

П.Ю. Воронцов

ТОО «СП «Инкай», г. Шымкент

**ВЛИЯНИЕ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА РУД И
ВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД НА ПРОЦЕСС ДОБЫЧИ И
ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ УРАНА МЕТОДОМ ПОДЗЕМНОГО
СКВАЖИННОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ (ПСВ) НА
МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ПЛАСТОВО-ИНФИЛЬТРАЦИОННОГО
ТИПА**

В настоящее время нет определенных геотехнологических параметров и критериев, по которым после вскрытия рудного тела, возможно с высокой долей вероятности прогнозировать возникновение проблем с добычей урана. Изучение геотехнологических свойств руд, влияющих на отработку запасов урана методом ПСВ достигают различными методами: геофизическими, минералого-петрографическими, лабораторными, и т.д. Эти работы приобретают высокую актуальность при решении задач, связанных с низкой эффективностью добычи урана в «проблемных блоках». Специалистам занимающихся анализом проблем при извлечении урана необходимы дополнительные данные по минералого-петрофизическому составу рудовмещающих пород, формам нахождения урана в породе, составу минералов урана, текстурным, структурным особенностям и по литолого-фильтрационным типам распределения урана, степени фильтрационной неоднородности пород, и их кислотоёмкости и т.д.

Ключевые слова: уран, добыча урана, выщелачивание, метод подземного скважинного выщелачивания (ПСВ), месторождения пластово-инфильтрационного типа, минералогия урана, фракции и химический состав проб с урановыми минералами.

DOI: 10.17072/chirvinsky.2022.34

Изучение геотехнологических свойств руд, влияющих на отработку запасов урана методом ПСВ достигают различными методами: геофизическими, минералого-петрографическими, лабораторными, и т.д.

Эти работы приобретают высокую актуальность при решении задач, связанных с низкой эффективностью добычи урана в «проблемных блоках».

В настоящее время последовательность решения этих задач заключается в анализе:

- качества сооружения технологических скважин, их освоения и в корректности посадки фильтров;

- соблюдения баланса технологических растворов по блоку и ячейкам;
- режима подачи кислоты при закислении и выщелачивании урана;
- эффективности ремонтно-восстановительных работ (РВР) на скважинах, уровень восстановления до проектных значений и длительность межремонтного цикла после РВР.

По результатам петрографических исследований установлено, что в формировании рыхлых осадочных пород геологических разрезов месторождений Шу-Сарысуйской провинции Казахстана принимают участие выветрелые и разрушенные породы магматического и осадочно-метаморфогенного происхождения.

Наиболее распространены продукты разрушения пегматоидных образований. Широко представлен класс кремнистых пород нескольких разновидностей, и обломочный материал различных вулканогенных и вулканокластических пород.

В осадочном комплексе присутствуют в достаточном количестве породы контактового метаморфизма, ороговикованные кремнистые и эффузивные породы.

К кремнистым породам (силицитам) относятся углеродисто-кремнистые сланцы, органогенные кремнистые породы широкого спектра (диатомиты, спонголиты, силикофлагелляты, радиоляриты) и кремнеобломочные породы.

Среди вулканических разновидностей отмечаются эффузивные (покровные эффузивы, и по всей видимости, их экструзивные аналоги) и вулканокластические образования (туфы, туфолавы, кластолавы, игнимбриты и другие пирокласты).

От того, из каких материнских пород преимущественно образовался обломочный материал осадочных рудоносных отложений, зависят и технологические свойства руд.

Ниже рассмотрены основные геотехнологические характеристики руд, которые влияют на интенсивность выщелачивания урана.

Формы нахождения урана на месторождениях пластово-инфильтрационного типа Казахстана.

Согласно литературным данным на месторождениях пластово-инфильтрационного типа выделяют следующие формы нахождения урана: водорастворимые, сорбированные, уранорганические, *урановые* минералы.

Наиболее легко вскрываемыми при ПСВ в рудах считаются водорастворимые, сорбированные и уранорганические соединения урана.

Труднее выщелачивается уран из минеральных соединений.

Баланс форм нахождения урана в песчаных рудах определяется по данным фазового химического анализа. Он заключается в последовательном выщелачивании урана следующими реагентами: дистиллированной водой, NaCl (5%), NaOH (2%) и HCl (5%).

Предполагается, что водой выщелачиваются водорастворимые, NaCl сорбированные, NaOH уранорганические и HCl минеральные соединения урана.

Например, в песчаных рудах одного из месторождений, формы нахождения урана имеют следующий средний состав в % от общего содержания урана в руде.

Водорастворимые соединения урана - 9,3%,

Сорбированные соединения урана - 7,2%,

Уранорганические соединения урана – 16,9%,

Минеральные соединения урана - 66,6%.

Как видно из приведенных данных на указанном месторождении при ПСВ легко извлекается до 33 % урана, с добычей остальных 67% могут возникнуть проблемы.

Возможный механизм возникновения урановой минерализации на месторождениях пластово-инфильтрационного типа Казахстана.

Вопросы генезиса месторождений урана пластово-инфильтрационного типа в первую очередь связаны с вопросами миграции урана в пластовых водах и его осаждения на геохимических барьерах.

Для осаждения урана из природных вод необходимо создание на восстановительном барьере определенных физико-химических условий (pH, Eh), при которых растворимые формы U^{6+} переходят в нерастворимые формы U^{4+} .

Считается, что в горных породах важнейшими осадителями урана, создающими восстановительную среду являются органические вещества, сульфиды, соединения железа, фосфаты, глинистые минералы.

В подземных водах растворенные газы: сероводород, водород, углеводороды.

При этом механизм возникновения урановой минерализации остается не выясненным.

Тем не менее, знание о генезисе урановой минерализации чрезвычайно важно для понимания процесса добычи, поскольку при выщелачивании минералов их растворение происходит в направлении обратном их способу образования.

Изучение эпигенетической урановой минерализации

пластово-инфильтрационных месторождений с помощью просвечивающей электронной микроскопии, позволил доказать, что черные рыхлые, сажистые и плёночные образования в рудных песках «урановые черни», имеют колломорфную микроструктуру, с размерами кристаллических индивидов от 0,001 до 20,0 мкм, которые диагностируются микродифракционно как коффинит и настуран.

Наблюдаемые формы минералов урана, позволили предложить следующий механизм образования и накопления колломорфных агрегатов эпигенетической урановой минерализации на границах рудогенерирующих зон пластового окисления.

Комплексные соединения шестивалентного урана, находящегося в кислородосодержащих водах зоны пластового окисления в кларковых (10^{-5} , 10^{-6} г/л) концентрациях, постоянно транспортируются ими к восстановительному геохимическому барьеру. На барьере в условиях недостатка кислорода происходит восстановление шестивалентного урана до труднорастворимых соединений четырехвалентного урана. В результате этого процесса в водной среде во взвешенном состоянии возникают микрочастицы минеральной фазы. Эти зародыши имеют весьма незначительные размеры в пределах 0,001-1,0 мкм. При этом частицы имеют большую величину свободной поверхностной энергии, большую адсорбционную способность, электростатические свойства поверхности и слабые фильтрационные свойства. Образовавшиеся в пластовой воде микроскопические частицы минералов урана малых размеров образуют с жидкой фазой коллоидный раствор.

Накопителями коллоидных растворов служат тупиковые поры, микропоры (<0,001 мкм) и мезопоры (0,001-0,1 мкм). Крупные поры, имеющие размеры 0,1-1,0 мкм, создают в горных породах систему транспортных каналов, по которым осуществляется циркуляция истинных растворов пластовых вод.

Коллоидные растворы задерживаются породами с диаметром пор от 0,1 до 0,001 мкм. Поры такого размера характерны для алевроглинистого заполнителя рудовмещающих песков, в котором одним из основных компонентов являются глинистые минералы. Дисперсный монтмориллонит или микрочешуйчатый галлуазит выполняют роль природных фильтров-накопителей, поэтому пространственно и генетически тесно ассоциируют с рудными минералами.

Известно, что вещества стремятся принимать состояние с наименьшей удельной поверхностью и, следовательно, с наименьшей свободной энергией. Поэтому, образовавшиеся микрочастицы под действием процесса собирательной кристаллизации укрупняются.

В процессе старения происходит постепенное изменение физических свойств минеральных индивидов их внутренней кристаллической структуры: обезвоживания и уплотнения, отвердевания, уменьшения количества микропор, сокращения объема, потери первичных микроструктур, уменьшения дефектности кристаллических решеток. В конечном итоге процесс старения минерального агрегата должен приводить к потере его первичной микроструктуры в результате самопроизвольно возникающего процесса перекристаллизации, заключающегося в объединении беспорядочно ориентированных дисперсных фаз в более крупные индивиды с единой кристаллической решеткой.

Если в пластовой воде изменяются щелочно-кислотные и окислительно-восстановительные свойства, то образовавшиеся минеральные урановые образования могут пептизировать (т.е. обратно переходить в раствор) до образования коллоидного раствора, и в дальнейшем, при полном растворении микрокристаллических частиц урановых минералов образовывать истинный раствор, в котором уран содержится в шестивалентном состоянии. В этом заключается цикличность процесса эпигенетического минералообразования, когда при определенных условиях происходит накопление урановой минерализации, а при смене физикохимических условий её растворение и последующее возникновение в новых благоприятных условиях из коллоидных растворов.

Необходимо отметить, что степень растворимости урановых минералов напрямую связана с их возрастом. Наиболее легко выщелачиваются относительно «молодые» минералы урана. Значительно труднее выщелачиваются «старые», прошедшие стадию перекристаллизации минералы урана, из которых формируются, как правило, очень «богатые» руды.

Особенности протекания реакций растворения минералов урана месторождений пластово-инфильтрационного типа.

Минералы урана месторождений пластово-инфильтрационного типа можно отнести к коагулированным обратимым лиофобным коллоидам с большой удельной поверхностью и поверхностным зарядом.

Поэтому растворение и выщелачивание окислов урана во вмещающей породе необходимо рассматривать - как протекание процесса химического взаимодействия растворителя с веществом в коагулированном коллоидном состоянии. В присутствии электролитов, каким является сернокислотный выщелачивающий раствор, при

определенных значениях pH и Eh в системе, на начальном этапе происходит пептизация урановых минералов, этот процесс заключается в первоначальном разрушении урановых минералов, имеющих размеры порядка от 1-10 мкм до микрочастиц нано размерности. Появление большого количества ультрамикрочастиц в поровом пространстве приводит в определенных условиях к их слипанию в цепочные, сеточные структуры (тиксотропные) с увеличением доли прочно связанной воды на поверхности этих частиц. В этом случае, резко уменьшается объем свободной жидкости, способной к перемещению выщелачивающих растворов в поровом пространстве вплоть до полной их остановки. Необходимо так же отметить, что для разрушения подобных структур, образующихся в поровом пространстве пород необходимо создавать большие градиенты напора, не всегда реализуемые на практике. При образовании тиксотропных структур скорость растворения микрочастиц урановых минералов будет лимитироваться диффузией растворителя к их поверхности.

Образование тиксотропных структур при ПСВ снижает проницаемость породы и приводит к снижению коэффициента фильтрации в межскважинном пространстве из-за увеличения доли прочно связанной воды. Поэтому уменьшение проницаемости пород напрямую зависит, от количества алеврит-глинистых частиц и от количества пептизированных микрочастиц урановых минералов.

Влияние структуры и текстуры урановых руд на процесс ПСВ урана сернокислотным методом.

Текстурные и структурные особенности распределения урановой минерализации во вмещающей породе определяют степень «упорности» руд для выщелачивания урана методом ПСВ и могут быть причиной низких концентраций урана в продуктивных растворах, несмотря на высокие содержания урана в породе.

Руды месторождений пластово-инфильтрационного типа характеризуются дисперсной и тонковкрапленной (рядовые руды) или цементной (богатые руды) текстурой, определяемой размещением урановых минералов в интерстициях (поровом пространстве) обломочных пород, в алеврит-глинистом наполнителе песка, а также в самих обломках.

По характеру распределения урановой минерализации в песчаных проницаемых отложениях выделяются дисперсно-рассеянные, крапленные, пятнисто—крапленные, пятнистые и полосчато—крапленные текстуры.

Руды, в которых урановая минерализация полностью заполняет

поровое пространство, как правило, относится к очень богатым рудам. Подобные руды являются «упорными» для выщелачивания урана, поскольку поровое пространство непроницаемо для выщелачивающих растворов. В этом случае серноокислотные растворы взаимодействуют только с доступной внешней поверхностью скопления урановой минерализации и поэтому процесс полного растворения минералов урана затягивается на длительное время.

Влияние содержания урана в породе на процесс ПСВ. Факт плохого растворения богатых руд отмечается в отчетах по детальной разведке большинства месторождения пласто-инфильтрационного типа Шу-сарьсуйской провинции. Наиболее благоприятным для вскрытия, являются руды с содержанием урана $> 0,05\%$. Наименее благоприятными для выщелачивания будут руды с содержанием урана $> 0,5\%$.

В работе [1] отмечается, что «в блоках с высокой продуктивностью металла, на отработку которых требуется в несколько раз больший объем растворов, концентрация выщелачивающих растворов и интенсивность откачки должны быть больше по сравнению с обрабатываемыми бедными участками».

По геофизическим данным можно оценить долю запасов, которая приходится на руды с различными содержаниями урана. Если доля запасов на вскрываемом участке с малым содержанием урана значительно превышает долю запасов с большим содержанием, то руды на этом участке будут благоприятны для выщелачивания. И наоборот руды, в которых доля запасов с большим содержанием урана увеличена, можно отнести к «упорным», плохо выщелачиваемым рудам.

Распределение урана по гранулометрическим классам осадочных пород. Гранулометрический анализ осадочных пород проводится с целью определения содержания в породе частиц различного размера (размерных фракций). Для обломочных пород гранулометрический состав является классификационным признаком. По размеру частиц породы подразделяются на ряд типов: исефиты (крупнообломочные), псаммиты (песчаные), алевриты (мелкообломочные), пелиты (породы с частицами $< 0,001$ мм).

Гранулометрический состав определяется условиями образования породы, динамикой среды и зависит от рельефа и состава первичного материала. Гранулометрический состав используется при реконструкции фаций, палеогеографической обстановки геологического прошлого.

О характере распределения урана в осадочных породах судят по его распределению по гранулометрическим фракциям.

В таблице 1 приведено среднее распределение гранулометрического состава технологических проб.

Таблица 1

Фракция, мм										
+10,0	-10,0 +7,0	-7,0 +5,0	-5,0 +3,0	-3,0 +2,0	-2,0 +1,0	-1,0 +0,5	-0,5 +0,25	-0,25 +0,1	-0,1 +0,05	-0,05
Содержание, %										
5,1	3,3	5,1	9,3	9,7	19,7	3,1	20,3	18,8	4,5	1,0

В таблице 2 приведена информация по среднему химическому составу технологических проб.

Таблица 2

Компонент, %	SiO ₂ 82,9	TiO ₂ 0,2	Al ₂ O ₃ 6,3	Fe ₂ O ₃ 2,6	FeO 0,6	MnO 0,02	CaO 0,2	MgO 0,3	U ₃ O ₈ 0,072
Компонент, %	Na ₂ O 0,9	K ₂ O 2,2	P ₂ O ₅ 0,03	Собщ. 0,4	CO ₂ 0,5	Сорг 0,3	Влага 0,2	Σ 99,6	

В таблице 3 приведена информация по среднему минеральному составу технологических проб.

Таблица 3

Минералы	%
Кварц SiO ₂	66,7
Калиевый полевой шпат KAlSi ₃ O ₈	13,1
Полевые шпаты (плаггиоклаз) NaAlSi ₃ O ₈	8,3
Каолинит [Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄]	4,0
Слюды (мусковит) [K ₂ Al ₄ (Si ₆ Al ₂ O ₂₀)(OH,F) ₄]	2,2
Кальцит (возможно Mg-кальцит) [Ca,Mg(CO ₃) ₂]	2,8
Минералы железа	2,9
Минералы урана	0,072

Наблюдения показывают, что минералы урана образуют плечные скопления на поверхности обломочных зерен, заполняют микротрещинки песчинок и по своему характеру распределения относительно доступны для выщелачивающих растворов.

В то же время результаты общего минералогического анализа указывают на то, что основную долю по химическому составу пробы более 66% занимает кварц. Далее был изучен минералогический анализ песчаного класса проб.

Выше было отмечено, что, если урановая минерализация полностью замещает поровый цемент, что характерно для богатых «барьерных руд», или образует минеральные скопления внутри

обломочных зерен песка, заполняя микротрещины или микропоры, то в этом случае доставка растворителя к поверхности уранового минерала и отвод растворенного урана в межзерновое проницаемое поровое пространство пород будет определяться диффузионными процессами. Ясно, что скорость выщелачивания урана в этом случае будет мала.

Большое количество микропористого трещиноватого обломочного материала, содержащего урановую минерализацию внутри своего объема, должно сказаться на снижении кинетических параметров выщелачивания урана.

Кислотоемкость пород. Основными компонентами пород, влияющими на кислотоемкость, являются карбонаты кальция, магния и железа, слюдистые минералы (хлорит, биотит), глинистое и органическое вещество песчаных отложений.

Карбонатность пород. Минералого-петрографическое изучение руд показало, что карбонаты в рудах имеют различное происхождение.

Различаются карбонаты, которые появились в песках в момент накопления осадков. Они появляются в песках в связи с разрушением частиц пород, содержащих карбонаты (породы пегматитового, эффузивного и органогенного комплекса). Наряду с ними в рудах отмечаются карбонаты, рожденные эпигенетическими процессами.

Если первая группа в основном сосредоточена в грубых классах песка, то «карбонатность» эпигенетическая в основном связана с алевроит-глинистым классом пород.

Эпигенетические изменения при окислительных процессах органического вещества пород обогащают алевроит-глинистую фракцию песков карбонатами, слюдистыми, глинистыми минералами, органическим веществом. Поставщиком органического вещества в алевроит-глинистую фракцию являются: тонкодисперсный обугленный растительный детрит, а, также битуминозная органика (более древнего происхождения), содержащаяся в органогенном комплексе обломочного материала песков.

Относительно крупных минеральных выделений карбонатов известно, что они полностью не растворяются: в выщелачивающих растворах из-за защитной рубашки гипса, возникающей на их поверхности. В то же время карбонаты алевроит-глинистой размерности растворяются полностью.

Необходимое количество кислоты для растворения карбонатов можно определить по кривым титрования суспензий кернового материала кислотой.

Глинистое вещество. Вещественный состав глин

гранулометрических классов алеврит-глинистой размерности определяется на основе рентгенофазового анализа. Наличие большого количества слюдистых минералов, каолинита и монтмориллонита, может так же указывать на высокую кислотоёмкость пород.

Органическое вещество. Органическое вещество влияет на технологические параметры процесса ПСВ, такие как, кислотоёмкость, буферные свойства по Eh. При больших содержаниях активного органического вещества в породе, увеличивается кислотоёмкость пород, Eh растворов имеет низкие значения и процесс выщелачивания затягивается по времени.

На основе минералогического изучения вещества пород выделено несколько его разновидностей:

- органогенное вещество кремнистых пород (диатомитов), представленное сапропелевым веществом и продуктами его изменения углеводородами битумного ряда (кероген);

- органическое вещество углеродисто-кремнистых сланцев, фтанитов, которые содержат в своем составе также сапропелевые компоненты в форме антраксолита, шунгита, графитита и графита различной степени дисперсности;

- органическое вещество газово-жидких включений в гравийно-песчаных обломочных зернах полевых шпатах и кварца;

- углефицированный и гелефицированный растительный детрит, и продукты его разложения;

- воднорастворимое органическое вещество.

В результате воздействия раствора серной кислоты на рудные пески происходит диспергация и частичное разрушение слюдистых и глинистых минералов, растворение карбонатов, коллоидных гидроксидов железа и алюминия. Время и скорость взаимодействия песков с серной кислотой, расход сернокислого раствора, напрямую зависят от содержания в составе песков растворимых и активно взаимодействующих с кислотой минеральных агрегатов.

Влияние восстановителей рудовмещающих пород на ОВП на стадии закисления при сернокислотном выщелачивании урана.

При объяснении процессов, происходящих при выщелачивании урана в опытах на трубках и натуральных условиях нет убедительных комментариев относительно резкого уменьшения ОВП (до отрицательных значений) на стадии закисления. Нередко наблюдается изменение ОВП выходных растворов, что при снижении pH растворов в диапазоне с 6,3 до 5,5 происходит резкое уменьшение Eh раствора. Поскольку для эффективного выщелачивания урана необходимы

определенные значения pH и Eh , то становится очевидным, что уменьшение окислительно-восстановительного потенциала, которое обычно протекает длительное время - во первых, сопровождается увеличением расхода кислоты, а во - вторых не обеспечивает необходимых условий для растворения урана.

Проницаемость руд.

Известно, что фильтрационные свойства пород зависят от вещественного состава алеврит-глинистой фракции рудных песков. При воздействии сернокислотных растворов с веществом пород, происходит уменьшение коэффициента фильтрации. Поэтому изучение минерального состава тонких фракций рудных песков позволяет прогнозировать изменение проницаемости пород при движении выщелачивающих растворов.

Водопроницаемые свойства пород сильно зависят от минерального состава алеврит-глинистой фракции. Известно, что при добавлении к кварцевому песку 10% бентонита (монтмориллонита, смектита) водопроницаемость его уменьшается в 10 000 раз.

Более проницаемые пески свойственны каолинитовому составу глинистого вещества. Менее проницаемые - монтмориллонитовому (смектитовому).

Библиографический список

1. Белецкий В. И., Богатков Л. К., Волков Н. И. и др. Справочник по геотехнологии урана. М. : Энергоатомиздат, 1997. 672 с
2. Грабовников В.А. Геотехнологические исследования при разведке металлов. 2-е изд. М.: Недра, 1995. 120 с.
3. Липилина И.И. Уранил и его соединения. М. Изд-во АН СССР. 1959. 316 с.
4. Абдульманов И.Г., Бровин К.Г., Лаверов Н.П., Лисицин А.К., Нестеров Ю.В., Новосельцев В.В., Солодов И.Н., Фазлуллин М.И., Фарбер В.Я., Шмариович Е.М. Подземное выщелачивание полимерных руд. М. Изд-во Академии горных наук. 1998. 446 с.
5. Марков В.К., Верный Е.А., Виноградов А.В. и др. Уран. Методы его определения / Под редакцией В.К.Маркова. Изд. 2-е, испр. и доп. М.: Атомиздат. 1964. 503 с.
6. Анализ минерального сырья / Под редакцией Ю.Н. Книповича, Ю.В. Морачевского // 3-е изд., стер., испр. Л.: ГХИ. 1956. 1055 с
7. Реми Г. Курс неорганической химии. Том 2. Пер. с нем. М.: Мир, 1966. 838 с.
8. Копченко Е.В. Минералогический анализ шлихов и рудных концентратов. М: Недра, 1979. 247 с.
9. Уваров В.Э. Экспрессный рентгенографический количественный фазовый анализ (ЭРКФА) горных пород и почв // Инструкция НСОММИ № 29. М.: ВИМС, 1991. 18 с.
10. Глинистые минералы: слюды, хлориты / В.А. Дриц, А.Г. Коссовская. М.: Наука, 1991. 176 с.
11. Методическое руководство по петрографо-минералогическому изучению глин / Под ред.М.Ф.Викзуловой. Гостотехиздат, 1957. 448 с.

AN EFFECT OF THE MATERIAL COMPOSITION OF ORES AND
HOST ROCKS TO THE URANIUM MINING AND LEACHING
PROCESS BY THE METHOD OF IN-SITU LEACHING (ISL) AT
RESERVOIR-INFILTRATION-TYPE DEPOSITS.

P.Y. Vorontsov

pashen007@mail.ru

Currently there are no specific geotechnological parameters and criteria by which after opening of an ore body it is possible with a high degree of probability to predict an occurrence of problems with the uranium mining. The study of geotechnological properties of ores affecting on uranium reserves development by the ISL method is achieved by various methods: geophysical, mineralogical and petrographic, laboratory, etc. These works are becoming highly relevant while solving problems related with a low efficiency of uranium mining in difficult areas. Specialists engaged in the analysis of problems during an uranium extraction are required an additional data concerning the mineralogical and petrophysical composition of ore-hosting rocks, the forms of uranium in the rock, the composition of uranium minerals, textural, structural features and lithological and filtration types of uranium distribution, the degree of rocks heterogeneity filtration, and their acid capacity, and etc.

Keywords: Uranium, uranium mining, leaching, in-situ leaching (ISL), reservoir infiltration type deposits, uranium mineralogy, fraction and chemical composition of samples with the uranium minerals.