осадках [7].

Морфология «поверхностных» урановых месторождений в значительной степени контролируется формой тел вмещающих осадочных пород. Чаще всего рудные залежи образуются в пологозалегающих близповерхностных осадочных отложениях и имеют субгоризонтальную пластовую форму. В плане преобладают два морфологических типа: вытянутые, иногда извилистые тела, связанные с русловыми или долинными осадками и неправильные яйцевидные залежи, связанные с озерными и плайевыми. Основными породами-источниками урана для «поверхностных» урановых месторождений гумидных районов являются высокорadioактивные граниты, урансодержащие осадочные породы и, в меньшей степени, метаморфические породы.



Рис. 1. Схема размещения ураноносных торфяников в Швеции: 1 — ураноносные торфяники

Большая часть крупных «поверхностных» месторождений урана располагается вблизи пород-источников, обогащенных ураном (значительно выше 5 г/т). Многие рудные объекты сформировались в тех местах, где граниты и другие породы, по-видимому, характеризуются высокими и средними содержаниями урана. Их образованию могут способствовать дополнительные благоприятные обстоятельства, такие, как повышенная трещиноватость пород-источников или необычайно подвижная форма нахождения в них урана, который в достаточном количестве переходит в раствор и попадает в поверхностную обстановку, где происходит его отложение. В тоже время для месторождений «поверхностного» типа Центральной части Восточно-Европейской платформы источником урана, вероятно, служат терригенно-осадочные породы пермского возраста, с мелкими месторождениями урана осадочно-диагенетического генезиса.

Для транспортировки урана требуются окислительные условия как в областях питания, так и на путях транзита ураноносных вод между источником и вмещающей породой. Несмотря на то, что комплексные соединения способствуют увеличению растворения урана, это обстоятельство в меньшей мере влияет на его вынос, поскольку в природных водах всегда имеется широкое разнообразие комплексов. Практически на всех «поверхностных» урановых месторождениях уран высвобождается из пород-источников путем выщелачивания и транспортируется кислородсодержащими поверхностными или грунтовыми водами.

В прохладном влажном климате органическое вещество может накапливаться там, где препятствия на пути водотоков или изменения уклона в долинах обуславливают высокое положение водного зеркала, что способ-

ствует росту растений и препятствует их уничтожению. Скорость течения замедляется, увеличивая тем самым время взаимодействия между обогащенными органикой осадками и проходящими сквозь них ураноносными растворами. «Поверхностные» месторождения урана образуются путем взаимодействия грунтовых или поверхностных вод с растительной органикой осадков, сорбирующей уран. Формирование урановых месторождений «поверхностного» типа — непрерывный процесс, в течение которого они либо преобразуются, либо разрушаются в результате физических и гидрохимических воздействий [7].

Минеральная форма урана в болотных отложениях и торфах не известна даже при концентрациях его до 2000 г/т. На проявлениях Канады (рис. 2) связь урана с органическим веществом и глинами слабая. Взаимоотношения урана с органическим веществом носят сложный характер. На урановорудных объектах или участках с признаками оруденения были обнаружены металлоорганические соединения. Фиксация различных уранилов лигнитом и последующее восстановление до уранинита могут осуществляться путем увеличения температуры, однако изначально процесс фиксации развивается от окислительных условий до окончательного восстановления [8].

Урановорудные объекты в гумидных районах отличаются резкими изменениями нарушения радиоактивного равновесия. Содержание урана по данным химического анализа почти всегда превышает радиометрический эквивалент. По Р. Калберту [4] значения коэффициента радиоактивного равновесия на ряде объектов в Канаде и в Западной части США находятся в диапазоне от 0,05 до 0,1, что отражает в целом молодой возраст месторождений. Поиски объектов такого



Рис. 2. Схема размещения «поверхностных» месторождений США и Канады: 1 — урановорудный район Оканеган

типа затруднены вследствие низкой радиоактивности руд. Наиболее приемлемые с геологической точки зрения модели позволяют предполагать, что уран отлагался в интервале от 0,1 до 0,75 млн. лет назад. Большинство урановорудных месторождений гумидных районов моложе 12 000 лет — максимального возраста вмещающих осадков: вероятно, процесс их формирования продолжается и в наши дни [4]. Экспериментальные исследования, проведенные Дж. Грунером и Дж. Роджерсом, дают верхний предел насыщения торфа ураном примерно 13—15 вес. % (сухое основание). Таким образом, хотя урановорудные объекты в гумидных районах и невелики по размеру, они могут иметь вполне сопоставимые содержания с рудами других типов разрабатываемых урановых месторождений. На благоприятных участках отмечаются «кусты» рудных объектов, располагающиеся вдоль единого водотока и его притоков, либо в серии сближенных водотоков [3].

Одним из примеров «поверхностных» месторождений урана могут служить месторождения штатов Вашингтон и Айдахо (США) (рис. 2). Климат в этих районах достаточно холодный, с длинными, снежными зимами и мягким летом. Территория густо покрыта лесами и дренируется крупными притоками р. Колумбия. Высоты рельефа меняются от 1200 до 1500 м. Большая часть низменных участков покрыта ледниковыми, ледниково-аллювиальными и ледниково-озерными осадками, характеризующимися слабым дренажем.

Большинство месторождений урана в северо-восточном Вашингтоне и Северном Айдахо находятся в обстановках, связанных с водными системами низких порядков (от 1 до 3). Месторождения расположены в местах, где грунтовые воды, текущие по дренажным системам низких порядков, направляются в речные долины и взаимодействуют с обогащенными органическим веществом осадками. Изучение ураносодержащих родниковых зон на болотах и луговинах западной части Сьерры-Невады показало, что содержание урана в этих водах после прохождения их через болотистую луговину снизилось в 10 раз. Размеры таких месторождений на северо-востоке Вашингтона и севере Айдахо и содержания в них урана меняются в зависимости от: размеров сечения водотока, количества органического вещества, эффективности захвата урана в данной среде, объема воды, проходящей через ураносодержащие породы и уровня содержаний урана в ней [6].

В этих районах вмещающие «поверхностные» месторождения осадки и сопутствующие отложения обычно состоят из одной или нескольких перечисленных ниже литогенетических разностей: 1) «живая» и гниющая растительность на поверхности; 2) торф, меняющийся по цвету от светло-коричневого до темно-коричневого и характеризующийся разным содержанием глинистой и песчаной составляющих; 3) песок, содержащий значительное количество глинистой фракции и меняющий окраску от светло-серого до черного; 4) озерный ракушечный мергель; 5) вулканический пепел; 6) голубая «ледниковая» глина; 7) крупнозернистый песок и гравий. Обогащенные органикой вмещающие урановое оруденение осадки почти всегда подстилаются ледниково-аллювиальными, ледниково-озерными осадками

или выветрелыми коренными породами. Общая мощность рудовмещающих осадков колеблется от 0 до 10 м.

Обогащенные органическим веществом породы долин в речных системах обычно более маломощны (до 3—4 м) и имеют большее содержание обломочного материала, чем осадки озер. Торфяной материал образует здесь тонкие покровы, вытянутые вдоль оси дренажной системы долины. Вверх и вниз по течению торфяной материал кулисообразно замещается обломочными осадками и по латерали переходит в почвы. Распределение урана во всех ландшафтно-геоморфологических обстановках зависит от направления водного потока, а также от проницаемости торфа и переслаивающихся с ним пластов. В местах, где основной поток поверхностных и грунтовых вод течет вниз по осевой части долины, уран концентрируется у верхнего края долинных торфяников и болот. На некоторых участках долины грунтовые воды поднимаются к поверхности через обогащенные органическим веществом осадки и уран накапливается у их основания. На других участках, например, на луговинах, расположенных вдоль склона долины и имеющих родниковое питание, наибольшие концентрации фиксируются у поверхности, а с глубиной содержание урана уменьшается. В этом случае ураноносные воды, поступая из родника, текут вниз по склону, а затем просачиваются вниз через луговые отложения.

В северо-восточном Вашингтоне и Северном Айдахо уран обнаружен в торфе, озерном мергеле и алевроитом песке серой и черной окраски. Другие литологические разности содержат менее 100 ч./млн. урана. Максимальная концентрация урана в районе около 1 % (на сухой вес), но среднее содержание меняется от 100 до 1500 ч./млн. урана. На данной территории известно множество мелких проявлений (от 2 до 50 т урана) и, возможно, большое количество необнаруженных месторождений большего размера (от 50 до 500 т урана).

Таким образом, в Северной Америке, по мнению ряда исследователей [5, 7], «поверхностные» месторождения урана различны по своим геологическим условиям и по способам накопления урана. В целом «поверхностные» месторождения урана, известные к настоящему времени, имеют следующие общие черты:

они образуются на поверхности или в нескольких метрах от нее в результате взаимодействия грунтовых или поверхностных вод с «органикой» почв или осадков. Тип и характер месторождения определяется природой этих вод, способами их взаимодействия с осадками и фациальными условиями накопления последних;

уран почти не сопровождается дочерними продуктами и соответственно месторождения не отмечаются аномалиями радиоактивности. Исключения составляют случаи резкого поверхностного обогащения и случаи прямого осаждения урана из природных водных источников;

уран в осадочном материале связан достаточно свободно процессами сорбции и ионного обмена, а потому легко повторно мобилизуется;

обычным спутником урана является молибден;

месторождения всегда локализованы в районах, которые подстилаются интрузивными породами среднего и кислого составов.

Следует отметить, что хотя значительные по размерам «поверхностные» урановые месторождения связаны и с интрузивными массивами, характеризующимися высоким содержанием подвижного урана, они также обнаружены в полях развития пород с низкими содержаниями как общего, так и подвижного урана (например, карбонатитов и кварцевых диоритов). Наиболее важными факторами, определяющими их продуктивность, по-видимому, являются:

- а) степень нарушенности интрузивных тел;
- б) наличие глубоко проникающих, хорошо развитых систем циркуляции подземных вод;
- в) наличие карбонатного изменения, способствующего образованию вод, богатых бикарбонатами.

В комплексе с этими факторами наличие высоких содержаний подвижного урана является важным, но не определяющим дополнением к такому признаку, как наличие потенциального источника в виде интрузивного массива.

Установлено, что гидрогеохимические поиски могут быть использованы только для выявления пород-источников. В этом направлении особое внимание следует уделять анализам структурно-контролируемых вод для выяснения возможности высвобождения значительных количеств подвижного урана из определенных источников. Для поисков большинства типов молодых урановых месторождений сцинтиллометры, работающие в высоко энергетической области гамма-спектра, не применимы. Хорошие результаты получаются при применении методик, использующих низкоэнергетическую область гамма-спектра в диапазоне 40–100 Кев, при использовании пластичных обрамленных кристаллов NaI, опускаемых в шпуры шнекового бурения. Эта методика может существенно повысить эффективность оценки на месте.

По данным М.Р. Уилсона (Шведский институт) [5] в Европе высокие концентрации урана отмечены только в немногих торфяниках в Швеции, Финляндии, Великобритании (рис. 1, 3).

В Швеции широко распространены послеледниковые торфяники, сформированные за последние 8–17 тыс. лет. Установлено, что некоторые из них существенно обогащены ураном и другими металлами. Наиболее хорошо изученное проявление находится в Масугнсбине, в 90 км к юго-востоку от Кируны в северной Швеции, где расположено месторождение порядка 24 т урана в торфе со средним содержанием урана 0,2 % в золе.

Масугнсбинское торфяное болото находится в 5 км к северо-западу от деревни Масугнсбин, имеет размеры 600 на 200 м. Содержания урана в золе варьируют от 0,04 до 3,1 % со средним значением 0,2 %. Торфяное болото отличается чрезвычайно низкой гамма-радиоактивностью, а в пробах установлена высокая степень радиоактивной неравновесности. Исходный источник урана, по-видимому, докембрийская (свенокарельская) толща, сильно трещиноватая и несколько обогащенная подвижным ураном. Воды источников содержат 1–5 г/т (ppm) урана, а трещинная вода содержит от 200 до 300 г/т урана (максимум 1800 г/т). Мелкие урановые проявления отмечены в скарновых железных рудах района.

Высокие содержания урана (до 3,4 %) отмечены в торфяниках рядом с д. Стугун. Источники в этой зоне высоко радиоактивны, а коренные породы сильно обогащены подвижным ураном. В окрестностях известны мелкие урановые проявления.

Другой район с обогащенными ураном торфяниками расположен среди богатых ураном гранитов Йарре, примерно в 50 км к западу от Йоккмокка. Здесь выявлены многочисленные торфяники с высокими содержаниями урана (от 1,1 до 3,2 %). Все они связаны с радиоактивными источниками. Систематический пробоотбор по вертикальным и горизонтальным профилям показал, что уран распределен в торфяном материале весьма неравномерно. Наибольшее обогащение ураном всегда наблюдается вблизи протекающих через болота вод, обогащенных ураном. Запасы наиболее ураноносной части болота (11 900 м²) оцениваются в 564 т урана [5].

В Великобритании (Чиллингтон Брук) (рис. 3) мелкие торфяные залежи обогащены ураном, максимальное значение урана было выявлено в сухом торфе в количестве 580 г/т. Высокие концентрации ряда других элементов, в частности, V (до 8 500 г/т), а также Ni, Co, Ba, Cu и Zn, присутствуют в торфах. Радиометрические показания по всей ураноносной площади (около 1 300×70 м) являются в целом низкими (от 7 до 10 мкР/ч), подстилающие торф мергели содержат только 3 г/т урана, в то время как подземные воды в этом регионе содержат до 30 мг/т урана. В северной части Великобритании повышенные концентрации урана (200 г/т) были отмечены в образцах высушенного торфа из торфяников площадью около 500×160 м, расположенных в краевых частях гранитной интрузии, проры-



Рис. 3. Схема размещения ураноносных торфяников в Великобритании: 1 — ураноносные торфяники

вающих сланцы Мойне. Содержания урана, превышающие 3 000 г/т, были установлены в торфяниках над гранитными массивами Хельмсдейл и др. [5].

Аналогичные «поверхностные» месторождения урана в торфах известны в Киргизии (Камышановское месторождение).

В пределах Российской Федерации «поверхностные» урановые месторождения гумидной зоны находятся в различных геотектонических обстановках: на Восточно-Европейской платформе, в зоне сочленения Алдано-Станового щита и Байкало-Витимской складчатой области, в пределах Урало-Новоземельской складчато-надвиговой системы и в других районах.

Практически все выявленные урановорудные объекты (месторождения и рудопроявления) *Восточно-Европейской платформы* сосредоточены в пределах Волго-Уральской антеклизы (рис. 4); имеют однотипную модель формирования, разработанную на основе поисково-разведочных работ на месторождении Тешинское и включают:

долгоживущее сложно построенное сводовое поднятие («Токмовский свод»);

аллювиальные террасы водотоков третьего порядка (р. Волга — первый порядок) с резко выраженным асимметричным поперечным профилем, с возможно надразломным характером формирования;

долинные педименты четвертичного возраста;

озерно-аллювиальные отложения, интенсивно за торфованные;

ураносодержащую пестроцветную осадочную толщу пермского возраста;

зоны с активной гидродинамикой подземных вод;

зоны самоизливающихся подземных вод, нередко с общей минерализацией до 3 г/кг;

участки с радоновыми источниками;

краевые, склоновые части локальных морфоструктурных поднятий, осложненные эрозионно-тектоническими уступами;

низинные болота с торфами мощностью от 2 до 6 м; глубину формирования урановорудных залежей от 0 до 5 м;

зольный материал, содержащий ванадий, мышьяк, германий;

радиоактивное равновесие, как правило, смещенное в сторону урана.

Собственно *Тешинское месторождение урана* связано с одноименным торфяным месторождением, образовавшимся на месте старицы четвертичного возраста в пойме р. Теша, промывающей пестроцветные осадочные породы верхней и нижней перми. У южного окончания торфяника обнажаются пески и глины юрского и мелового возраста. Тешинский торфяник объединяет 6 обособленных массивов общей площадью 30,7 км². Средняя мощность торфов 2,1 м, максимальная — 6 м. В пределах торфяника выделено 9 ураносодержащих залежей размерами 800×600 м — 300×300 м при мощности от 0,5 до 4,0 м (средняя 1,1 м). Суммарная площадь залежей при содержании урана 0,01 % около 3 км². Глубина залегания рудных тел 0–5 м. Содержание урана колеблется от «следов» до 0,247 %. Уран сорбирован в органическом веществе. Околорудные изменения не

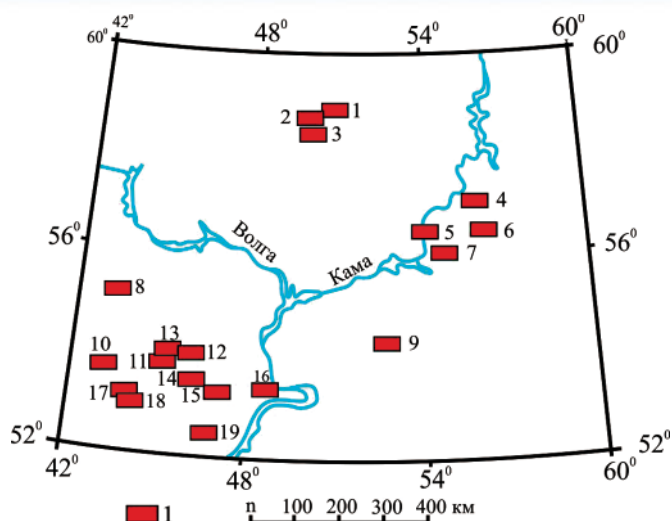


Рис. 4. Схема размещения ураноносных торфяников на Восточно-Европейской платформе: 1 — месторождения, проявления и пункт минерализации урана («поверхностный» урановый тип в связи с торфяниками): 1 — Посеговское; 2 — Каринское; 3 — Васкоинское; 4 — Красногорское; 5 — Черновская Согра; 6 — Бактемировское; 7 — Нижне-Калмашское; 8 — Тешинское; 9 — Ефановское; 10 — Вадское; 11 — Анучинское; 12 — Ильинское; 13 — Краснослободское; 14 — Айвовое; 15 — Безымянное; 16 — Тарташевское; 17 — Владыкинское; 18 — Субботинское; 19 — Бабирикинское

обнаружены. В золе торфа обнаружены повышенные содержания германия (в среднем 20 г/т).

Месторождение Каринское, расположенное в зоне Вятских дислокаций, приурочено к северо-восточной части Каринского торфяника, залегающего на аллювиальных отложениях четвертичного возраста в месте слияния р. Вятки и Чепцы, вблизи выходов коренных пород татарского яруса верхней перми. Рудоносная залежь длиной 3,75 км, шириной от 0,4 до 2,3 км, мощностью от 0,3 до 1,6 м состоит из серии рудных тел. Рудные тела имеют линзовидную линейно-вытянутую форму. Длина рудных тел от 0,4 до 3,0 км, ширина от 100 до 550 м, мощность от 0,3 до 1,6 м. Содержание урана от 0,03 до 0,12 % (среднее 0,076 %). Глубина залегания оруденения 0–2 м. Урановые минералы не установлены. Уран сорбирован органическим веществом. Околорудные изменения не наблюдаются. Наряду с ураном в рудах обнаружены повышенные содержания ванадия до 0,1–0,5 % и мышьяка до 0,03 %. ореол повышенных содержаний урана (0,001–0,002 %) в торфе превышает площадь месторождения в 3 раза. Радиоактивное равновесие резко сдвинуто в сторону радия. Установлено, что к сухому торфу, содержащему 0,105–0,125 % урана, применим метод сернокислой перколяции, извлекающий в раствор от 79,0 до 90,5 % урана. Месторождение оценено скважинами (1526,4 п.м.), канавами (524,2 м³) и шурфами (1332,4 п.м.) [2].

Наиболее изученным объектом в пределах Урало-Новоземельской складчато-надвиговой системы является *Санарское месторождение урана*, расположенное в долине р. Санарка. Общими чертами для месторождений этого типа являются:

оруденение локализуется в пределах речных долин, для которых характерен ступенчатый профиль с чере-

дованием расширенных аккумулятивных и суженных эрозионных участков;

оруденение концентрируется на участках, где речные долины пересекают гранитные массивы или гранито-гнейсовые комплексы с высоким кларком урана или зоны с убогой эндогенной урановой минерализацией;

урановая минерализация локализована в песчано-глинистых осадках нижнего неоплейстоцена, залегающих в основании разреза второй надпойменной террасы на плотике коренных пород или корях выветривания;

оруденение приурочено к насыщенным органическим остаткам пойменных или озерно-болотных отложений, перекрытых красноцветными глинистыми осадками;

эпигенетические процессы привели к обогащению ураном как аллювиальных фаций, так и гидрослюди-сто-щебнистой коры выветривания.

Рудные залежи представлены линзами, лентами шириной 200–1000 м, протягивающимися на сотни километров (отношение ширины рудных тел к их длине в пределах от 1:8 до 1:35). Мощность их 5–6 м (р. Санарка и Коелга), 9–12 м (р. Увелька и Кабанка) до 20 м, содержание урана 0,01–0,3 %, Крр–10 %. Уран содержится в форме настурана, черней, уранофана, отенита и тьямунита.

Несколько в другой геолого-структурной обстановке находятся рудопоявления с поверхностным оруденением, выявленные в пределах северного Забайкалья, на которых проведены поисковые работы с оценкой прогнозных ресурсов кат. P_1 и P_2 .

В региональном плане урановорудные *объекты Сиротинка и Орогочи* располагаются в пределах отдельного тектонического блока на стыке крупных тектонических структур: Северо-Западной Становой СФЗ Алдано-Станового щита и южной Витимо-Удоканской СФЗ Селенгино-Яблоновой складчатой системы. В орографическом отношении объекты размещаются в пределах Витимо-Олекминской горной страны.

Проведенные ЗАО «Витимгеопроект», ФГУП «ВИМС» и ФГУП «ВСЕГЕИ» работы на объектах «поверхностного» типа Витимо-Каренгского района позволили сформировать перечень прогнозно-геологических критериев локализации «поверхностного» уранового оруденения, включающий:

Территориальный (внутрирегиональный) уровень:

аллювиальные террасы аллювиально-солифлюкционных дниц водотоков и шлейфы позднечетвертичного возраста;

долинные педименты средне-позднечетвертичного времени, подвергшиеся действию эрозионно-абразионных процессов;

крутопадающие разломы, определяющие положение долин крупных водотоков в мезозойском гранитном основании и, возможно, являющиеся основными путями выноса радиоактивных элементов из материнских пород на поверхность;

гранитоиды амуджиканского и амананского комплексов, затронутые процессами гидротермально-метасоматических изменений, особенно грейзенизацией; среднее содержание урана в них по данным гаммаспектрометрии колеблется от 5 до 15×10^{-4} %;

подпрудный водоем зырянского времени; потоки грунтовых и поверхностных вод, определяющие направление движения свободного урана.

Локальный уровень:

отложения долин водотоков второго и третьего порядков (р. Витим — первый порядок), в т.ч. солифлюкционные (sQ_{III-IV}), аллювиально-солифлюкционные (asQ_{III-IV}), аллювиальные ($a_4Q_{III} - a_1Q_{IV}$) образования;

краевые части гранитных массивов, где широко развиты разрывные нарушения в зонах экзо- и эндоконтактов с вмещающими породами;

площадь предполагаемого развития перспективного почвенно-торфяного горизонта;

участки с активной гидродинамикой подземных и поверхностных вод;

тип вод нейтральный и слабощелочной, глеевый с pH 5,9 — 7,9 и значениями Eh от 19 до 322 мВ;

уступы эрозионно-тектонические в пределах склоновых и водораздельных частей долин, являющиеся косвенным признаком тектонической нарушенности специализированных гранитоидов.

Детальный уровень:

ореолы повышенной радиоактивности по данным шпуровой гамма-съемки и пешеходной гамма-спектрометрии по данным АГСМ — 25, наземной заверки аэроаномалий и литогеохимического опробования;

рудопоявления и проявления урана экзогенного и эндогенного типов, выявленные в результате поисковых работ разного масштаба.

Рудопоявление урана Сиротинка, являющееся своеобразным эталоном объектов «поверхностного» типа, расположено на правобережье р. Витим в 25 км северо-восточнее п. Усть-Каренга (рис. 5). Профилями мелких скважин здесь вскрыта приповерхностная пластообразная рудная залежь в современных отложениях поймы и надпойменной террасы р. Правая Сиротинка. Размеры залежи 700 × 100 м, средняя мощность 1,5 м, содержания урана колеблются от 0,061 до 0,362 %, среднее — 0,135 %. Из 180 пробуренных поисковых скважин глубиной от 5 до 11 м в 93 из них по данным гамма-каротажа установлены аномальные значения радиоактивности от 200 до 1800 мкР/ч на фоне от 30 до 50 мкР/ч, причем максимальной радиоактивностью до 1850 мкР/ч (скв. 258) обладают верхние части коренных сильно выветрелых гранитов арекитканского интрузивного комплекса. В вертикальном разрезе устанавливаются два типа радиоактивных аномалий [8].

Аномалии первого типа приурочены к верхним частям (0–2 м) пойменных отложений. Их радиоактивность составляет 200–800 мкР/ч, а содержание урана по данным рентгеноспектрального анализа колеблется от 0,1 до 0,33 %. Второй тип аномалий фиксируется в дресве и обломках интенсивно выветрелых гранитов. Для них характерны значения радиоактивности от 200 до 400–1100 мкР/ч и более. Аномалии прослеживаются до глубины 8–9 м. Содержание урана варьирует в пределах 0,002 до 0,04 %, реже от 0,07 до 0,1 % (скв. 202, 218). В скв. 201 установлено содержание урана до 0,2 % на интервал 4,5 м. В повышенных количествах установлены свинец (до 0,006 %), молибден (до 0,003 %), в единичных пробах — бериллий (до 0,002 %), цезий (до 0,03 %),

золото (до 1 г/т). Уран находится в сорбированной форме. Ресурсы урана кат. Р₁ — 750 т.

По результатам работ ЗАО «Витимгеопром» в 2012 г. было установлено, что урановорудная залежь на правом борту р. Сиротинка имеет линзовидную форму. Длина залежи оконтуренной по бортовому содержанию 0,01 % составляет 650 м при ширине от 20 до 170 м. Урановое оруденение приурочено к различным уровням разреза. К самому верхнему слою рыхлых отложений (песчано-илистому материалу с органикой) и торфяников, а также расположенным ниже дресвяно-щепнистым отложениям с органикой. Содержание урана по рудным интервалам изменяется от 0,0116 до 0,0874 % при мощности от 1 до 6 м. В отдельных пробах содержание урана достигает 0,14 %. Для руд характерно низкое значение Крр (п %).

В окрестностях рудопроявления известны еще 7 ореолов урана с содержаниями 0,056–0,400 %, а в междуречье Береи и Калара число подобных объектов исчисляется десятками. На аномалии № 101 площадью 0,17 км² в бассейне р. Тундак содержания урана достигают 1,05 %.

Рудопроявление урана Орогочинское находится северо-восточнее рудопроявления Сиротинка. Урановая залежь имеет форму близкую к овальной и приурочена к верхней части рыхлых отложений площади, представленных песчано-илистым материалом с органикой, торфом и залегающим глубже дресвяниками с органикой. Залежь располагается на левом борту р. Орогочи в нижней части склона и на надпойменной террасе. Длина залежи составляет около 1 км, при ширине от 350 до 750 м. Содержание урана по рудным интервалам изменяется от 0,07 до 0,52 % при мощности от 0,5 до 4 м. В отдельных пробах содержание урана достигает 1,2 %, уран связан в настуране, нингиоите, реже в коффините, иногда отмечаются удлинённые кристаллоподобные выделения нингиоита и «губчатые» округлые образования нингиоитового агрегата с повышенными содержаниями редкоземельных элементов. Минералы урана локализованы главным образом в силикатно-углеродистом аморфном веществе и между чешуек слоистых алюмосиликатов, а сорбированные частички урана нередко «обволакиваются» углеродистым веществом гумусового состава (ВИМС). Значительная часть урана

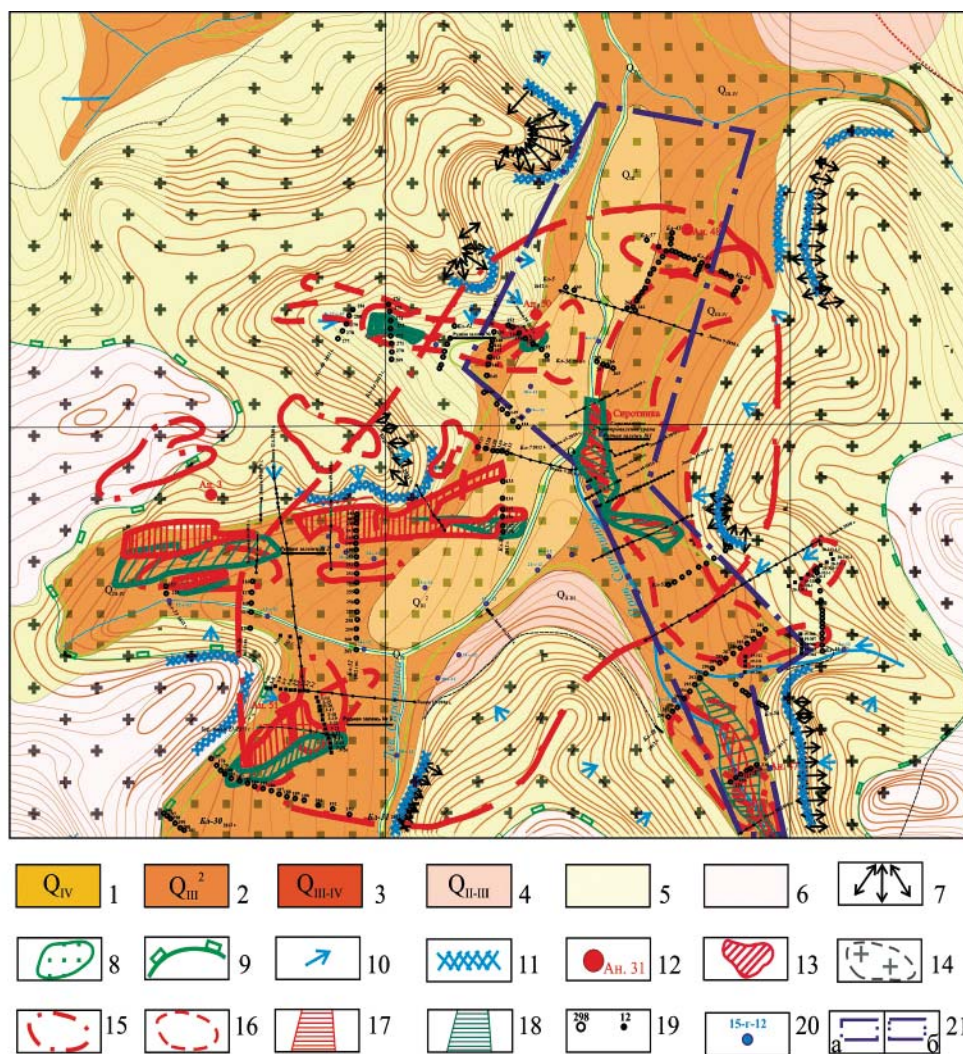


Рис. 5. Прогнозная схема рудопроявления урана Сиротинка (с использованием материалов ЗАО «Витимгеопром»): 1 — поверхность поймы голоценового возраста, высота 0,3–3,0 м; 2 — поверхность озерно-аллювиальной террасы позднечетвертичного возраста; 3 — поверхности аллювиально-солифлюкционных днщ водотоков и шлейфов позднечетвертичного голоценового возраста; 4 — поверхности долинных педиментов средне-позднечетвертичного времени, подвергшиеся действию эрозионно-абразионных процессов; 5 — склоны, созданные площадной денудацией (дефлюкционные, солифлюкционные, дефлюкационно-солифлюкционные); 6 — водораздельные пространства, сложенные дочетвертичными породами; 7 — прямолинейные крутые склоны (уступы) тектонического происхождения; 8 — площадь предполагаемого развития перспективного почвенно-торфяного горизонта; 9 — граница распространения подрудного водоема зырянского времени; 10 — направление движения поверхностных и вод зоны аэрации; 11 — гидродинамический барьер; 12 — аэроаномалии и их номера; 13 — ореолы рассеяния «поверхностного» урана (0,005–0,02 %) по данным литогеохимического опробования (ЧГУ, 1962 г.); 14 — площади развития специализированных на уран гранитоидов; 15 — ореолы повышенной радиоактивности по данным шпуровой съемки; 16 — ореолы

урана по данным пешеходной гамма-спектрометрии; 17 — контур рудного тела с содержанием урана более 0,03 %; 18 — контур рудного тела с содержанием урана от 0,01 % до 0,03 %; 19 — скважины поискового бурения разных лет; 20 — точки гидрохимического опробования и их номера; 21 — участки для постановки поисковых работ: а) первой очереди б) второй очереди

(по качественной оценке) содержится в безминеральной форме в полиэлементных стеклоподобных стяжениях («гелях») размером 20–70 мк. Ресурсы урана составляют по кат. $P_1 = 650$ т, $P_2 = 5800$ т.

В 2009–2011 гг. ЗАО «Витимгеопроект» проводил разведочные работы с целью геолого-экономической и технологической оценки уранового оруденения в рыхлых отложениях речных долин на Каренгской площади. По рекомендациям предыдущих исследователей и анализа геолого-геофизического материала были выбраны четыре первоочередных участка: Каренгский (рудопоявление Сиротинка Ан. №№ 3, 38, 47, 48, 50, 51, 52), Джиллинда-Сайвакский (Ан. №№ 5, 21), Орогочинский (Ан. №№ 22, 25, 43) и Кочковатый (Ан. №№ 33, 42, 45). Общие локализованные ресурсы урана Витимо-Каренгской площади составили по кат. P_1 — 1 тыс. т, P_2 — 10 тыс. т. Специализированные на уран работы подтвердили возможность выявления в восточной части Витимо-Каренгского ПУРР промышленных поверхностных урановых месторождений, пригодных для отработки методом подземного выщелачивания.

Несмотря на малые запасы урана ниже следующие факторы делают «поверхностные» урановые месторождения весьма привлекательными для горнорудной промышленности на территории РФ:

1. Поиски и оценка проводятся полностью мелким бурением, что устраняет необходимость дорогой буровой стадии поисков и разведки. Достаточно приемлемая оценка большинства объектов требует менее одного месяца полевых работ.

2. Поскольку месторождения связаны с мягкими, лежащими на поверхности почвами и осадками, они, по-видимому, вполне пригодны для кучного выщелачивания с помощью подвижных установок.

3. В связи с возможностью использования подвижных установок и низкой стоимостью разработок, запасы урана в месторождениях могут подсчитываться суммарно по району или рудному полю в целом, т.е. при поисках следует скорее стремиться обнаружить как можно больше месторождений, чем отдавать все силы поискам одного крупного.

4. Размеры залежей и сортность руд, по-видимому, здесь не столь критичны, как для других типов урановых месторождений. Жизнеспособность любого конкретного месторождения зависит от многих факторов: гидрогеологии, растительного покрова, природы фиксации урана, а также от условий землепользования. Что касается концентраций урана, то наиболее важным параметром, по-видимому, является количество урана на единицу площади поверхностной ловушки.

5. Отсутствие радиоактивных дочерних продуктов устраняет необходимость сооружения долгосрочных хранилищ для радиоактивных хвостов, а также детальных исследований по охране окружающей среды.

Анализ состояния минерально-сырьевой базы урана, сформированной «поверхностными» месторождениями в связи с торфяниками в гумидных областях, свидетельствует в настоящее время об их незначительной роли. Тем не менее, для России данный тип месторождений может быть экономически выгодным, ввиду значительного количества регионов, где установлены

процессы торфообразования. Большое число торфяников представлено серией сближенных массивов, что делает добычу экономически выгодной. Исходя из современной изученности данного вида «поверхностных» месторождений, постановку их поисков целесообразно организовать в пределах Восточно-Европейской платформы, а именно на Токмовском и Татарском сводах, на сочленении Балтийского щита и плиты Русской платформы (Северное Приладожье, Восточное Заонежье) и в других блоках с высокорadioактивными гранитами. Кроме того, целесообразно по всей территории Российской Федерации создать современный банк данных «поверхностных» урановорудных объектов, включив в него объекты, связанные с процессами торфообразования и карстообразования.

Первоочередными объектами для развития минерально-сырьевой базы урана за счет «поверхностных» урановых месторождений можно считать: Витимо-Каренгский ПУРР (P_3 — 40 тыс. т), Санарский ПУРР (P_3 — 10 тыс. т), Волжско-Камский (P_3 — 30 тыс. т). Возможность локализации «поверхностного» уранового оруденения отмечается при проведении ГДП–200 в Карело-Кольском регионе, на юге Западной Сибири и Центральном Урале.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карпунин А.М., Миронов Ю.Б. и др. Криолитолиз как механизм уранового накопления в осадочных породах // Материалы по геологии урана, редких и редкоземельных металлов. — М., 2011. — Вып. 157.
2. Уран Российских недр / ред. Г.А. Машковцева. — М., 2010.
3. Boyle D.R. The Genesis of Surficial Uranium Deposits, 1984/ Surficial uranium deposits, IAEA, Vienna. — 1984. — IAEA-TECDOC-322. — 45.
4. Culbert R.R., Boyle D.R., Levinson A.A. Surficial Uranium Deposits in Canada, 1984/ Surficial uranium deposits, IAEA, Vienna, 1984, IAEA-TECDOC-322. — 179.
5. Wilson M.R. Uranium Enrichment in European Peat Bog, 1984/ Surficial uranium deposits, IAEA, Vienna, 1984, IAEA-TECDOC-322. — 197.
6. Otton J.K. Surficial Uranium Deposits in the USA, 1984/ Surficial uranium deposits, IAEA, Vienna, 1984, IAEA-TECDOC-322. — 237.
7. Otton J.K. Surficial Uranium Deposits: Summary and Conclusions/ Surficial uranium deposits, IAEA, Vienna, 1984, IAEA-TECDOC-322. — 243.
8. Pagel M. Petrology mineralogy and geochemistry of surficial uranium deposits. Vienna, IAEA, 1984/ Surficial uranium deposits, IAEA, Vienna, 1984, IAEA-TECDOC-322. — 37.

© Коллектив авторов, 2015

Петров Олег Владимирович // OPetrov@vsegei.ru
Миронов Юрий Борисович // Yuri_Mironov@vsegei.ru
Лебедева Галина Борисовна // Galina_Lebedeva@vsegei.ru
Пуговкин Алексей Алексеевич // Aleksey_Pugovkin@vsegei.ru
Шатов Виталий Витальевич // Vitaly_Shatov@vsegei.ru

УДК 553.495.078.(470.21/.22)

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

МЕТАЛЛОГЕНИЯ УРАНА БАЛТИЙСКОГО ЩИТА

Дана характеристика пространственно-временных закономерностей размещения уранового и золото-уранового оруденения Балтийского щита. Особое внимание акцентируется на объектах Пана-Куоляярвинского рудного района (Россия) и их сравнительной характеристике с зарубежными аналогами (Финляндия). Сделан вывод о целесообразности вовлечения известных золото-урановых