

10. Lesbros-Piat-Desvial, M. Hydrothermal alteration and uranium mineralization at the Camie River Prospect (Otish Basin, Québec) / M. Lesbros-Piat-Desvial / LAVAL Univ. 2014.

11. Mercadier, J. From sources to deposits: Recent advances about the unconformity-related uranium deposits / J. Mercadier, A. Ruchard, M. Catholiveau, M.-C. Boiren a.o / URAM 2014. Sess.6 in honor of M. Cuney. Vienna Aus.

12. Richard, A. An evaporated seawater origin for the ore forming brines in unconformity-related uranium deposits / A. Richard, R. Banks, J. Mercadier a.o. / Geochemia et cosmochemia Acta. — 2011. — V. 75. — № 10.

13. Wilson, N. Post mineralization origin of organic matter in Atabasca unconformed-type deposits / N. Wilson, K. Stasiuk, M. Fowler / Saskatchewan geological survey investigations. — 2002. — V. 2.

© Шумилин М.В., 2017

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

УДК 553.495

Тарханова Г.А., Прохоров Д.А. (ФГБУ «ВИМС»)

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ УРАНОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ «ВИТИМСКОГО» ТИПА

*Рассмотрены геологическое строение и история развития Витимского урановорудного района. Изучены закономерности локализации уранового оруденения в палеодолинных структурах, рудоконтролирующие факторы и минеральный состав рудных концентраций. **Ключевые слова:** урановые месторождения, гидрогенные месторождения, экзогенно-эпигенетический тип, базальный тип, Витимский урановорудный район, нингиоит.*

Tarkhanova G.A., Prokhorov D.A. (VIMS)

GENETIC FEATURES OF «VITIM» TYPE URANIUM ORE FORMATION

*The review of Vitim uranium area geological formation and its developing history. Objects of research: ground rule of uranium ore localization at the paleo valley structure, factor of ore control and mineral composition of the ore concentration. **Keywords:** uranium deposit, hydrogenous deposits, exogenous-epigenetic type, basal type, Vitim uranium ore district, ningyoite.*

Витимский урановорудный район, открытый в 1970–1980-х годах Сосновским ПГО, является основной сырьевой базы России для добычи урана способом скважинного подземного выщелачивания. Его сырьевой потенциал связан с экзогенно-эпигенетическими месторождениями палеодолинного типа, локализованными под плато-базальтами в миоцен-плиоценовых проницаемых обводненных отложениях овражно-балочного литогенетического комплекса, выполняющих распадки на склонах хребтов и в крупных долинах между ними, заполненными осадками аллювиального и озерного литогенетических комплексов.

Витимский рудный район находится в пределах архейского Амалатского жесткого блока (глыбы), расположенного в Байкальском складчатом поясе и сформировавшегося между мезозойской Сибирской (раннепротерозойской Ангарской) платформой и

Восточно-Забайкальской раннегерцинской складчатой областью, консолидировавшейся в раннемезозойскую эпоху. В геологическом строении района (рис. 1) принимают участие структурно-формационные комплексы от архея до современных осадочных образований. Домезозойский фундамент образован двумя комплексами пород: протерозойскими метаморфическими образованиями гаргинской серии (PR_{1gr}), распространенными главным образом в западной, северо-восточной и юго-восточной частях урановорудного района, и специализированными на уран интрузивно-анатектическими и палингено-метасоматическими гранитоидами (граниты, гранодиориты, диориты) баргузинского (PR_2b) и витимканского (PZ_{2-3v}) комплексов со средним содержанием урана 6,5 и 7,8 10^{-4} %, развитыми главным образом в центральной части района. Территория Амалатского плато (центральная часть Витимского плоскогорья) в мезозое представляла собой жесткий, малоподвижный блок с крайне слабым проявлением процессов тектономагматических активизаций, что обусловило незначительное по масштабам осадконакопление лишь в меловое время и длительное проявление гипергенных процессов, обусловивших интенсивное формирование кор выветривания. В кайнозойский этап, во время которого после завершения мезозойской активизации в пределах Витимского плоскогорья и, в частности, Амалатского плато, чередовались эпохи корообразования и осадкообразования. На Витимском плоскогорье после длительного (K_2-P_{2-3}) перерыва в осадконакоплении, сопровождавшегося корообразованием и формированием специализированных на уран областей питания, в олигоцене проявилась внутриплатформенная тектоническая активизация, в результате которой Амалатское плато воздымалось как единый блок. Движения по долгоживущим тектоническим нарушениям в пределах самого блока, контролирующим мезозойские грабены (K_1), обусловили возникновение на плато холмистых гряд и приуроченных к зоне мезозойских грабенов межгрядовых долин северо-восточного простирания. Образовались Северный, Центральный, Байсыханский, Ингурский хребты и расположенные между ними Хойгутская, Аталангинская и Амалатская долины. По системе разломов северо-западного простирания закладывались палеораспадки, расчленявшие склоны холмистых гряд. Это активизировало гидродинамику поверхностно-грунтовых вод и привело к осадконакоплению в отрицательных формах рельефа. В палеораспадках и в межгрядовых долинах накопились отложения вулканогенно-осадочной формации, соответствующей джилдининской свите (N_{1-2dz}) и представленных пролювиально-делювиальным и озерно-аллювиальным комплексами. В позднем плиоцене вновь проявилась тектоно-магматическая активизация, территория Витимского плато воздымалась единым блоком. Эпи-платформенный орогенный этап сопровождался проявлением вулканизма (формирование покровов базальтов) вплоть до вюрма (Q_4).

ка от 2 до 10 раз. Состав осадков в значительной степени подчинен составу подстилающих их специализированных на уран пород фундамента, существенное накопление урана имело место уже в ходе седиментогенеза. Осадочные и вулканогенно-осадочные отложения джиллиндинской свиты наряду со специализированными на уран гранитоидами и их корой выветривания, являлись источником металла при последующем рудообразовании. Помимо урана в процессе осадкообразования в делювиально-овражных отложениях в небольших, но превышающих кларк, количествах накапливались другие микроэлементы, такие как Mo, Sc, Nb, Sr и др.

Наряду с основным промышленным оруденением в глинисто-песчаных отложениях джиллиндинской свиты, урановая минерализация распространена в образованиях коры выветривания гранитов и в перекрывающих вулканитах. Урановая минерализация представлена преимущественно нингиоитом при подчиненной роли коффинита и оксидов урана, с которыми ассоциируют дисульфиды железа и сульфиды цинка, новообразованное углеродистое вещество и другие парагенетические минералы. Однако морфологические особенности минеральных агрегатов, их вещественный и элементный состав в различных литологических разностях рудовмещающего комплекса пород на разных историко-геологических стадиях имеют свои особенности.

Самый *ранний этап формирования рудных концентраций* был обнаружен на Кулариктинском рудном поле, расположенном на северо-восточной части Амалатского плато базальтов на южном склоне Северного поднятия и включает серию палеораспадов второго и третьего порядков, являющихся притоками Хойгойской стволной палеодолины. Процесс рудообразования рассмотрен на группе сближенных палеораспадов третьего порядка, являющихся притоками палеодолины Эмкерсе, врезанными в фундамент, сложенный лейкократовыми и биотитовыми среднезернистыми гранитами и характеризующимися повышенной радиоактивностью 20–80 мкр/час. На всей площади гранитов широко развиты коры выветривания (обогащенные легкоподвижным растворимым ураном за счет урансодержащих грунтовых вод, поступающих с вершины поднятия), последовательно вовлекавшиеся в осадочный процесс (рис. 2 I). В разрезе отложений верхнеджиллиндинской свиты, выполняющих рудовмещающие палеораспадки, выделяются две пачки — нижняя (элювиально-делювиальная) и верхняя (смешанная озерная и пролювиально-делювиальная). Отложения нижней пачки преобладают в верховьях и бортах палеораспадов, вниз по течению распадков их мощность сокращается, при этом мощность верхней пачки резко возрастает. Урановое оруденение локализуется на разных уровнях разреза — от базальной части дресвяно-щелочистых отложений до средней части озерных отложений. Рудовмещающими породами на Кулариктинском рудном поле в палеоструктурах второго и в основном третьего порядков являются как желтые окисленные грубозернистые осадки нижней

пачки, так и сероцветные песчано-глинистые осадки верхней пачки. Рассмотрим строение вскрываемого разреза и положение в нем оруденения последовательно от верховьев к устью палеораспадов.

В верховьях распадков выявляется оруденение, приуроченное к грубозернистым желтым осадкам, занимающим нижнюю часть вскрытого осадочного разреза, залегающего на дезинтегрированных гранитах, пропитанных гидроксидами железа. В некоторых распадках они перекрываются серыми песчано-глинистыми породами озерного генезиса. Макроскопически породам свойственны признаки как коры выветривания, так и осадка, накапливаются они на склоне и характеризуют слабо перемещенные коры выветривания (рис. 2 II). По мере роста распадков происходило неоднократное отложение грубозернистых осадков за счет перебива кор выветривания гранитов. Содержание урана в породе 0,006–0,009 %, в единичных пробах — 0,01 %, мощность горизонта в среднем 20 м. Минеральные фазы урановой минерализации в самых верхах распадков не установлены. В шлифах окисление фиксируется по слюдыстым минералам. Интенсивность желтой окраски пород зависит от количества биотита, гидрослюды и хлорита в цементе осадков. Окислен биотит и внутри обломков гранита. В вертикальном разрезе желтых рудовмещающих пород в случае их перекрытия отчетливо проявляется последовательное (снизу-вверх) исчезновение сплошной желтой окраски осадка, когда желтая окраска сохраняется в виде пятен на фоне светло-серого цвета. В самой кровле появляются прослойки светло-серого цвета или вся верхняя часть этого рудоносного горизонта становится светло-серой. Процесс восстановления (с пятнистым остаточным характером желтых пятен среди светло-серой или зеленовато-серой окраски пород в грубозернистых осадках) имеет вертикальную направленность и развивается от серых перекрывающих (озерных) песчано-глинистых осадков, богатых растительными остатками. Можно сделать вывод, что до отложений озера нижний базальный отрезок разреза был весь желтым окисленным. Именно к таким желтым осадкам и приурочено оруденение (рис. 2 III). Урансодержащие образования в породе одиночны и в основном они аморфны. В единичном случае при расшифровке микрофракционной картины диагностирован оксид урана. Обнаружены обломочные цирконы и оксиды титана с содержанием урана в десятые доли процента.

В средней части распадков вскрывается наиболее сложный литологический разрез и наиболее рудоносный. Рудные концентрации обнаруживаются как в базальных крупнозернистых желтых и светло-серых восстановленных разностях песков, так в первично серых алевритистых прослоях озерной фации. Повышенная гамма-активность фиксируется практически по всему осадочному разрезу вплоть до перекрывающих базальтов. В нескольких скважинах она опускается и в кору выветривания гранитов.

Устанавливается два рудных тела, приуроченных к различным уровням разреза и пространственно

разобщенным. Нижнее, залегающее в грубозернистых песках базального горизонта, характеризуется большой мощностью с достаточно равномерными содержаниями урана от больших тысячных до сотых долей процента. Верхнее тело характеризуется контраст-

ными содержаниями урана от тысячных до десятых долей процента. Грубозернистые осадки в основании разреза отчетливо окислены, содержание $C_{орг}$ составляет $< 0,05\%$. Интенсивность и оттенки желтого цвета зависят от количества окисляющихся компонентов

породы: биотита, гидрослюд, хлорита. В верхней части базальной пачки порода становится светло-серой. В ряде случаев в шлифах в гидрослюдисто-каолинитовом цементе отмечается мелкая единичная вкрапленность зерен пирита, вблизи контакта с перекрывающими сероцветными озерными осадками.

Мощность этой базальной грубозернистой рудовмещающей пачки в поперечном разрезе значительно меняется от 15 до 40 м при отсутствии четко проявленных врезов. Пролувиально-делювиальный характер, повсеместно окисленный облик этих рудовмещающих осадков обусловлен первичной окисленностью и рудоносностью этих пород, т.е. дает возможность рассматривать их как перемещенные по склону коры выветривания гранитов, обогащенных ураном (рис. 2 IV). Вещественный состав руд нижнего рудного тела, вскрытого в базальной части разреза, представлен оксидом урана различной степени раскристаллизации от слабо раскристаллизованного до хорошо раскристаллизованного оксида урана (рис. 3). Во всех случаях оксиды урана приурочены к выделениям слоистых алюмосиликатов. В единичных случаях также в среде слоистых алюмосиликатов диагностирован коффинит. Большая масса ураносодержащих частиц аморфна. Установлено, что основным концентратором урана являются листочки желтого окисленного биотита, участками замещенного каолинитом, располагающегося в обломках гранитов, среди кристаллов кварца и полевых шпатов. Ураносодержащее вещество приурочено к плоскостям спайности биотита. Повышенные содержания урана обнаруживаются и по периферии кристаллов ильменита, заключенного внутри листочков биотита (рис. 4-A). Совместно с ураном устанавливается увеличение содержания кальция и фосфора. Химические анализы биотита свидетельствуют о его интенсивном окислении, с почти полным выносом калия. В титановом минерале обнаружено высокое содержа-

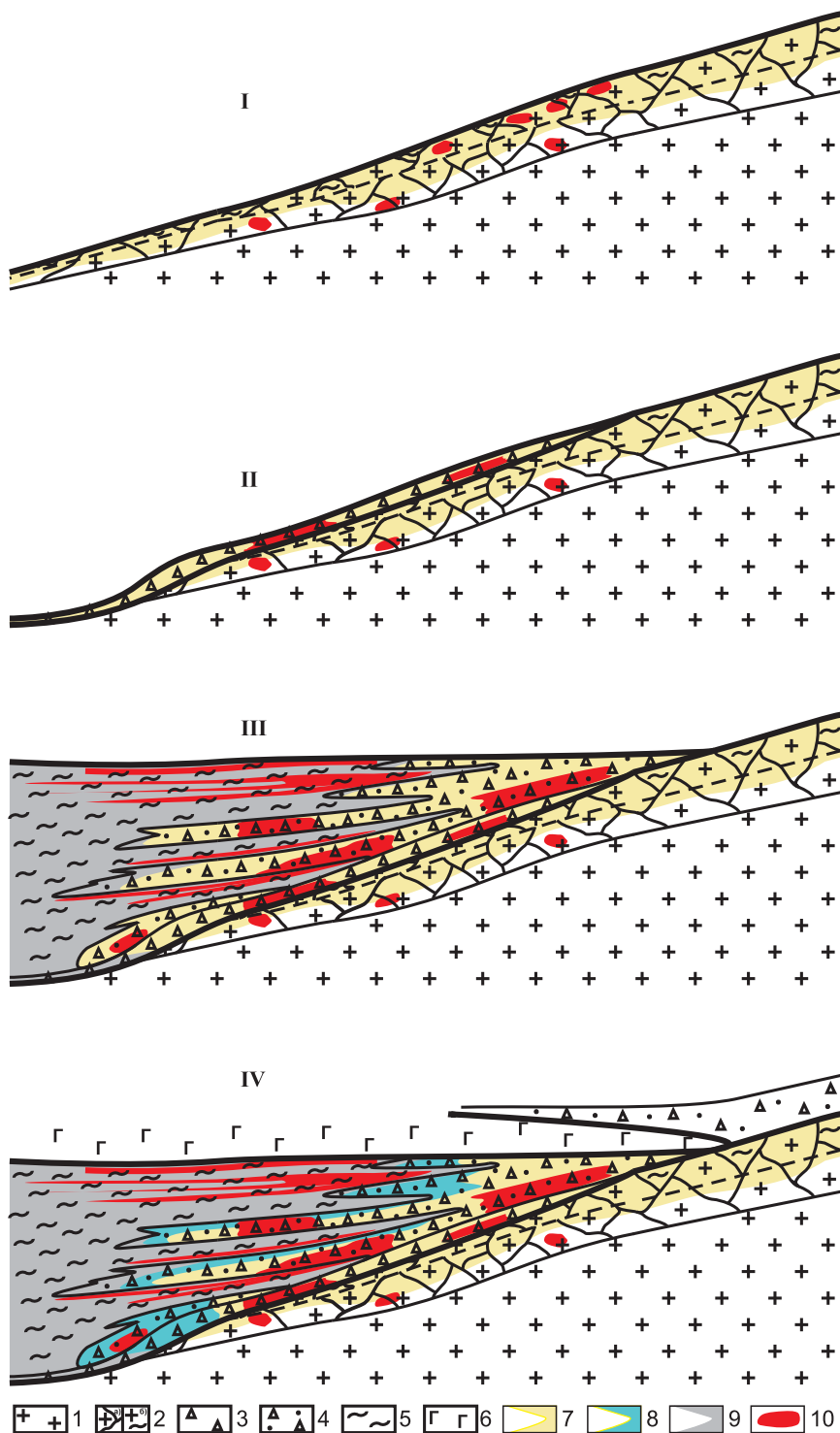


Рис. 2. Последовательность формирования продольного геологического разреза и оруденения в палеораспадах: 1 — граниты; 2 — кора выветривания гранитов: а) зона дезинтеграции, б) глинистая кора выветривания; 3 — делювиальные отложения; 4 — делювиально-пролювиальные отложения; 5 — озерные отложения; 6 — базальты; 7 — желтоцветные породы; 8 — светло-серые, белесые породы; 9 — сероцветные породы; 10 — повышенные концентрации урана

ние марганца, а также повышенные содержания лантана и церия, в ряде случаев ниобия и олова, что обусловлено микроскопическими включениями в мanganоильменит редкометалльных минералов. Находки оруденелых окисленных обломков гранитов в составе грубозернистых окисленных базальных осадков вполне согласуются с предположением о происхождении их за счет перемыва обогащенных ураном кор выветривания гранитов.

Верхнее рудное тело приурочено к толще осадков, характеризующихся большим разнообразием пород, слагающих всю верхнюю часть осадочного разреза. Здесь отмечаются горизонты песчаников с весьма различным размером обломочного материала, количеством и составом глинистого цемента. Глинисто-алевритистые разности с примесью обломочного материала и почти все разности пород содержат обломки гранитов. Породы сероцветные, в глинистых разностях присутствуют растительные обломки, количество которых несколько возрастает к верхам разреза. В крупнозернистых песчаных разностях осадков органические остатки, как правило, не наблюдаются. В самых верхах растительные обломки совместно с чешуйками слюд подчеркивают слоистость глинистых пород. Содержание $S_{орг.}$ в таких породах высокое — целые проценты. Подобное содержание встречается в глинисто-алевритовых прослоях, в песчаных разностях содержание падает до десятых долей процента. Оруденение приурочено к серым глинистым породам. Вдоль контакта алеврита и глинистого песчаника выявлена обильная вкрапленность пирита. Точечными определениями химического состава уран в глинах и растительных остатках не обнаружен. Повышенные содержания урана выявляются вокруг диагенетических выделений пирита, когда урансодержащее вещество концентрируется на их поверхности (рис. 4-Б). В этом веществе определяются повышенные содержания кальция и фосфора.

Установленный факт отчетливо свидетельствует, что в осадках наряду с ураном, перемещенным с ураноносными корами выветривания, происходило и его более позднее осаждение. Этот процесс развивался на стадии диагенеза осадков в глинистых породах озерных фаций, богатых органическим веществом, из грунтовых вод, поступающих со стороны Кулариктинского гранитного массива. Следов окисления по пути движения вод нами не установлено. Сходство состава ураноносных вод, которые формировали рудные концентрации в корках выветривания и диагенетические концентрации очевидны: урансодержащее вещество сопровождается повышенными содержаниями кальция и фосфора. За счет грунтовых вод образуется также оруденение в маломощных горизонтах темно-серых алевритов, богатых растительной органикой вплоть до лигнитов, в самой кровле осадочного разреза перед перекрытием их базальтами.

В низовьях распадков, на приближении к их устью, в осадочном разрезе резко преобладают озерные фации. Нижний грубозернистый базальный горизонт

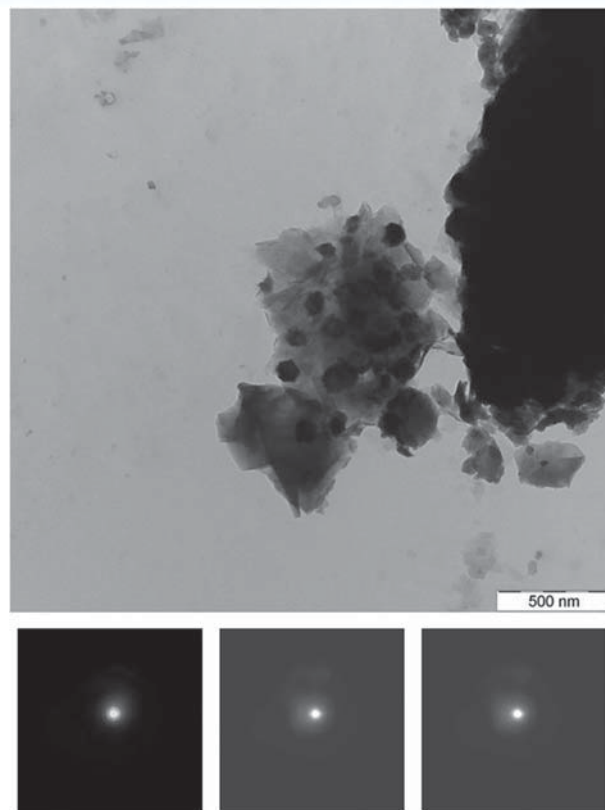


Рис. 3. Овальные частицы оксида урана (вверху) разной степени раскристаллизации (микродифракции внизу) на частичке слоистого алюмосиликата

резко сокращается в мощности и теряет признаки окисленности. Породы имеют зеленовато-серый цвет. В шлифах устанавливаются новообразованные дисульфиды железа. Оруденение с содержаниями урана — большие тысячные доли до 0,01 % тяготеет к породам перемытых кор выветривания (базальный горизонт), часто представленным рыхлыми щебнем и дресвой в песчано-алевритовой массе, а также к подстилающим корам выветривания гранитов, также иногда подвергнутым процессам восстановления.

Изучение рудных образцов из коры выветривания гранитов с содержаниями урана 0,02–0,03 % показывает, что основное количество определяемого урана находится внутри измененного биотита. Окисление в пластинках биотита неравномерное, часть биотита вообще не окислена. Отмечается, что наиболее отчетливо процесс изменения проявлен в биотитах с высоким содержанием титана, именно в таком биотите в самих гранитах присутствует значительное количество аксессуариев — апатит, циркон, ильменит, редкоземельные фосфаты и уранинит. В урансодержащем веществе присутствуют в качестве примесей фосфор и кальций. Эти пластинки измененного биотита с урансодержащим веществом аналогичны урансодержащему биотиту из осадков.

Изучение рудной минерализации в вышележащей серой озерной пачке, проведенное в маломощном горизонте слоистого алеврита богатого растительным детритом, с содержанием урана 0,15 % показало, что

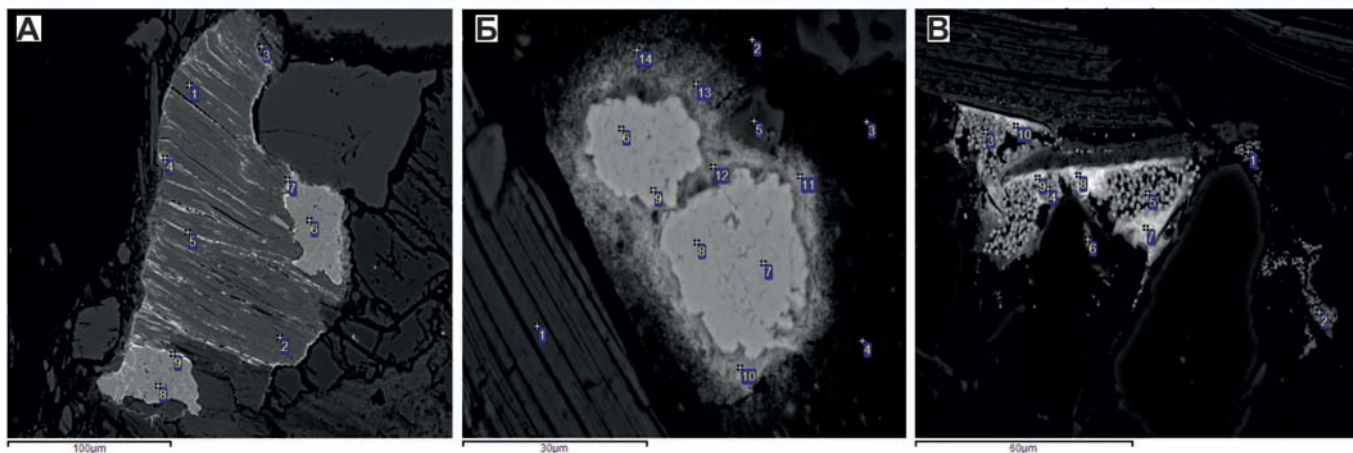


Рис. 4. Урансодержащее вещество в окисленном биотите и вокруг ильменита в гранитном обломке (А); урансодержащая кайма вокруг пирита (Б); скопления пирита и урансодержащего вещества (В)

Таблица 1
Химический состав урановой и прочей минерализации к рис. 4

Spectr.	Na	Mg	Al	Si	P	S	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Zn	Nb	La	Ce	U	O	Total	
А)	1	0,3	1,41	9,71	13,39	0	0	0,06	0,46	0,06	0	0,25	26,53	—	—	—	—	0	32,8	84,98	
	2	0,21	1,14	10,57	13,97	0,18	0	0,21	0,51	0	0,07	0,28	23,57	—	—	—	—	0	33,51	84,21	
	3	0,3	0	10,21	28,82	0	0,07	12,85	0,14	0,07	0	—	0	0,55	—	—	—	1,28	45,67	99,95	
	4	0,18	0,48	6,22	11,94	0,72	0	0	1,89	0,12	0	—	0,22	9,84	—	—	—	—	25,94	27,65	85,21
	5	0,28	0,66	5,92	10,28	0,58	0	0	1,44	0,09	0,09	—	0,19	12,75	—	—	—	—	26,22	26,21	84,71
	6	—	0,1	0	0,21	0,09	0	—	0,17	33,88	0,15	0	7,29	17,54	0,31	0,56	0,72	0,66	1,26	31,1	94,03
	7	—	0,1	1,38	5,56	0,45	0	—	1,21	16,9	0	0,11	1,71	12,05	0	0	0,98	0,72	26,36	27,82	95,35
	8	—	0	0	0	0	0,06	—	0	30,52	0	0,14	32,13	2,26	1,37	0	0,87	0,75	0	31,45	99,55
	9	—	0	0,88	3,96	0,5	0	—	1,32	15,8	0,32	0	2,39	8,9	0	0	0,55	0,85	27,3	24,43	87,19
Б)	1	0	0,56	16,29	21,63	0	0	8,12	0	0	—	—	—	3,82	—	—	—	—	0	42,8	93,22
	2	0	0,33	13,95	19,77	0	0	0,63	0,46	0,21	—	—	—	3,07	—	—	—	—	0,81	37,03	76,27
	3	0,18	0,33	13,23	19,4	0	0	0,76	0,33	0	—	—	—	2,55	—	—	—	—	0	35,54	72,33
	4	0	0,27	12,41	18,22	0	0	0,53	0,35	0,17	—	—	—	2,96	—	—	—	—	0,48	33,67	69,06
	5	8,65	0	10,9	30,99	0	0	0	0,18	0	—	—	—	0,33	—	—	—	—	0	48,36	99,4
	6	—	—	—	0,17	—	53,34	—	—	—	—	—	—	46,47	0	—	—	—	0,00	—	99,99
	7	—	—	—	0,15	—	52,18	—	—	—	—	—	—	46,82	0	—	—	—	0	—	99,14
	8	—	—	—	0,29	—	52,88	—	—	—	—	—	—	46,5	0	—	—	—	0	—	99,67
	9	—	—	—	0,2	—	52,93	—	—	—	—	—	—	46,22	0	—	—	—	0	—	99,36
	10	0,28	0	3,59	4,07	0,38	35,3	0	0,73	0,32	—	—	—	33,86	—	—	—	0	9,1	23,06	110,6
	11	0	0	5,06	6,38	0,44	23,96	0	0,88	0	—	—	—	27,27	—	—	—	0	10,41	22,47	96,87
	12	0	0	7,91	5,25	0,33	29,11	0	0,67	0	—	—	—	29,21	—	—	—	0	8,67	28,68	109,8
	13	0	0,15	9,6	13,36	0,6	0,15	0,36	1,1	0	—	—	—	2,52	—	—	—	0	11,73	23,92	63,49
	14	0	0,13	9,51	14,73	0,33	0,17	0,63	0,74	0,17	—	—	—	2,55	—	—	—	0	6,08	21,49	56,53
В)	1	0,83	0,32	1,24	1,89	0	34,27	0,3	0,27	0,12	—	—	0	35,57	—	—	—	0	0,63	8,13	83,57
	2	0,79	0	0,85	1,06	0	37,8	0,19	0,31	0	—	—	0	36,9	—	—	—	0	0	8,4	86,3
	3	0,52	0	0,15	0,41	0,14	31,53	0,25	1,29	0	—	—	0	34,4	—	—	—	0	3,7	5,14	77,53
	4	0,65	0	0,52	0,84	0,31	32,39	0,68	1,39	0,17	—	—	0	33,17	—	—	—	0	11,32	10,77	92,22
	5	0,95	0	0,64	0,91	0,28	30,97	0,63	0,5	0,35	—	—	0,12	32,26	—	—	—	0	9,03	12,78	89,41
	6	2,34	0	8,65	14,96	0,39	0,33	0,93	0,62	0,59	—	—	0	1,69	—	—	—	0	22,21	29,22	82
	7	0,61	0,13	6,21	8,09	1,06	0,85	1,71	1,03	0,79	—	—	0	2,4	—	—	—	0,02	42,32	30,69	95,92
	8	0,55	0,83	5,55	7,02	0,98	0,32	1,02	0,7	0,46	—	—	0,22	6,89	—	—	—	0	32,93	27,1	84,57
	9	0,67	1,12	5,73	6,69	0,9	0,45	1	0,55	0,45	—	—	0,2	8,34	—	—	—	0	31,75	30,69	88,55
	10	0,84	0,37	6,36	8,08	1,14	0,4	1,65	0,96	0,88	—	—	0	2,63	—	—	—	0	42,85	37,57	103,7

ураноносное вещество тяготеет к скоплениям фрамбoidalного дисульфида железа с нестабильными соотношениями железа и серы. Оно характеризуется высокими содержаниями урана до 42 % и содержит наряду с повышенными количествами кальция и фосфора большой набор элементов Si, Al, K, Ti, Fe (рис. 4-В). Характер выделения и его полиэлементный состав соответствует аморфным многокомпонентным гелям, возможно с частичной раскристаллизацией в виде фазы оксида урана. Повышенные содержания урана до десятых долей процента устанавливаются в глине, обломочном цирконе; содержания урана в лейкоксене (полностью разложенном ильмените) и в растительных остатках составляет соответственно 7–10 % и 3,5 %. Судя по приуроченности основной массы урана к дисульфидной минерализации, связанной с процессами диагенеза в глинистых породах богатых органическим веществом, общая зараженность ураном основных компонентов осадка свидетельствует об отложении урана из урансодержащих грунтовых вод. Во временном отношении оруденение в коре выветривания гранитов является более ранним, чем оруденение гидрогенного типа в осадках. Общее строение осадочного разреза в низовьях распадков характеризуется частым чередованием песков и песчаников различной зернистости и глинистости с горизонтами глинистых пород, богатых растительными остатками. Такой характер разреза обусловлен чередованием поступающих со склона продуктов кор выветривания и общим подъемом уровня воды озера стволовой палеодолины. К концу осадконакопления отложения озера с остатками диатомей становятся преобладающими, но слабо рудоносными.

Однотипность урансодержащего вещества в корях выветривания гранитов, желтых и светло-серых грубозернистых базальных осадках основания осадочного разреза и зелено-желтых прослоях песчаников в средней части смешанного осадочного разреза позволяет нам относить эту часть урановой минерализации к ранней, образованной в первичной коре выветривания гранитов, за счет поверхностно-грунтовых вод, стекающих с вершины гранитного массива. Продолжающееся и в момент последующего осадконакопления движение грунтовых вод, содержащих растворимый уран, обуславливало возникновение оруденения в серых, богатых восстановителями глинистых осадках на стадии экзодиагенеза. В этом случае окислительная рудоконтролирующая зональность не успевает сформироваться, напротив, преобладающее значение приобретают восстановительные процессы, благодаря обогащенности рудовмещающих осадков активным органическим веществом. Этот процесс оказывается более поздним, чем ранние концентрации урана в желтых перемытых корях выветривания.

Для рассмотренного случая оруденения, приуроченного к молодым склоновым осадкам распадков третьего порядка, оказывается объяснимо отсутствие оруденения в крупной палеодолине Эмкерсе второго

порядка, которая в момент склонового осадконакопления заполнялась озерными осадками. Эти осадки благоприятны для отложений урановой минерализации благодаря своему восстановительному потенциалу — они богаты органикой, но рудоотложение происходило только на склоне в области побережья озера. Именно здесь, в осадочном разрезе, материал для осадкоотложений привносился как сверху, так и со стороны озера. Рудные концентрации создавались как за счет обломочной части перемытых кор, так и из грунтовых вод близодновременно осадконакоплению (рис. 2 IV), характеризуя начальные стадии формирования оруденения Витимского типа.

Дальнейшие стадии формирования рудных концентраций рассмотрим на примере месторождения Дыбрыньское, расположенного (рис. 1) на северо-западном склоне Байсыханской гряды, где при детальном минералогическом изучении наметились некоторые закономерности проявления форм урансодержащего вещества в вертикальном разрезе.

Изученные обстановки месторождения Дыбрыньское, в которых локализируются рудовмещающие отложения, представлены поднятым и опущенным блоками аллювиальной палеодолины и примыкающими к ней палеораспадками. В рудовмещающих отложениях выделены нижняя осадочная сероцветная литогенетическая ассоциация (пачка), сформированная аллювиальными и делювиальными отложениями межгрядовых долин, которая отнесена к нижнеджилидинской подсвите, и верхняя вулканогенно-осадочная сероцветная литогенетическая ассоциация (пачка), сформированная озерными отложениями с аллювиальными врезами в межгрядовых долинах и делювиально-пролювиальными отложениями в распадках холмистых гряд, отнесенная к верхнеджилидинской подсвите. Неогеновые отложения перекрыты платобазальтами, прекратившими доступ кислородсодержащих вод в продуктивные отложения и предохранившими месторождения от разрушения. Особенности проявления урановой и сопутствующей минерализации в верхней, средней и нижней частях (рис. 7) рудовмещающих отложений в распадках месторождения Дыбрыньское, характеризуются повышенными концентрациями титана за счет пепловой составляющей.

Основное оруденение пластовой морфологии (лентообразной в плане) локализовано в центральных частях палеораспадков в обогащенных углистым детритом проницаемых сероцветных отложениях. Также отмечаются уровенные площадные аномалии (рис. 5-А) в измененных поверхностным выветриванием пористых, трещиноватых базальтах и их шлаках, связанные, по-видимому, с зоной поверхностного окисления.

Рудовмещающие отложения верхней части верхнеджилидинской подсвиты представлены преимущественно дисперсными глинистыми минералами с включениями разноразмерных обломков кварца, реже полевых шпатов, мелких округлых обломков изотропного

стекла или полуизотропных алюмосиликатов. Среди глинистой массы диагностируется дисперсный каолинит, галлуазит и волокнистый монтмориллонит, единичные зерна дисульфида железа и растительный детрит. Исследования показали, что минеральные обособления, несущие урановые концентрации, имеют крайне неравномерное распространение.

Основными же образованиями, с которыми связаны повышенные содержания урана, являются икристые обособления, представляющие собой, по-видимому, в разной степени раскристаллизованные многокомпонентные, преимущественно титановые гели в глинистой массе породы (рис.5-Б). Размер таких обособлений сотые-десятые доли мкм. Нередко на микродифракционных картинах присутствуют точечные и точечно-кольцевые отражения анатаза. Как правило, обособления, характеризующиеся повышенными содержаниями Ti, Si, Al, Mg, Fe, V, U, Ca, P, количественные соотношения между которыми колеблются в широких пределах, но основная роль всегда принадлежит титану (рис. 6-А). Вмещающая алюмосиликатная часть породы урана практически не содержит. Анатаз или рутил, часто диагностируемый в составе гелей,

имеет самостоятельное значение, является осадителем урана и сопутствующих элементов.

Рудовмещающие отложения средней части разреза верхнеджилиндинской свиты представлены мелкозернистыми глинистыми песчаниками с редкими разноразмерными обломками кварца и единичными — полевыми шпатами. В глинистом цементе отмечаются многочисленные бурые выделения растительных обломков, интенсивно замещенные буроватым монтмориллонитом, который слагает большую часть цемента.

Исследования показали весьма неравномерное распространение минеральных обособлений, содержащих повышенные концентрации урана в глинистоуглеродистой массе. Наиболее распространенными образованиями, с которыми связаны содержания урана, являются мельчайшие выделения диоксида титана (рис. 5-В) — анатаза весьма различной степени раскристаллизации и изменения, располагающиеся в полупрозрачных слабодисперсных алюмосиликатах, или в многокомпонентном, практически аморфном гелеподобном существенно углеродистом веществе. Обычно эти выделения характеризуются по-

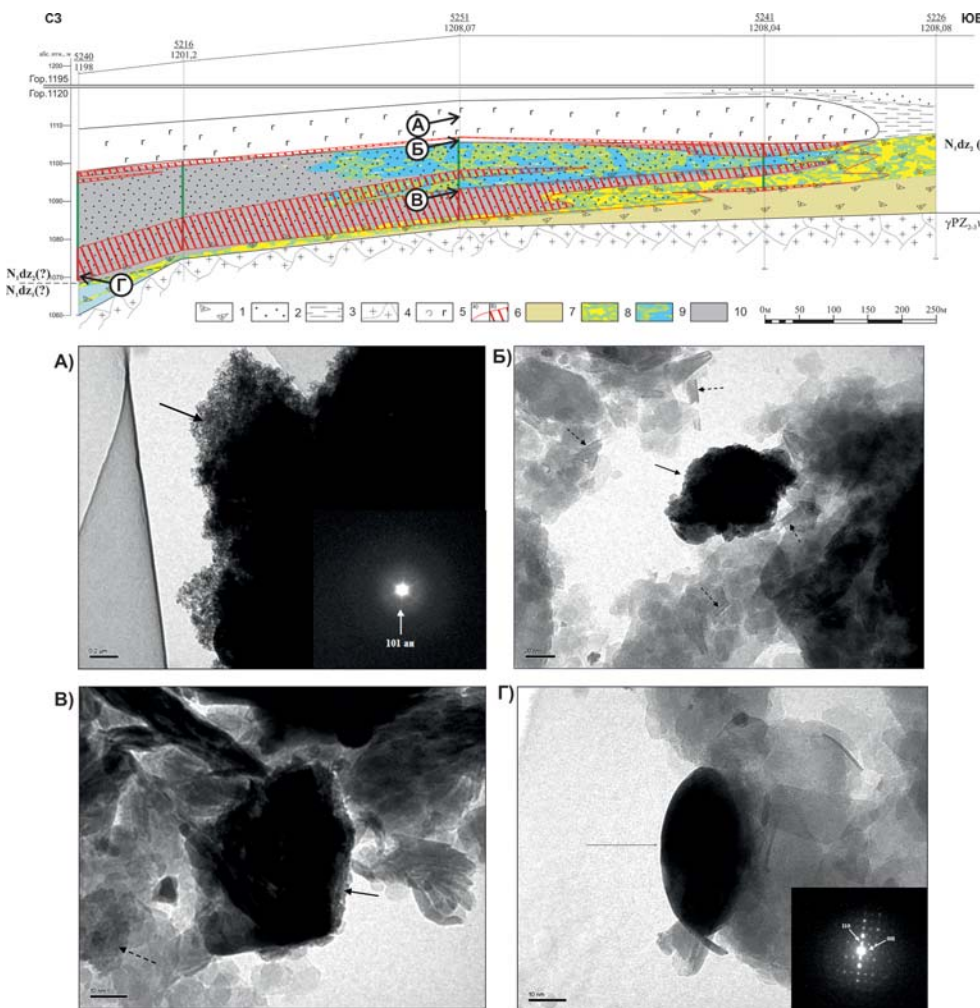


Рис. 5. Проявления урановой минерализации в разрезе палеодолы Дыбринская-6: 1 — глинистые, элювиально делювиальные плохо сортированные породы; 2 — песчаные породы, чередующиеся с алеврито-глинистыми породами; 3 — алеврито-глинистые породы; 4 — Витимканские граниты, измененные гипергенными процессами; 5 — вулканогенные породы; 6 — контуры забалансового (а) и балансового (б) оруденения; 7 — первично желтоцветные породы; 8 — частично восстановленные желтоцветные породы; 9 — восстановленные желтоцветные породы; 10 — сероцветные породы. А — крупное многокомпонентное, практически аморфное, существенно Ti, Fe, Si, Al, Mg — содержащее гелеподобное образование (показано стрелками, МДК), с которым связаны повышенные концентрации U, P, Zr, Ca, S, Ni, Co. На МДК, полученной с этого образования, фиксируется слабое диффузное отражение $d_{101}=0,352$ нм анатаза; Б — гелеподобное практически аморфное, существенно титанистое, обособление (показано стрелкой), с которым связаны повышенные концентрации урана и фосфора. В слоистых алюмосиликатах отмечаются трубчатые выделения галлуазита (показано пунктирными стрелками); В — аморфное образование, содержащее уран, фосфор и кальций на лейкоксенизированной поверхности

диоксида титана (показано стрелкой). Дисперсный агрегат, содержащий уран, фосфор и кальций в слоистом алюмосиликате (показано пунктирной стрелкой); Г — дисперсное веретенновидное выделение нингиоита (показано стрелкой, МДК). Ниже приведена точечная микродифракционная картина нингиоита с осью зоны [-110], свидетельствующая о хорошей раскристаллизации вещества

вышенными содержаниями U, P, Ca, Fe и S. В ряде случаев на микродифракционных картинах фиксируются слабые диффузные отражения нингиюита, еще реже коффинита.

Все выявленные обособления представляют собой многокомпонентные рудные гели, находящиеся на ранних стадиях раскристаллизации, в которых происходит зарождение высокодисперсных минеральных фаз нингиюита (иногда коффинита), а также, вероятно, сульфидов железа.

Детальные микронзондовые исследования выявили большое разнообразие точек и участков, где фиксируются повышенные содержания урана. Практически вся рудовмещающая глина, представленная новообразованным монтмориллонитом, замещающим растительные остатки, характеризуется повышенными концентрациями урана (рис. 6-Б). На полях распределения элементов отчетливо проявляется достаточно полное совпадение контуров полей U, P и Ca — элементов, входящих в состав нингиюита. Одновременно здесь же проявляются точечные обособления Ti, Fe и S.

К выделениям оксида титана повсеместно приурочены значительные содержания урана. Иногда довольно крупные обособления в глине содержат высокие концентрации как урана, так и титана (рис. 6-В). Одновременно в них фиксируются повышенные содержания Ca и P. По-видимому, подобные образования электронномикроскопическим методом диагностируются как многокомпонентные гели.

Наряду с уран-титановыми обособлениями обнаруживаются внешне подобные обособления с высокими содержаниями урана, но без повышенных концентраций титана (рис. 7-Б). В этом случае среди них выявляются по точечным анализам высокие содержания Fe и S, по-видимому, связанные с дисульфидами железа, а также постоянно повышенные концентрации Ca и P. Крайне редко в породе обнаруживаются самостоятельные выделения уранового минерала, судя по точечным анализам представленные коффинитом.

Имея многочисленные точечные определения химического состава основного уранового минерала, обращают на себя внимание весьма различные соотношения основных элементов — урана, фосфора и кальция. Являясь водным Ca-U фосфатом, минерал нингиюит характеризуется

соотношением $Ca > U$. В нашем случае, если даже обратиться к анализам к рис. 6-В, где содержания урана достаточно высокие, позволяющие нам предварительно рассчитывать формулу минерала, при расчете атомные количества урана оказываются значительно выше атомных количеств кальция. В то же время атомные количества кальция близки к таковым фосфора. Однако, имея данные электронной микроскопии, свидетельствующие о преобладающей роли многокомпонентных почти аморфных гелей, в данном случае мы, вероятнее всего, имеем дело с еще нераскристаллизованным U-Ca фосфатом. Рудовмещающие отложения нижней части верхнеджилидинской подсветы и верхов нижнеджилидинской подсветы представлены урансодержащими алевритами. Алеврит содержит мелкие обломки кварца и полевых шпатов. Глинистый цемент состоит из смеси каолинита, монтмориллонита, галлуазита и гидрослюды. В глине наблюдаются редкие растительные остатки, вкрапленный пирит и включения пепла как кремнистого изотропного, так в основном замещенного алюмосиликатом, а также цеолит-гетландит.

В алевритах установлены тонкие прослои бурого лигнита. Растительные остатки интенсивно замещаются буровато-желтым монтмориллонитом. В отдельных черных растительных остатках отмечаются мельчайшие включения пирита.

Электронномикроскопические исследования алевритов показали практическую идентичность урановой минерализации. Прежде всего это касается основного

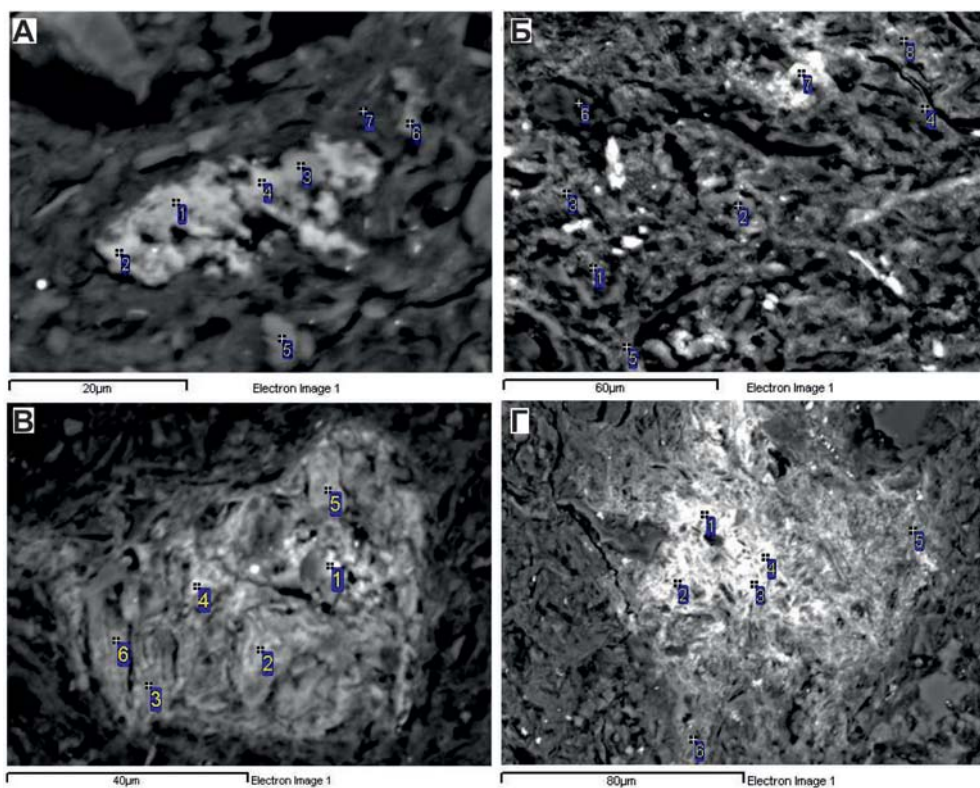


Рис. 6. Гелеподобное многокомпонентное образование, содержащее уран (А); рудовмещающая монтмориллонитовая глина с повышенным содержанием урана (Б); обособления с высокими концентрациями урана и титана (В); ураноносные обособления в глине (Г)

Таблица 2
Химический состав урановой и прочей минерализации к рис. 6

Spectr.	Na	Mg	Al	Si	P	S	K	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Nb	U	O	Total
А) 1	0,26	0,31	1,2	1,68	0,84	—	0	—	1,83	39,87	0,74	0	0,15	3,22	0,06	5,45	33,81	89,42
2	0,07	0,45	2,94	3,32	0,76	—	0,06	—	1,58	36,05	0,59	0,17	0,1	2,91	0,32	4,23	34,37	87,92
3	0,1	0,49	7,1	8,84	0,57	—	0,22	—	1,33	24,31	0,46	0,12	0,14	2,75	0,05	2,89	35,82	85,18
4	0,21	0,29	2,05	2,55	0,72	—	0	—	1,56	37,71	0,66	0	0,2	3	0,06	4,52	33,63	87,16
5	0,24	0,56	16,49	23,85	0,06	—	0,92	—	0,35	1,48	0	0	0	2,36	0	0	44,35	90,65
6	0,54	0,22	11,85	29,45	0,1	—	9,95	—	0,25	0,34	0	0	0,13	0,73	0,11	0,29	47,26	101,2
7	0,1	0,4	13,76	18,27	0	—	0,41	—	0,35	0,7	0,03	0	0,07	2,7	0	0,12	34,88	71,8
Б) 1	5,56	0,1	8,74	25,49	0,22	—	0,22	0,06	0,38	0,08	—	0,39	—	0,35	—	2,67	33,3	77,55
2	5,02	0,18	11,34	24,61	0,81	—	0,11	0,16	2,11	0,2	—	0,81	—	0,66	—	7,47	45	98,51
3	0,04	0,31	10,44	15,08	0,92	—	0,24	0,34	1	0,4	—	0,21	—	1,79	—	7,68	19,8	58,26
4	0,06	0,38	12,31	16,59	0,76	—	0,14	0,33	0,69	0,4	—	0,04	—	2,55	—	6,11	27,2	67,58
5	0,15	0,32	9,06	12,54	1,15	—	0,3	0,5	1,06	0,56	—	0,14	—	1,52	—	7,73	22,8	57,79
6	0,04	0,34	15,48	18,78	0,2	—	0,12	0,19	0,39	0,11	—	0,18	—	2,09	—	1,85	37,4	77,17
7	0,16	0,19	1,73	2,71	0,32	—	43,96	0,03	0,48	0,05	—	0,51	—	36,3	—	3,61	19,8	109,9
8	0	0,25	9,32	16,92	1,33	—	0,21	2,82	1,35	0,86	—	0,83	—	1,47	—	8,38	25,7	69,42
В) 1	—	—	1,33	3,51	2,97	—	—	—	3,10	9,00	—	1,63	—	0,93	—	31,58	18,80	72,85
2	—	—	1,01	1,95	2,82	—	—	—	3,45	8,57	—	0,48	—	0,63	—	21,95	13,21	54,07
3	—	—	2,44	3,99	1,63	—	—	—	2,13	14,19	—	0,46	—	5,09	—	14,22	16,09	60,25
4	—	—	0,93	2,10	2,82	—	—	—	3,11	14,24	—	0,84	—	0,43	—	23,08	21,45	69,00
5	—	—	3,40	5,43	3,30	—	—	—	3,68	1,49	—	1,40	—	0,67	—	28,59	19,78	67,73
6	—	—	6,46	9,05	1,72	—	—	—	1,80	11,89	—	0,16	—	2,44	—	18,57	29,23	81,32
Г) 1	—	0,2	1,3	2,5	2,8	26,8	—	—	3,7	0,0	—	—	—	26,0	—	13,8	19,7	97
2	—	0,2	4,6	11,4	4,7	0,7	—	—	5,4	0,4	—	—	—	1,0	—	24,3	38,8	91
3	—	0,3	5,1	6,9	5,8	3,2	—	—	6,2	0,2	—	—	—	3,7	—	29,5	44,3	105
4	—	0,3	8,4	11,9	3,1	0,4	—	—	3,6	0,1	—	—	—	1,1	—	18,3	38,5	86
5	—	0,3	8,4	12,5	1,7	0,4	—	—	1,9	0,4	—	—	—	1,1	—	16,2	34,9	78
6	—	0,5	11,7	15,0	1,7	0,4	—	—	1,7	0,6	—	—	—	1,5	—	12,2	45,1	90
7	—	0,4	4,6	6,0	6,3	3,5	—	—	6,7	0,3	—	—	—	3,6	—	30,9	47,1	109

минерала нингиюита, который представлен мелкими слабоудлинёнными, округлыми, нередко кристаллоподобными таблитчатыми короткопризматическими, а также веретеновидными выделениями. Выявляются нингиюиты с достаточно высокой степенью кристаллизации вещества, когда на МДК (микрофракционная картина) присутствуют точечные и точечно-кольцевые рефлексы (рис. 5-Г). Наряду с такими нингиюитами обнаруживаются и слабоаскриссталлизованные разности, однако они имеют в количественном отношении подчинённое значение. Судя по спектрограммам, полученным с выделений нингиюита, с ним, как правило, связаны повышенные концентрации Fe, S, Sr, Zr, Ti, Ce. При этом железо, сера и титан слагают дисперсные собственные минеральные выделения пирита и анатаза. Помимо нингиюита в образцах в единичных случаях диагностирован коффинит. Минерал наблюдается в виде веретеноподобных выделений размером 80–100 мкм (рис. 7-А).

Микронзондовые исследования выявили тесную пространственную связь выделений уранового мине-

рала и дисульфида железа. Так, на рис. 8 поля распространения урана, кальция и фосфора полностью идентичны и приурочены к выделениям пирита, который отчетливо идентифицируется по полям распространения железа и серы.

Характер же выделений пирита соответствует рисунку клеточной структуры растительного обломка, когда дисульфиды железа заполняют свободные клетки растительной ткани. Интересно, что, судя по полям распределения углерода и алюминия, органическое вещество в значительной степени замещено алюмосиликатом — монтмориллонитом.

Еще более контрастные выделения нингиюита формируются вокруг округлых скоплений фрамбоидального пирита (рис. 9-А), при этом тончайшие просечки нингиюита проникают по трещинкам и в обломочные зерна. Непосредственные соотношения нингиюита и пирита противоречивы. В большинстве случаев сами фрамбоиды содержат высокие концентрации урана, кальция и фосфора, а вокруг них концентрируются выделения нингиюита с повышенными содержаниями

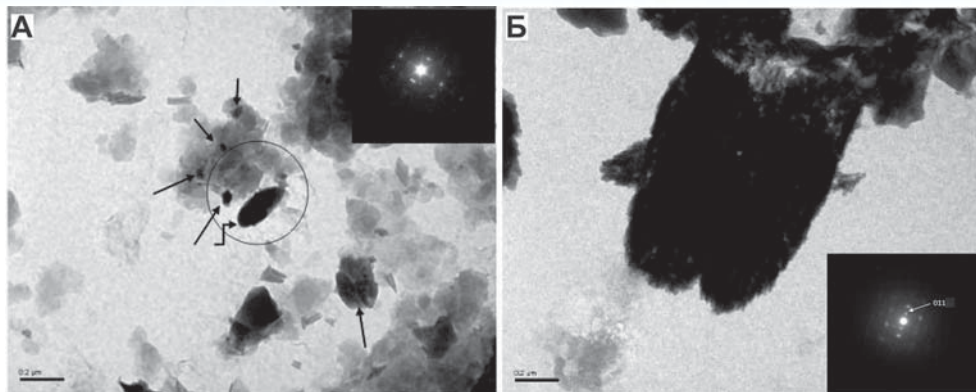


Рис. 7. Слабо раскристаллизованный нингиоит (прямые стрелки) и классическое веретенец (изогнутая стрелка) представляет собой выделение коффинита (А); веретенца нингиоита с монокристалльной микродифракционной картиной (Б)

железа и серы, однако рядом может находиться выделение чистого пирита.

Рассчитанные химические анализы уранового минерала показали, что атомные проценты кальция во всех анализах преобладают над атомными процентами урана с соотношениями Ca:U=2:1, что отвечает нингиоиту. Не касаясь тонкостей временных соотношений нингиоита и пирита и учитывая их тесную пространственную связь, можно считать их близодновременными образованиями. Поскольку формирование фрамбоидального пирита в клетках растительной ткани происходит на стадиях диагенеза осадка, отложение урановой минерализации вписывается в этот процесс.

Изучение руд из стволовой палеодолины, сложенной рудовмещающими отложениями нижнеджилиндинской свиты, показало, что нингиоит представлен выделениями разных размеров и разной морфологии от сложных форм до классических веретенцев. Минерал, как правило, хорошо раскристаллизован. Согласно полученным спектрам и микродифракционным картинам с нингиоитом в единичных случаях тесно

ассоциирует анатаз, взаимные прорастания которых очень плотные. Однако в большинстве случаев нингиоит присутствует самостоятельно в слабораскристаллизованных алюмосиликатах и часто характеризуется присутствием в своем составе редких земель — иттрия или церия, а также постоянной серы и железа (рис. 7-Б).

Микронзондовым анализом были обнаружены скопления урановой минерализации, приуроченные к углефицированным растительным остаткам.

Установлено совпадение полей распределения урана, фосфора и кальция и приуроченность их к полю распределения углерода. Одновременно в этом случае проявляется полное совпадение полей распределения железа и серы. Скорее всего, это следы сульфатредуцирующих бактерий, которые развиваются в породах богатых органическим веществом, что подтверждается на рис. 9-Б, где представлен агрегат совместных выделений нингиоита и пирита. Во всех случаях в точечных анализах нингиоита определяется повышенное содержание серы при низких содержаниях железа. Морфология выделений нингиоита — округлые образования (рис. 9-А), напоминающие остатки сульфатредуцирующих бактерий, которые и способствовали осаждению урана. Повсеместное возрастание содержания железа в процессе рудообразования приводит в начале к увеличению железа в самом нингиоите, а затем и отложению дисульфидов железа, образующих чистые самостоятельные выделения и смеси с нингиоитом.

Округлая морфология таких образований, различные соотношения нингиоит-дисульфида железа, веро-

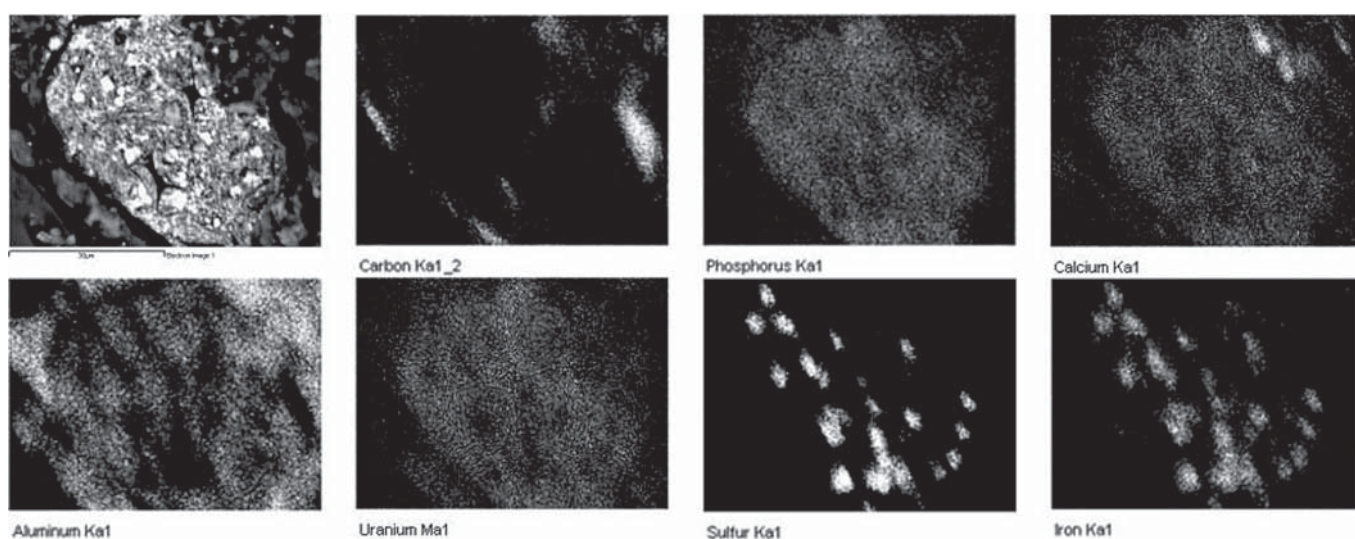


Рис. 8. Характер распределения элементов, полученный в характеристическом рентгеновском излучении

ятнее всего, являются результатом специфических условий, создаваемых сульфатредуцирующими бактериями. Бесспорным является установленный факт, что при образовании нингиитовых руд в данном случае решающая роль принадлежала микробиологическим процессам. Подобные же руды имели место лишь в нижней части верхнеджилиндинской свиты, где проявляются совместные нингиит-пиритовые выделения. Нераскristализованные уранофосфаты, часто с избыточным количеством урана и в тесной пространственной связи с оксидом титана в верхней части разреза, вероятнее всего, характеризуют иные условия формирования урановых концентраций.

Таким образом, в вертикальном разрезе месторождения Дыбрынского сверху вниз отчетливо устанавливается последовательная раскristализация осадочного рудного вещества от аморфных гелеподобных образований без самостоятельных урановых фаз через появление в их составе единичного, весьма слабо раскristализованного уранофосфата, сменяющихся ниже поликомпонентными гелями различной степени раскristализации с зарождением высокодисперсных фаз нингиита и, вероятно, дисульфида железа. Нингиит, в данном случае, в основном характеризуется избытком в составе урана (больше, чем кальция), то есть это минерал промежуточной фазы формирования фосфата U^{+4} и, возможно, с большой долей в составе U^{+6} . В нижнем уровне устанавливается хорошо раскristализованный нингиит (редко коффинит), в составе которого $Ca > U$ в соотношениях, близких к 2:1. Установленная последовательная раскristализация рудной минерализации позволяет сделать предположение о длительности формирования оруденения, когда в нижних уровнях более древнее, а вверху более молодое оруденение с последовательным формированием рудных концентраций близсинхронно осадконакоплению.

Формирование рудовмещающих отложений джилиндинской свиты завершилось формированием

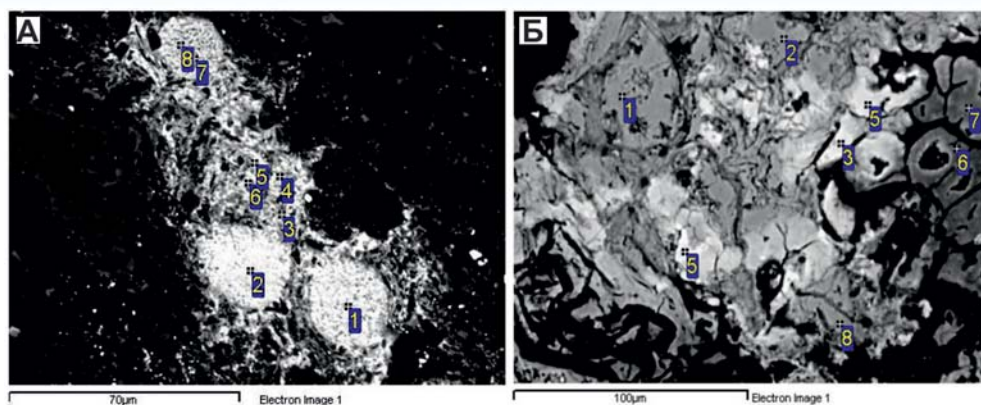


Рис. 9. Фрамбоидальные пириты в окружении выделений нингиита (А); совместное выделение нингиита и пирита (Б)

Таблица 3
Химический состав урановой и прочей минерализации к рис. 9

Spectr.	Mg	Al	Si	P	S	Ca	Fe	U	O	Total	
А)	1	—	0,25	—	3,44	34,0	4,18	29,5	12,26	13,7	97,2
	2	—	0,39	0,5	3,79	31,3	4,7	27,0	13,46	12,3	93,4
	3	0,31	4,98	6,7	4,3	11,4	5	13,0	15,8	22,8	84,2
	4	0,27	5,09	8,8	5,15	7,63	6,58	7,86	17,41	27,2	86,0
	5	0,23	5,95	8,9	5,42	6,15	6,62	5,68	20,41	27,8	87,1
	6	0,28	6,85	9,0	6,09	1,27	7,03	1,29	21,32	33,2	86,3
	7	—	0,6	0,5	—	50,2	—	43,8	—	7,3	102,5
	8	—	—	0,2	—	49,8	0,22	43,8	—	5,3	99,3
Б)	1	—	—	—	—	54,11	—	46,65	—	—	100,76
	2	—	—	—	—	52,94	—	45,76	—	—	98,7
	3	—	—	—	9,11	3,54	9,57	0,77	23,3	24,5	70,74
	5	—	—	—	9,98	5,96	9,34	3,45	24,3	32	85
	5	—	—	—	10,95	3,68	9,69	0,87	26,1	35,6	86,85
	6	—	—	—	7,9	4,22	8,93	0,53	19,1	21,4	62,57
	7	—	—	—	8,09	5,64	9,69	0,47	20,2	25,6	69,72
	8	—	—	—	—	54,07	—	45,74	—	—	99,81

Амалатского плато базальтов в центральной части района и озерных отложений большой мощности на периферии района, что прекратило доступ кислородсодержащих вод и защитило сформированные рудные концентрации от разрушения. Формирование покровов базальтов сопровождалось фумарольно-сульфаторными изменениями пород и перераспределением урана.

Напорные сероводородно-углекислые воды проникали в осадочный разрез по зонам тектонических нарушений и переотлагали уран на незначительное расстояние внутри рудной залежи, резко обогащая ураном до десятых долей процента маломощные слои с разложенным до монтмориллонита пеплом или насыщенными органосмектитам. Иногда уран перераспределялся поствулканическими растворами вверх в микротрещины в базальтах, где осаждался в новообразованных глинах с карбонатами и сульфидами железа.

Заключение

Урановое оруденение «витимского» типа локализуется в терригенных отложениях палеодолинных структур, врезанных в кристаллический фундамент. Оно образует линейно-ориентированные залежи: линзовидные субгоризонтальные в разрезе, лентообразные в плане, протяженностью от 800 до 5900 м при ширине от 20 до 300 м и усредненном содержании урана 0,05 %. Урановая минерализация дисперсная.

Рудовмещающая система «витимского» типа имела длительную историю развития, включающую: а) корообразование по геохимически специализированным на уран породам фундамента, приводившее к его высвобождению из аксессуариев и к переводу в легкоподвижную форму и выносу из областей питания поверхностными и грунтово-пластовыми водами; б) малоамплитудную тектоническую активизацию, обусловившую формирование грядово-холмистого рельефа, палеодолин и латеральную инфильтрацию слабо напорных ураноносных кислородсодержащих вод из сферы свободного водообмена в областях питания в водоносные горизонты; в) накопление проницаемых отложений, обогащенных сверхкларковыми содержаниями урана и сингенетическими восстановителями (углефицированными растительными остатками, гумусом), в процессе которого происходило последовательное формирование рудных концентраций, сначала сингенетических из обломочной части перемытых кор выветривания с рудной минерализацией представленной оксидами, а затем экзогенно-дигенетических, сформированных грунтовыми водами близодновременно осадконакоплению, где рудная минерализация с течением времени эволюционирует от многокомпонентных ураносодержащих гелей до мономинеральной формы нингионита; г) формирование плато базальтов в центральной части района и озерных отложений большой мощности на периферии района, что прекратило доступ кислородсодержащих вод и защитило сформированные рудные концентрации от разрушения.

ЛИТЕРАТУРА

- Геология и сейсмичность зоны БАМ. Кайнозойские отложения и геоморфология. [Книга] / А.С. Ендрихинский, С.С. Осадчий, Б.П. Агафонов / Отв. ред. Н.А. Логачев — Новосибирск: Наука, 1983. — 171 с.
- Коченов, А.В. О минерало-геохимических особенностях инфильтрационных урановых месторождений «базального» типа / А.В. Коченов, А.Б. Халезов, Е.В. Шмарювич др. // Литология и полезные ископаемые. — 1990. — № 1.
- Коченов, А.В. К вопросу об источниках урана в экзогенных эпигенетических месторождениях / А.В. Коченов, А.Е. Халдей // Литология и полезные ископаемые. — 1997. — № 4 — С. 371–378.
- Халдей, А.Е. Радиогеохимические особенности пород фундамента Хиагдинского рудного поля (Витимское плоскогорье) / А.Е. Халдей, В.Б. Шагарова, А.В. Коченов // Материалы по геологии урановых месторождений. — 1988. — Вып. 115. — С 87–96.
- Шуршалина, М.А. К вопросу о формах нахождения урана в гранитоидах Витимского плоскогорья / М.А. Шуршалина, А.Е. Халдей, В.Б. Шагарова // Материалы по геологии урановых месторождений. — 1989. — Вып. 120. — С 77–86.
- Экзогенные эпигенетические месторождения урана (условия образования) / Под ред. А.И. Перельмана. — М.: Атомиздат, 1965.

© Тарханова Г.А., Прохоров Д.А., 2017

Тарханова Галина Александровна // vims@df.ru
 Прохоров Данила Артемович // prokhorov@vims-geo.ru

Паршин А.В.^{1,2,3}, Гребенкин Н.А.⁴, Морозов В.А.^{1,2}, Ржевская А.К.⁴, Шикаленко Ф.Н.⁵ (1 — ООО «Геоинформационные технологии — Сибирь», 2 — Иркутский национальный исследовательский технический университет, 3 — Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, Иркутск, 4 — ФГБУ «ВИМС», 5 — ООО «РАДЭК» Московская обл., г. Ногинск)

ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ МЕТОДИЧЕСКИХ РАБОТ ПО ПРИМЕНЕНИЮ БЕСПИЛОТНЫХ АЭРОГЕОФИЗИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ НА СТАДИИ ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УРАНА

*Рассмотрены методика и результаты низковысотных беспилотных геофизических съемок, выполненных методами магниторазведки и аэрогаммасъемки в предгорьях Восточного Саяна на месторождении урана Столбовое (Шангулежская площадь). Приведено сравнение с результатами наземных и традиционных аэрогеофизических съемок предшественников. Показано, что съемки с применением беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) не уступают им по информативности, при этом относительно наземных геофизических исследований обеспечивают существенный прирост производительности и повышение экономической эффективности работ. **Ключевые слова:** БПЛА, тип «несогласия», гамма-спектрометрия, магниторазведка, уран.*

Parshin A.V.^{1,2,3}, Grebenkin N.A.⁴, Morozov V.A.^{1,2}, Rzhetskaya A.K.⁴, Shikalenko F.N.⁵ (1 — Geo-informational technologies — Siberia, 2 — Irkutsk National Research Technical University, 3 — Institute of Geochemistry, 4 — VIMS, 5 — RADEK)

THE FIRST RESULTS OF METHODOLOGICAL WORK ON THE APPLICATION OF BESPILOT AIRBORNE GEOPHYSICAL TECHNOLOGIES AT THE STAGE OF PROSPECTING OF URANIUM DEPOSITS

*The technique and results of low-altitude unmanned geophysical airborne magnetic and gamma survey methods made in the foothills of the Eastern Sayan on the uranium deposit Stolbovoye (Shangulezhskaya area) are considered. The comparison with the results of ground and traditional airborne geophysical survey of predecessors is conducted. It is shown that unmanned aerial vehicles (UAVs) is not inferior in terms of informativeness to ground geophysical surveys and provide a significant production rate and increase economic efficiency. **Keywords:** UAV, unconformity type, gamma-ray spectrometry, magnetic, uranium.*

Одной из наиболее перспективных в России для выявления крупных эндогенных месторождений урана типа «несогласия» является протяженная зона южного обрамления Восточно-Сибирской плиты, объединяющая Чарский, Тонодский, Аkitканский, Присяянский и Северо-Енисейский потенциально урановорудные районы (ПУРР) [4, 2]. Перечисленные районы характеризуются сложными природными условиями ведения геологоразведочных работ (ГРР): пересеченным рельефом со значительными перепадами высот, крутыми склонами, курумами и залесенностью, что