

ПОВЕДЕНИЕ УРАНА ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ДИНАМОМЕТАМОРФИЧЕСКИХ И МЕТАСОМАТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ УЙМЕНСКОГО ПРОГИБА

Ю. А. Туркин

ОАО «Горно-Алтайская экспедиция», с. Малоенисейское

Урановое оруденение Горного Алтая до сих пор остается недооцененным и недостаточно изученным, тогда как с геодинамических позиций рассматриваемый регион как область проявления в девонское время интенсивных активно-окраинно-континентальных процессов, активного контрастного базальт-риолитового вулканизма и широкого развития пестроцветных вулканогенно-терригенных молассовых толщ является весьма перспективным на данный вид полезного ископаемого. В то же время, в настоящее время существует объективная необходимость поисков новых урановородных объектов, изучение перспективности в отношении уранового оруденения и расширения минерально-сырьевой базы Алтая. При этом из трех известных районов эндогенного уранового оруденения Горного Алтая (Кумирского, Уйменского и Черногорского) урановое оруденение Уйменского прогиба изучено более детально с проведением в его центральной части в 80-х и 90-х годах прошлого века специализированной на уран геологической съемки масштаба 1:50 000 и поисковых работ на уран, в которых автор принимал непосредственное участие. Вместе с тем на площади центральной части Уйменского прогиба (Сумультинского рудного узла) или Сумультинской площади (рис. 1) были проведены специализированные петрографические исследования и изучение геохимической структуры сложной системы тектонитов и метасоматитов по методике картирования гидротермально-метасоматических образований. Полученные результаты позволили выявить закономерности распределения урана в измененных породах с его концентрацией в конечных продуктах динамометаморфической и тектоно-метасоматической переработки вмещающих вулканогенно-осадочных и субвулканических образований и оценить масштабы возможного эндогенного оруденения.

В результате проведенных работ была выявлена крупная региональная геохимическая структура, включающая динамометаморфические, дислокационно-метасоматические и гидротермально-метасоматические образования, с закономерным поведением в ней ряда металлов, в том числе урана. При этом в результате детального петрографического и геохимического картирования сложной системы сопряженных тектонитов и метасоматитов, выявления их геохимических особенностей и распределения в них урана и тория были апробированы методологические основы изучения гидротермально-метасоматических образований и оценки перспективности ураноносности территорий развития региональных метаморфо-метасоматических систем, которые могут быть использованы для прогнозирования и поисков эндогенного оруденения различных металлов в других районах Горного Алтая. Основной целью проведенных исследований является обоснование необходимости изучения геохимической структуры сложных систем сопряженных метасоматитов, формирование которых способствует концентрированию металлов, в том числе урана, и сопровождается образованием месторождений.

Региональные геодинамические, структурно-тектонические, магматические, литолого-стратиграфические критерии локализации уранового оруденения Уйменского прогиба определяются принадлежностью последнего структурной зоне тыловых рифтов активной континентальной окраины (Туркин, 2000; Ярмолюк, Коваленко, 1991). Уйменский прогиб входит в состав крупной, протяженностью до 1000 км и шириной до 150 км группы прогибов общего субмеридионального простирания, включающего на территории восточной части Горного Алтая девонские Лебедской, Уйменский и Нырнинский прогибы, а также Ка-

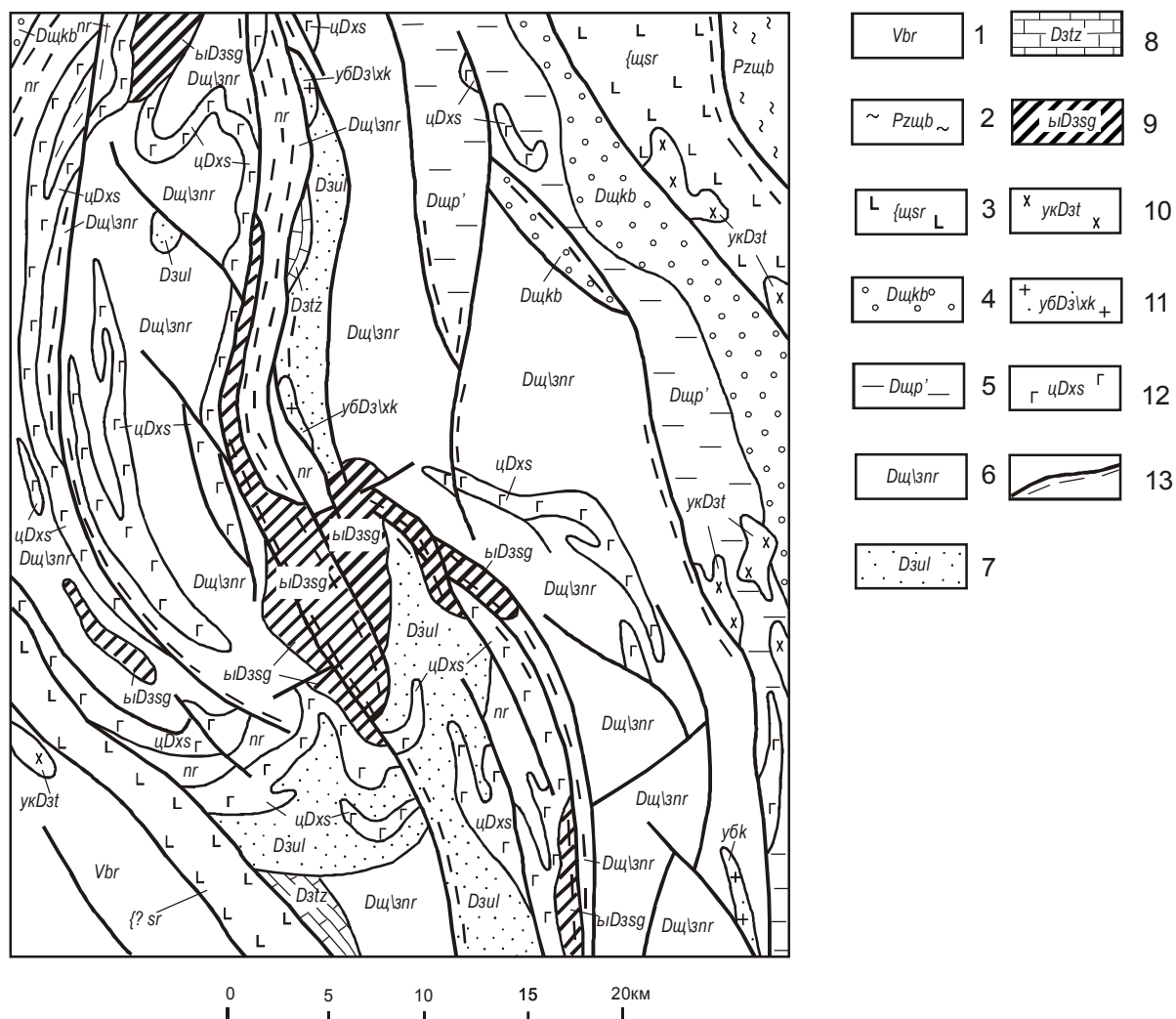


Рис. 1. Схематическая геологическая карта Сумульгинской площади

1 - баратальская толща; 2 - метаморфические сланцы башкауского комплекса Телецко-Чулышманской СФЗ; 3 - сарысазская свита Балхашско-Садриной СФЗ; 4 - кубойская свита; 5 - пыжиноозерская свита; 6 - осадочно-вулканогенные образования нырнинской свиты; 7 - известковисто-терригенные отложения улусукской свиты; 8 - терригенно-карбонатные отложения тайозенской свиты; 9 - субвулканические и жерловые образования кисло-го состава саганского комплекса; 10 - гранодиориты, диориты, граниты тускульского комплекса; 11 - гранит-порфиры кзылташского комплекса; 12 - долериты, габбродолериты сумульгинского комплекса; 13 - разломы и приразломные тектониты.

янчино-Каракокшинскую группу грабенов. В современных структурах Алтая эти прогибы расположены на расстоянии 300-400 км от конвергентной окраины реконструируемой в девоне Сибирской континентальной плиты. В северном направлении они «наращиваются» Минусинскими впадинами и грабенами Кузнецкого Алатау с широким развитием раннедевонских щелочных магматических комплексов (более раннее заложение рифтовых структур), а на юге – заложены уже в живетское время Делюно-Юстыдским прогибом с активным осадконакоплением поздней стадии развития девонской активной окраины (рис.1). В это время в режиме тылового рифта развивался и Аксайский прогиб, к структурам которого приурочен Черногорский потенциально урановорудный район.

Изучение состава магматических образований девонской активной континентальной окраины выявляет достаточно отчетливо проявленную зональность распределения продуктов надсубдукционных вулканических и интрузивных комплексов (Туркин, 2005). С запада на восток (в современных координатах), с удалением от зоны субдукции, области интенсивно-

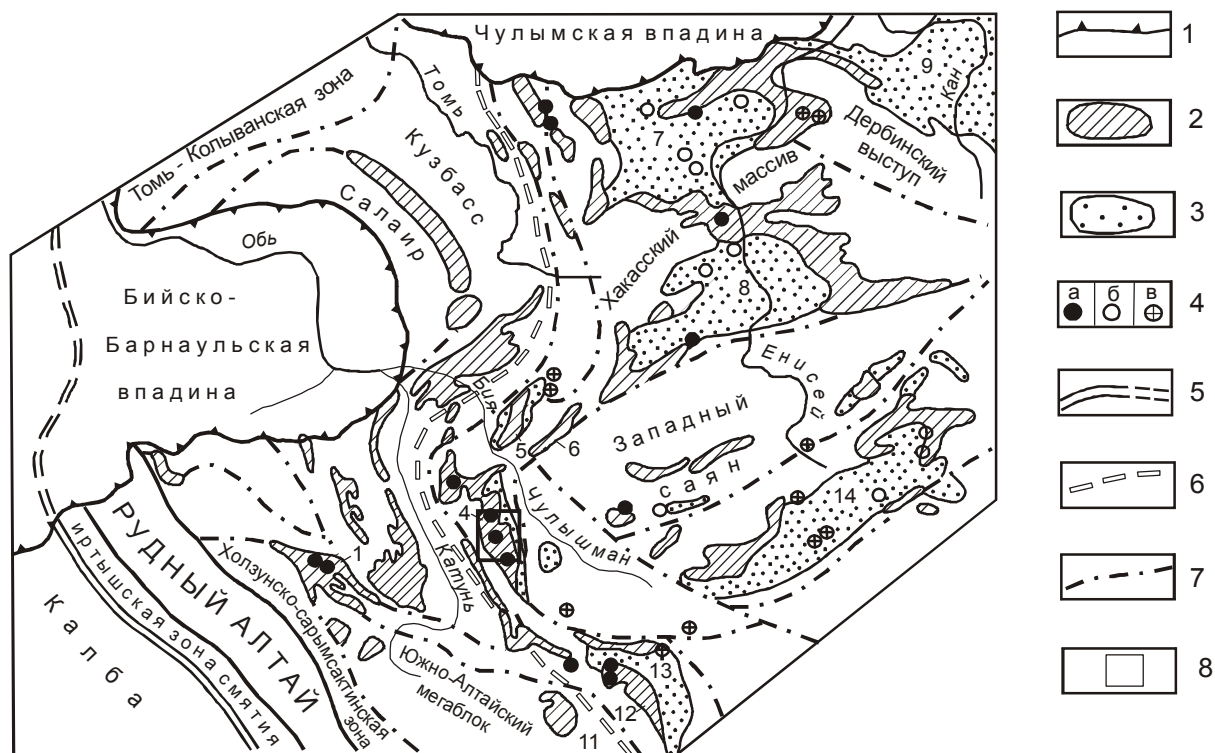


Рис. 2. Схема размещения урана в средне-позднепалеозойских структурах АССО (составлена с использованием материалов В.Е.Кудрявцева: Западная Сибирь., Т.2, 2000)

1 - границы распространения кайнозойских отложений чехла Западно-Сибирской плиты; 2 - вулканические прогибы раннего-среднего девона (1 - Коргонский, 2 - Онгудайский, 3 - Тельбесский, 4 - Уйменский, 5 - Лебедской, 6 - Абаканский, 10 - Садо-Ербинский, 11 - Калгутинский, 12 - Аксайский); 3 - прогибы и впадины с развитием мощных толщ девонских моласс (Северо-Минусинская, 8 - Южно-Минусинская, 9 - Рыбинская, 13 - Делюно-Юстыдский прогиб, 14 - Тувинский прогиб); 4 - проявления и месторождения урана (а - в вулканических породах девона, б - в молассовых толщах девона существенно инфильтрационные, в - регенерированные и связанные с мезозойской активизацией); 5 - сутурный шов - граница девонской активной континентальной окраины; 6 - условная граница зоны тыловых рифтов; 7 - главные разломы, границы крупных тектонических блоков, 8 - контур Сумультинской площади

го базальт-андезитового, андезитового, плагиориолитового и игнимбритового вулканизма (ергольский, онгудайский, учуленско-казанкольский, более поздний куяганский комплексы) с развитием полнодифференцированных серий вулканитов нормальной щелочности сменяются контрастными базальт-риолитовыми повышенной щелочности формациями Уйменско-Лебедской группы прогибов (нырнинский и саганский комплексы), Западного Саяна и Тувы (кужебазинский и кендейско-саглинский комплексы). Подобная тенденция характерна и для раннесубдукционных интрузивных образований: более западные комплексы габбро-диорит-гранодиоритового формационного ряда активной окраины имеют нормальную щелочность и в целом пониженную калиевоность (раннеземеиногорский существенно плагиогранитовый комплекс Рудного Алтая, топольнинский диорит-гранодиоритовый комплекс Центрального Алтая), сменяясь на востоке, в обрамлении Уйменско-Лебедской группы прогибов, более щелочными комплексами с развитием монцодиоритов, монцонитов (югалинский комплекс), а также массивами калиевых гранитов (турочакский комплекс). При этом гранитоидный магматизм в восточной части Алтая сопровождается плутонометаморфизмом андалузит-силлиманитовой серии, типичным для тыловорифтовых структур активных континентальных окраин (кебезенский, курайский, южно-чуйский метаморфические комплексы).

В отличие от центральных районов Горного Алтая с почти исключительным развитием континентальных пестроцветных молассовых отложений, в структурно-формационной зоне тыловых рифтов в раннем девоне локально сохранялись морские условия карбонатно-терригенного осадконакопления (пыжиноозерная свита Уйменского прогиба, бейская формация Минусинской впадины и Западного Саяна). При этом фиксируется прогибание бассейна седиментации в эмское время, что по возрасту соответствует заложению зоны субдукции у юго-западных (в современных координатах) окраин Сибирской континентальной плиты и началу активного вулканизма. В более позднее время морские условия осадконакопления господствовали в южных районах тыловорифтовой структуры с формированием мощной призмы терригенных и карбонатно-терригенных отложений Делюно-Юстыдского прогиба. Мощность осадочных и вулканогенно-осадочных толщ в тыловых (в том числе Уйменском) прогибах достигает пяти и более километров. В целом для девонского периода формирования геологических структур восточной части Горного Алтая и, в частности, для потенциально урановорудных районов характерно чередование горстов и грабенов, осложненных сдвигами и взбросо-надвигами, что отмечено многими исследователями. При этом, по имеющимся определениям, возраст уранового оруденения находится в интервале 400-320 млн. лет, что соответствует девону – раннему карбону, охватывая период развития активно-окраинно-континентальных процессов.

Имеющиеся данные по металлогении тыловых рифтогенных зон (тыловых вулканоплутонических поясов) активных окраин континентов свидетельствуют о предпочтительных условиях формирования месторождений урана, флюорита, молибдена, редкоземельных элементов, жильных проявлений со свинцом, цинком, золотом, серебром (Абрамович, Клушин, 1987; Геодинамический..., 1989; Ковалев, 1978), что в значительной степени фиксируется для Уйменского прогиба и для девонской тыловорифтовой зоны Восточного Алтая и смежных с ним районов Тувы и Хакасии (Гринева, 2007; Западная..., 2000). Повышенные концентрации, месторождения и проявления данных элементов фиксируются в ряде сопряженных структур, повсеместно выявляются в первичных и вторичных геохимических аномалиях.

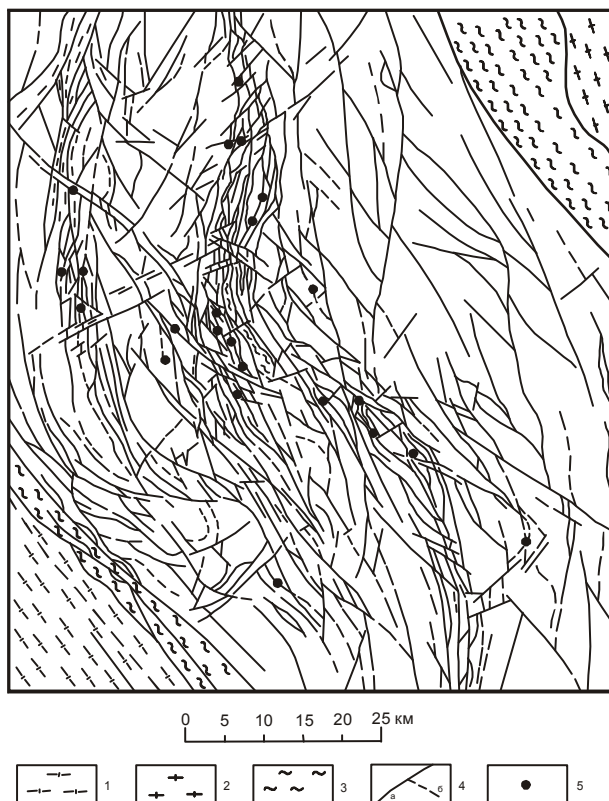
В результате проведенных работ установлено, что в Уйменском прогибе широко проявлены динамометаморфические, дислокационно-метасоматические и гидротермально-метасоматические комплексы пород, образующие сложную систему измененных пород и включающие поствулканические образования формации фельдшпатофигов, тектониты и синтеттонические метасоматиты бельского комплекса (формации динамометаморфических сланцев и кварц-альбит-микроклиновых метасоматитов), а также образования тектоногенной пропилит-березитовой региональной метасоматической формации.

Метаморфогенные образования Уйменского прогиба (Митропольский, 1965, 1972; Туркин, 1995, 2000а, 2000б) при весьма широком развитии характеризуются большим разнообразием различных динамометаморфических и метасоматических пород, обнаруживающих пространственно-генетическую связь как с предшествующей и сопутствующей активной магматической деятельностью, так и с зонами крупных тектонических структур: Восточно-Кадринским, Бельско-Учалыским, Западно-Айрыкским, Уйменским, Тонгошским и другими разломами (рис. 3, 4). Тектонические зоны образуют в пределах рассматриваемой площади сложный структурный узел, охватывающий территорию в несколько сотен квадратных километров, включая гору Бель и бассейны рек Кызылтобрак и Чебдар на юге и гору Вершина Уйкараташа и бассейны рек Учал и Ямбош на севере.

В результате проведенных исследований совокупность динамометаморфических и метасоматических пород Уйменского прогиба выделена в самостоятельный метаморфогенный комплекс, по району типичного проявления метаморфо-метасоматических процессов и наиболее широкого развития данных образований названный бельским.

Рис. 3. Разрывные нарушения Сумультинской площади и бортовые структуры Уйменского прогиба

1 - кремнисто-карбонатные образования Кадринско-Баратальского блока Бийско-Катунской СФЗ; 2 - метаморфические сланцы Телецкого блока; 3 - метабазалты и метаморфические сланцы Балхашско-Садринской СФЗ; 4 - хрупкие разрывные нарушения Сумультинской площади установленные (а) и предполагаемые (б); 5 - проявления и пункты минерализации урана.

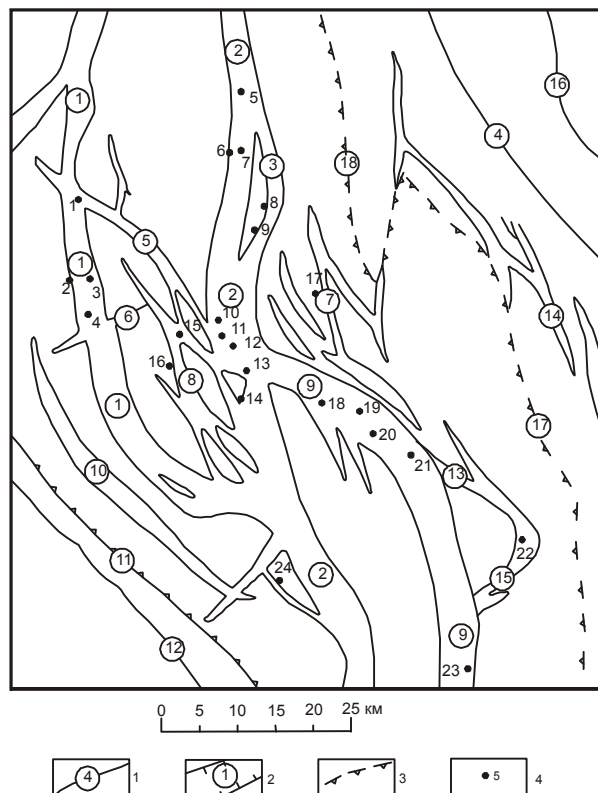


Кроме отнесенных с бельскому комплексу, в пределах девонского наложенного Уйменского прогиба развиты гидротермально-метасоматические образования различной формационной принадлежности. Среди всей совокупности метаморфических и метаморфо-метасоматических образований района могут быть выделены несколько групп пород различного состава и формационной принадлежности (табл. 1).

1. Более ранние и низкотемпературный вулканогенные гидротермально-метасоматические образования формации фельдшпатофиров (альбитофиры, фельдшпатофиры), образование которых связывается с активной вулканической деятельностью.

Рис. 4. Тектонические зоны Сумультинской площади

1 - пограничные разломы (4 - Чакрыкский, 11 - Восточно-Кадринский, 12 - Кадринский, 16 - Телецкий); 2 - зоны катаклаза, приразломного смятия и динамометаморфизма, разломы (1 - Уйменский, 2 - Бельско-Учалынский, 3 - Учалынская зона взбросо-надвигов, 5 - Верхне-Уйменский, 6 - Верхне-Айрыкский, 7 - Листвяный, 8 - Карасазканский, 9 - Тонгошко-Проездной, 10 - Западно-Айрыкский, 13 - Осиновый, 14 - Сынырлинский, 15 - Верхне-Тайтынский, 17 - Тайтынский, 18 - Пыжинский); 3 - границы площади распространения девонских осадочно-вулканогенных образований; 4 - проявления и пункты минерализации урана (1 - Гребешковое, 2 - Замок духов, 3 - Северно-Айрыкское, 4 - Айрыкское, 5 - Северное (Учалыское), 6 - Ямбошское, 7 - Грозное, 8 - аномалия 237, 9 - Караюл, 10 - Приозерное, 11 - Плешаковское, 12 - Фестивальное, 13 - Сумультинское, 14 - Карасазканское, 15 - Верхне-Уйменское, 16 - Каровое, 17 - Уйкараташское, 18 - аномалия 17, 19 - Проездное, 20 - Южно-Проездное, 21 - Осиновое, 22 - Тайтынское, 23 - Тонгошское.



1. Метаморфо-метасоматические формации Уйменского прогиба
и содержания урана в измененных породах различных формационных типов

Метаморфические и метасоматические формации	Внешние и промежуточные ореольные зоны эпипород и метасоматитов		Внутренние барьерные фоновые зоны ядерного концентрирования	
	типы пород	U, $n \times 10^{-4}$ %	типы пород	U, $n \times 10^{-4}$ %
Фельдшпатофировая	Фельдшпатофиры	1,5-2,5	Уничтожены при последующих процессах	-
Кварц-альбит-микроклиновых метасоматитов и динамометаморфических сланцев (бельский комплекс)	Кварц-полевошпатовые метасоматиты	1,8-2,0	Динамометаморфические сланцы, порфиритоиды	3,5-4,2
			Милониты, брекчии, бластомилониты	3,6-4,5
			Кварц-полевошпатовые гнейсо-сланцы	4,8-5,4
			Трахитоидные полевошпатовые тектоносланцы	4,5-4,8
Пропилит березитовая (березит-альбитовая)	Пропилиты хлоритовые и актинолитовые	1,9-2,0	Березиты	3,5-4,0
	Альбит-хлорит-карбонатные метасоматиты	2,0-2,5	Альбититы	3,4-3,8

2. Метаморфо-метасоматические образования бельского метаморфогенного комплекса, в составе которых могут быть выделены: а) дислокационно-метаморфический подкомплекс, включающий различные динамокластиты, милониты, динамосланцы, порфиритоиды, порфириоиды, бластомилониты, тектоносланцы; б) дислокационно-метасоматический подкомплекс, включающий закономерно сменяющие друг друга фациально в пространстве и во времени синтетектонические кварц-альбит-микроклиновые, кварц-альбитовые и кварц-адуляровые метасоматиты.

3. Тектоногенные гидротермально-метасоматические образования пропилит-березитовой региональной метасоматической формации (пропилиты актинолитовые и хлоритовые, альбититы, березиты).

Все вышеперечисленные метаморфо-метасоматические образования, выделяемые в качестве относительно дискретных групп, имеют сложные взаимоотношения и взаимопереходы, характеризуются закономерной и нарушенной последующими дислокациями перемежаемостью, иногда совмещены в пространстве, формируя сложную систему метаморфитов и метасоматитов с единой геохимической структурой. Каждая из выделенных разновидностей измененных пород имеет свою петрографическую и геохимическую характеристику. При этом гидротермально-метасоматические образования периферических зон (актинолитовые и хлоритовые пропилиты, пропилитоиды, фельдшпатолиты характеризуются по-

ниженными относительно кларковых значений содержаниями урана, а тектониты и синтетонические метасоматиты центральных зон - повышенными фоновыми концентрациями данного металла, превышающими кларковые значения и содержания урана в неизмененных (слабоизмененных) породах в 1,5-2 раза (табл. 1).

В результате изучения всей совокупности измененных пород района сделан вывод об их тесной взаимосвязанности в единой сложной системе сопряженных метасоматитов, сформированной в течение относительно длительного периода времени, включающего соответствующие стадии девонско-раннекаменноугольного тектоно-метаморфического цикла. Ранняя стадия включает период активного вулканизма при формировании рифтогенной структуры в тыловой части активной окраины континента и сопровождается развитием гидротермально-метасоматических пород фельдшпатофировой формации. Средняя стадия цикла по времени соответствует аккреционно-коллизийным процессам в связи с завершением активного вулканизма и с превращением Уйменского прогиба в зону транспрессии - Уйменскую шовную сдвиговую зону, сопровождающимся развитием основного объема дислокационно-метаморфических пород и бластомилонитов бельского комплекса в пределах зон приразломного смятия и интенсивной тектонической переработки. Поздняя, заключительная стадия ТМЦ, фиксирует завершение коллизийных процессов, период посткинematической разрядки и формирование сети хрупких (по Е.И. Паталахе) разломов, сопровождающееся развитием эпипород и метасоматитов березит-альбититовой разновидности пропилит-березитовой региональной метасоматической формации по классификации Е.В. Плющева с соавторами (Методика..., 1981; Плющев, Шатов, 1985).

Дислокационно-метаморфические и сопряженные с ними гидротермально-метасоматические процессы обеспечивали сложные петрогеохимические и структурно-вещественные преобразования различных пород изученной площади с формированием специфической зональной геохимической структуры. Предложена модель формирования уранового оруденения Сумультинской площади, которая основана на перераспределении урана с выносом его из периферических зон пропилитов, фельдшпатолитов и привносом во внутренние барьерные зоны тектонитов, березитоидов и альбититов – зоны ядерного концентрирования сложной системы сопряженных метасоматитов Уйменского прогиба.

В ходе исследований на площади Уйменского прогиба было проведено геохимическое изучение вышерассмотренной системы тектонитов и метасоматитов, основанное на принципах методики изучения гидротермально-метасоматических образований (Методика..., 1981; Плющев, Шатов, 1985). В результате была составлена карта региональных метасоматических формаций (рис. 5) и выявлено закономерное поведение урана как при формировании эпипород пропилит-березитовой формации, так и при образовании тектоно-метасоматических образований бельского комплекса.

В процессе формирования гидротермально-метасоматических образований пропилит-березитовой РМФ основные закономерности поведения урана выражены устойчивой тенденцией его выноса из периферических пропилитовых зон и привноса в центральные альбититовые и березитовые зоны, при этом широкие внутренние зоны пропилиитоидных альбит-карбонатных ассоциаций являлись зонами транзита урана и, отчасти, тория. Для количественной оценки процессов привноса-выноса урана составлены графики его поведения (рис. 6, 7) при формировании метасоматитов различных типов – статистически устойчивых ассоциаций гидротермальных минералов. На этих графиках, отдельных для пропилитов, альбит-карбонатных метасоматитов, альбититов и березитоидов, по оси абсцисс отложена степень замещения исходных пород в принятой градации: I – слабая (до 20 % новообразований от объема исходной породы); II – умеренная (20-50 %); III – интенсивная (50-80 %); IV – полная (80-100 %), а по оси ординат – приращения содержания металла в эпипородах соответствующего типа и степени изменений в г/т. При этом данная величина (ДС) может

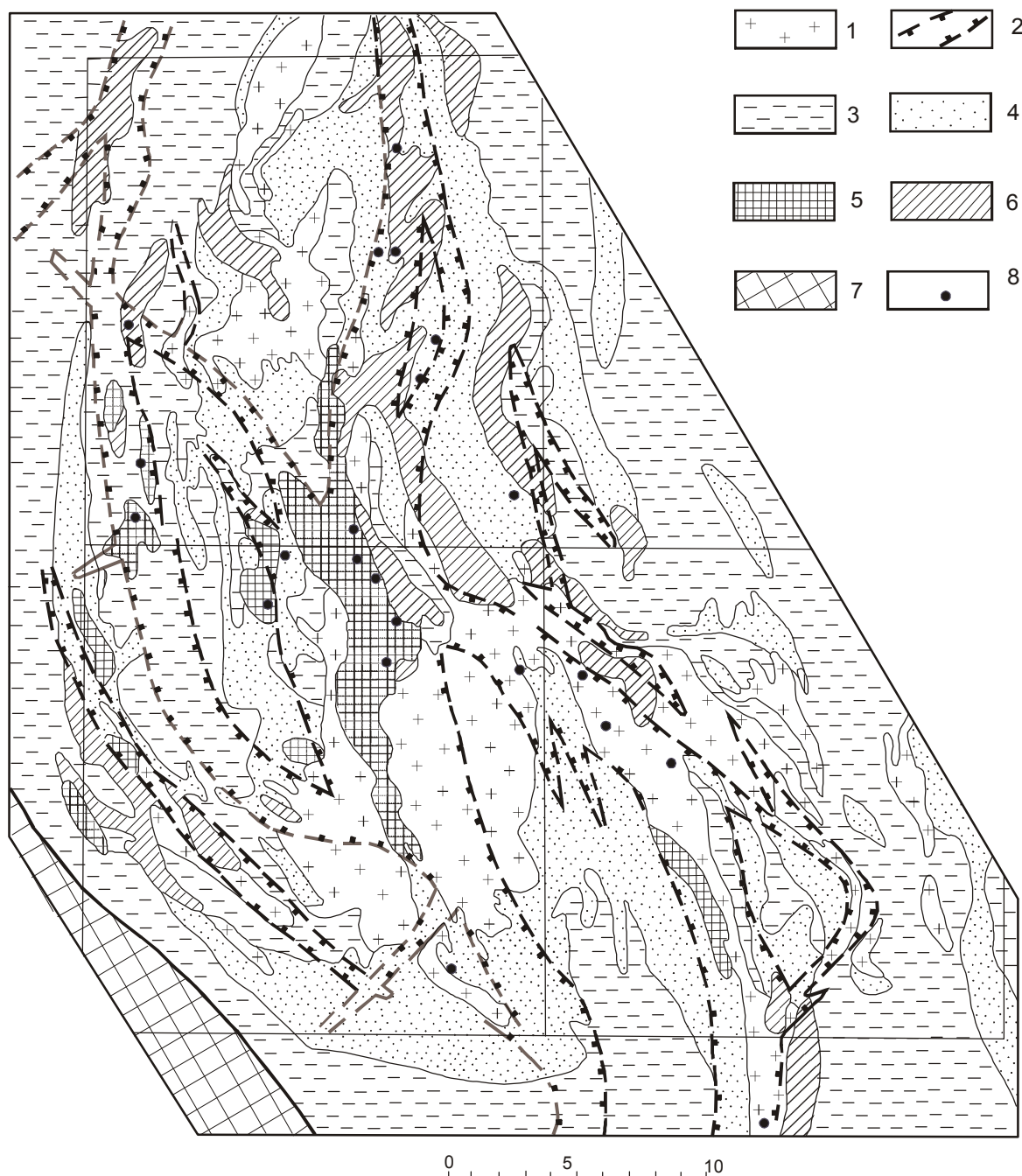


Рис. 5. Карта метасоматических формаций с расположением зон динамометаморфической и тектонической переработки

1 - кварц-полевошпатовые метасоматиты фельдшпатофировой и фельдшпатолитовой формаций; 2 - зоны динамометаморфической и тектонической переработки (динамосланцы, тектонобластиты, синтетектонические метасоматиты); 3 - 6 - гидротермально-метасоматические образования пропилит-березитовой формации (3 - пропилиты, 4 - альбит-карбонатные пропилитоиды, 5 - альбититы, 6 - березиты и березитоиды); 7 - прочие метасоматические системы; 8 - проявления и пункты минерализации урана Сумульгинской площади.

быть как положительной, так и отрицательной в зависимости от того, увеличивается или уменьшается содержание урана в метасоматитах относительно исходных (неизмененных) пород.

Следующий этап количественной оценки поведения урана при формировании РМФ включает расчет коэффициентов привноса-выноса металла для каждой зоны однотипных

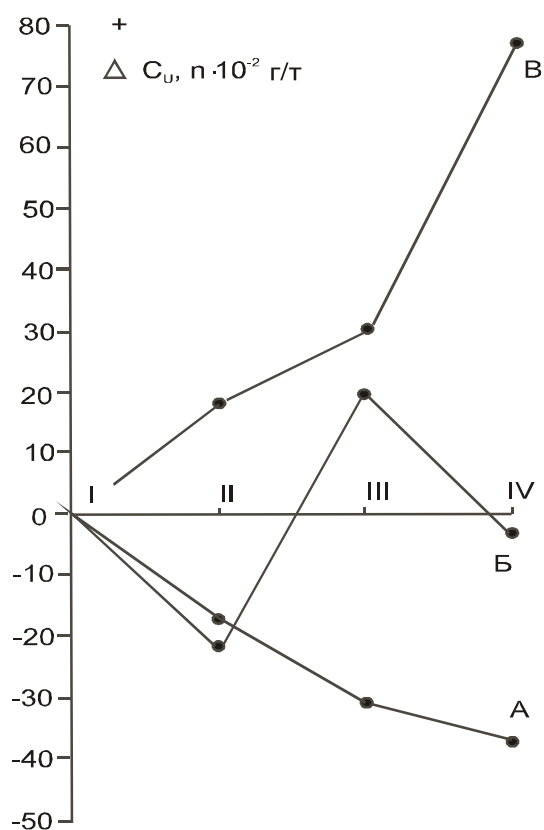


Рис. 6. Поведение урана в ходе формирования пропилитов (А), альбит-карбонатных пропилитоидов (Б), альбититов (В)

Степень замещения исходных пород: I - слабая (до 20% новообразований); II - умеренная (20-50%); III - интенсивная (50-80%); IV - полная (более 80%).

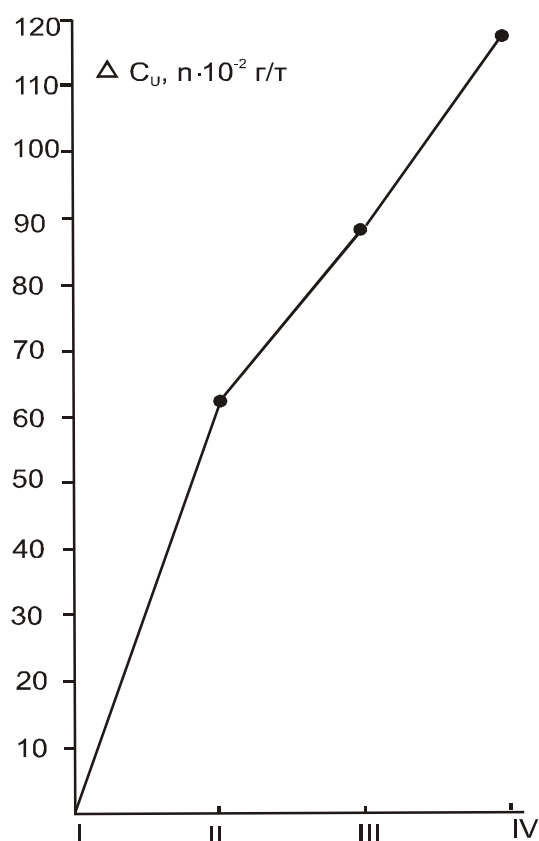


Рис. 7. Поведение урана в ходе формирования березитов и серицит-хлоритовых березитоидов

Степень замещения исходных пород: I - начальная (до 5% новообразований от объема исходной породы); II - слабая (5-20%); III - умеренная (до 50%); IV- интенсивная (50-80%).

изменений: а) пропилитов, б) альбит-карбонатных ассоциаций, в) альбититов (эйситов), г) березитов и березитоидов в совокупности с эпипородами серицит-хлоритовой ассоциации гидротермальных минералов. Для этого на карте метасоматических формаций (рис. 5) были определены площади распространения соответствующих ассоциаций: пропилитов ($S^p =$ более 500 кв. км), альбит-карбонатных ассоциаций ($S^{ак} = 220$ кв. км), альбититов ($S^A = 50$ кв. км), березитов и березитоидов ($S^б = 75$ кв. км). Данные площади фактически распадаются на ряд участков, соответствующих развитию в их пределах эпипород различной степени проявленности.

Поскольку эпипородные ассоциации пропилит-березитового типа развиты в виде тел вуалевого типа, исходя из положения о равномерной сети опробования, оценка площади развития метасоматитов слабой (на площади работ практически отсутствуют), умеренной, интенсивной и полной степени проявленности может быть определена с помощью коэффициента пропорциональности количества проанализированных проб из данных образований площади распространения последних. Коэффициент привноса-выноса урана из пропилитовых зон РМФ ($Z_{\text{п}}$) определен по формуле: $Z_{\text{п}} = (DC_y \times K_y) + (DC_{\text{и}} \times K_{\text{и}}) + (DC_{\text{п}} \times K_{\text{п}})$, где $DC_y, DC_{\text{и}}, DC_{\text{п}}$ – приращения содержаний металла в подзонах пропилитовой ассоциации соответственно умеренной, интенсивной и полной степени проявленности относительно неизмененных пород. Для расчета приращений содержаний меди, урана и тория определе-

2. Содержания урана и тория в слабоизмененных (неизмененных) наиболее распространенных породах Уйменского прогиба

Наиболее распространенные группы пород	Количество проб в выборках	U, г/т	Th, г/т
алевролиты и песчаники кубойской свиты	20	2,75	5,20
вулканогенные и осадочные породы нырнинской свиты в целом	268	2,55	5,05
туфы, туффиты, тефроиды, туфопесчаники нырнинской свиты	87	2,65	5,85
гравелиты, туфогравелиты нырнинской свиты	21	2,80	6,15
метабазальты нырнинского вулканического комплекса	112	2,43	3,20
алевролиты и песчаники нырнинской свиты	48	2,54	7,60
алевролиты и песчаники улусукской свиты	56	2,50	6,00
долериты, габбродолериты сумультинского комплекса	164	2,30	2,90
Среднее	508	2,47	4,48

но среднее содержания металлов в неизменных (или слабоизмененных) породах смежных зон данной РМФ, которое для урана составляет около 2,5 г/т.

На графике приращений содержаний урана для эпипород разной степени проявленности (рис. 6, 7) определены частные и общие коэффициенты привноса-выноса, составившие для пропицитов - $Z_{\Pi} = - 0,33$ г/т, для альбит-карбонатных метасоматитов - $Z_{\text{АК}} = - 0,035$ г/т, для альбититов - $Z_{\text{А}} = + 0,69$ г/т, для березитоидов - $Z_{\text{Б}} = + 0,62$ г/т. Используя полученные коэффициенты, рассчитано общее количество металла (Р, тыс. тонн), вынесенное из зоны (в данном случае – зоны пропицитов) или привнесенное в зону (в случае положительного значения Z_{Π}) по формуле: $P = Z \times \delta \times S \times H$, где δ – средняя плотность пород данной метасоматической зоны, S - площадь и H – глубина развития метасоматической зоны. В результате расчетов количества перемещенного урана были рассчитаны для актинолитовых и хлоритовых пропицитов (- 2202,75 тыс. тонн), для транзитных альбит-карбонатных пропицитоилов (- 57,75 тыс. тонн), для альбититов (+ 258,75 тыс. тонн), для березитоидных ассоциаций (+ 461,25 тыс. тонн). Таким образом, сумма вынесенного металла (в данном случае – урана) для зон пропицит-березитовой РМФ, характеризующихся отрицательными значениями коэффициента привноса-выноса, составит – 2260,5 тыс. тонн, а сумма привнесенного урана для зон с положительными значениями коэффициента привноса-выноса - 720 тыс. тонн.

В ходе дальнейших расчетов были выявлены закономерности перераспределения урана в тектоно-метасоматических процессах формирования динамокластитов, тектонобластитов и синтетектонических метасоматитов бельского метаморфогенного комплекса, составляющего в тесной взаимосвязи с гидротермально-метасоматическими образованиями пропицит-березитовой РМФ общую сложную систему сопряженных тектонитов и метасоматитов и единую геохимическую структуру.

На графиках поведения урана и тория (рис. 8, 9) устойчивая тенденция к накоплению урана обнаружилась в динамометаморфических породах, милонитах, бластомилонитах, бла-

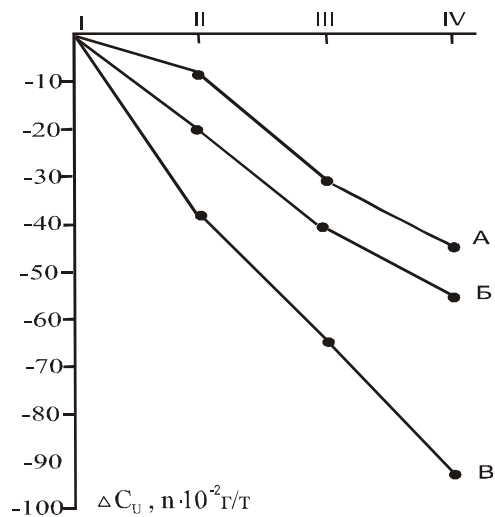


Рис. 8. Поведение урана при формировании кварц-полевошпатовых метасоматитов по метабаазальтам (А), туфогенным породам (Б), песчаникам (В)

Степень замещения исходных пород: I - слабая; II - умеренная; III - интенсивная; IV - полная.

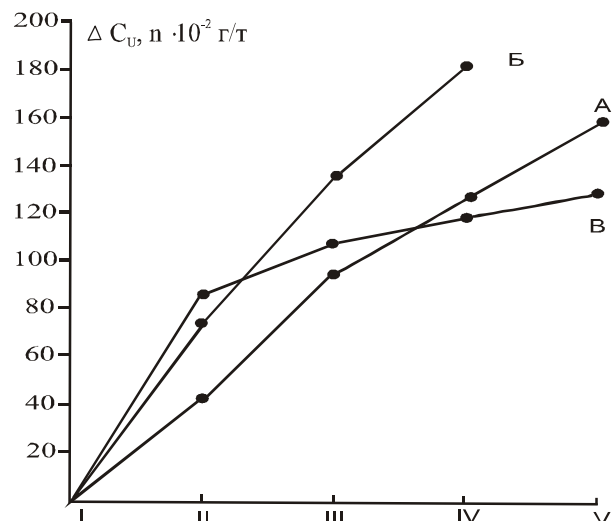


Рис. 9. Поведение урана при динамометаморфической и тектоно-метасоматической переработке метабазальтов (А), туфогенных пород (Б), песчаников (В)

Степень изменения исходных пород (I): II - рассланцованные и катаклазированные породы; III - порфириитоиды, порфириоиды, милониты; IV - динамосланцы, псаммитовые гнейсы; V - бластомилониты, полевошпатовые трахитоидные тектоносланцы

стокатаклазитах и тектонических брекчиях (тектоно-метасоматических брекчиях), тектоносланцах, гнейсо-сланцах, тогда как выносом урана характеризуются зоны фельдшпатолитов межзонных блоков, где не отмечено существенное участие тектонических процессов. В соответствии с этим процесс мобилизации и выноса урана из глубинных и приповерхностных кварц-полевошпатовых зон и привноса (концентрирования) его в тектонически активных зонах был количественно оценен по вышеописанной методике, примененной для выявления особенностей поведения урана и тория при формировании гидротермально-метасоматических образований пропилит-березитовой региональной метасоматической формации.

Коэффициенты привноса-выноса составили для фельдшпатолитовых зон: $Z_{\phi} = -0,4$ г/т; для дислоцированных и перекристаллизованных пород тектонически активных зон приразломного смятия: $Z_{\tau} = +1,1$ г/т.

Далее, как и для зон пропилит-березитовой РМФ, было рассчитано общее количество урана (Р, тыс. тонн), перемещенного из ореольных фельдшпатолитовых зон в зоны приразломного смятия, дислокационного метаморфизма и формирования синтектонических метасоматитов. Средняя плотность пород этих зон по данным определения физических свойств и по средним значениям плотности пород подобного состава составляет $2,6$ г/см³. Глубина формирования фельдшпатолитовых зон и зон динамометаморфизма, по литературным данным и применительно к площади Уйменского прогиба, при значительной мощности разреза дислоцированных вулканогенно-осадочных образований принята не менее 5 км.

Таким образом, общее количество урана, вынесенное из зон ореольной фельдшпатолитизации при формировании бельского метаморфогенного комплекса, исходя из выше оп-

ределенных параметров и с учетом площади и глубины развития данных пород, составило 1040 тыс. тонн. В то же время, суммарное количество урана, привнесенного в ядерные зоны тектонической, динамометаморфической и тектоно-метасоматической перекристаллизации, составило +2750 тыс. тонн. Общее количество урана, вынесенное из ореольных зон пропилитизации и фельдшпатизации при формировании сложной системы сопряженных метасоматитов Уйменского прогиба, в целом примерно составляет около 3300 тыс. тонн, а общее количество урана, привнесенного в центральные (фоновые) зоны ядерного концентрирования (тектониты, альбититы, березитоиды), можно принять равным 3500 тыс. тонн.

Полученные данные позволяют утверждать, что процессы перераспределения урана проходили при формировании единой сложной системы сопряженных по времени и в пространстве динамометаморфических, дислокационно-метасоматических и гидротермально-метасоматических пород бельского комплекса, фельдшпатофировой (фельдшпатолитовой) III по Е.В. Плющеву с соавторами) и пропилит-березитовой (березит-альбититовой) формаций. Тесная взаимосвязь всех данных вторичных образований (эпипород и метасоматитов) позволяют говорить о едином балансе вещества и, в частности, урана в процессе полистадийного тектоно-бластического и метасоматического перерождения пород района.

Изучение геохимической структуры района позволяет дать положительную оценку перспективности поисков уранового оруденения в пределах рассматриваемой площади, оценить масштабы возможного оруденения и прогнозировать наличие новых рудных объектов на северных, южных и юго-восточных флангах Сумультинской аномальной зоны. В результате изучения зональной геохимической структуры измененных пород Уйменского прогиба ранее было выявлено общее количество урана, перемещенного в процессе формирования системы сопряженных тектонитов и метасоматитов. Полученные данные позволяют оценить возможные (потенциальные) прогнозные ресурсы урана в рассматриваемом районе Уйменского прогиба. Исходя из имеющего опыта оценки ресурсного потенциала районов, по данным Е.В. Плющева с соавторами (Методика..., 1981; Плющев, Шатов, 1985), определены возможные прогнозные ресурсы как в целом для Сумультинской площади (Уйменского потенциально рудного района), так и для отдельных ее участков. Проведенные расчеты показывают, что в соответствии с существующими в настоящее время промышленным кондициям и градациям по размерам месторождений урана (Российский..., 2003; Уран..., 1997) можно ожидать обнаружения мелких и средних месторождений (5-20 тыс. тонн) в Айрыкской и Тонгошко-Проездной аномальных зонах и крупного месторождения урана (более 20 тыс. тонн) – в Сумультинской аномальной зоне и в районе одноименного проявления.

Очевидно, что локализация конкретных проявлений и месторождений урана будет зависеть от целого ряда параметров распределения этого элемента в геохимической структуре сопряженной системы метасоматитов и среды гидротермального минералообразования, осуществляясь на благоприятных геохимических барьерах – в барьерных зонах и на их границах с относительно резкой сменой термодинамических параметров и миграционной способности урана. На Сумультинской площади такими барьерными зонами накопления урана в целом ряде случаев являются краевые части альбититовых и (или) фельдшпатитовых зон трахитоидных тектоносланцев, непосредственно прилегающие к пропилитовым и фельдшпатолитовым зонам выноса и расположенные внутри зон крупных разломов, главным образом Бельского, Тонгошского и Айрыкского.

Таким образом, поиски новых проявлений и месторождений урана в пределах Сумультинского рудного узла должны быть сосредоточены в участках действительного и потенциального развития фельдшпатитовых (эйситовый и гумбеитовых) ассоциаций гидротермальных минералов, в вертикальном разрезе гидротермально-метасоматических обра-

3. Критерии прогнозирования и поисков уранового оруденения

Рудоконтролирующие факторы	Поисковые критерии	
	региональные	локальные
геодинамические	Приуроченность рудных районов структурно-вещественным комплексам активной континентальной окраины, преимущественно зоне тыловых рифтов	Центральные части вулканогенных тафрогенных межгорных прогибов, развитых как структуры пулл-апарт и поп-ап
геотектонические	Приуроченность рудных узлов урана к шовным сдвиговым структурам – гл. обр. региональным зонам транспрессии	Зоны сдвигов и сопряженных взбросо-надвигов с развитием дуплексно-лозанжевой структуры
структурно-тектонические	Принадлежность вовлеченным в региональное сдвиговое течение девонским очаговым вулканогенным структурам	Внутризонные блоки в пределах тектонических зон сдвиговой и взбросовой кинематики и структур типа «пальмового дерева»
магматические	Приуроченность перспективных рудных узлов к девонским вулканитам контрастной базальт-риолитовой формации с развитием калиевых риолитов	Приуроченность повышенных концентраций урана районам развития вулканитов, субвулканическим и жерловым образованиям кислого состава
метаморфические	Связь оруденения с крупными зонами динамометаморфизма термодинамического уровня зеленосланцевой фации	Локализация оруденения в тектонитах, катаклазитах и динамометаморфитах по девонским осадочно-вулканогенным породам
литолого-стратиграфические	Приуроченность рудных узлов к вулканогенно-осадочным пестроцветным молассовым толщам девона	Локализация оруденения на контактах вулканогенных пород различного состава с терригенными породами
метасоматические	Локализация рудных узлов в пределах развития сложных сопряженных систем синтектонических метасоматитов с развитием пропилит-березитовой (березит-альбититовой) РМФ	Приуроченность концентраций урана к барьерным зонам щелочного и кислотного геохимического профиля с повышением фона в эпипородах и метасоматитах березитоидного типа
геохимические	Крупные геохимические аномалии калия, натрия, тория	Комплексные геохимические аномалии тория, молибдена, меди, циркония, иттрия, ниобия, галлия, серебра, золота

зований расположенных выше фельдшпатолитовых зон выноса и ниже березитовых (барьерных) зон привноса, и в то же время локализованных на верхних уровнях крупных слабо эродированных зон приразломного смятия. Наиболее перспективной в этом плане является зона Бельско-Учальского взбросо-сдвига с широким развитием в ее пределах незродированных березитоидных эпипород и большим количеством интенсивно дислоцированных пород внутризонных блоков с развитием фельшпатитов (альбититов и калишпатитов) и полевошпатовых тектоносланцев.

Комплекс поисковых критериев уранового оруденения включает большое количество различных региональных и локальных рудоконтролирующих факторов (табл. 3), при этом главными являются структурно-тектонические и метасоматические факторы, основное внимание на которых и обращено в данной работе. Тем не менее достаточно важным при анализе размещения уранового оруденения Горного Алтая является вывод о его приуроченности шовным сдвиговым зонам и формациям наложенного на комплексы пассивной окраины континентов девонского тылового (зоны тыловых рифтов) вулканоплутонического пояса активной континентальной окраины. На юго-востоке Горного Алтая на более поздних стадиях развития девонской Алтайской активной окраины к структурам тыловых рифтов активной континентальной окраины возможно следует относить и Черногорский рудный район, локализованный в девонском Аксайском прогибе с широким развитием субвулканических образований риолитоидного состава и включающий ряд известных проявлений урана.

Выводы

1. Геодинамическая позиция уранового оруденения Уйменского прогиба определяется его принадлежностью зоне тыловых рифтов девонской активной континентальной окраины андийского типа, а геотектоническое положение района – принадлежностью трансрегиональной шовной сдвиговой зоне с развитием дуплексно-лозанжевой структуры, благоприятной для развития систем метасоматитов и измененных пород различной формационной принадлежности.

2. Структурно-тектонические условия локализации уранового оруденения Уйменского прогиба определяются его принадлежностью зонам приразломного смятия крупных разломов сдвиговой и взбросо-сдвиговой кинематики с широким развитием динамометаморфических и дислокационно-метасоматических комплексов, в рассматриваемом случае – выделяемого бельского комплекса динамометаморфитов, бластомилонитов, синтектонических метасоматитов и гидротермально-метасоматических пород.

3. Условия формирования уранового оруденения определяются развитием сложной системы гидротермально-метасоматических пород и синтектонических метасоматитов с образованием единой геохимической структуры, отдельные зоны которой выполняет рудомобилизующие, рудотранспортирующие и рудолокализирующие функции с фиксацией рудных концентраций урана на геохимических барьерах зональной метасоматической колонки. При изучении геохимической структуры системы сопряженных метасоматитов выделены ореольные зоны выноса и центральные барьерные зоны привноса (ядерного концентрирования) урана.

4. Проведенные исследования позволяют установить комплекс региональных и локальных поисковых критериев и оценить объемы перемещенного в процессе метасоматоза урана, а также масштабы возможного уранового оруденения центральной части Уйменского прогиба, что позволяет предполагать наличие новых рудных объектов на северных и южных флангах Сумультинской рудной зоны, а также в ряде других участков. Результаты работ позволяют положительно оценить перспективность поисков урановорудных объек-

тов в пределах Сумультинской площади и расширения ресурсного минерально-сырьевого потенциала Горного Алтая на урановое оруденение.

Литература

Абрамович И.И., Клушин И.Г. Геодинамика и металлогения складчатых областей. Л.: Недра, 1987. 247 с.

Геодинамический анализ при геологическом картировании (Методические рекомендации) // Под ред. Н.В. Межеловского. М.: ИМГРЭ, 1989. 56 с.

Гринев О.М. Рифтовые системы Сибири: методология изучения, морфотектоника, минерагения. Томск: STT, 2007. 434 с.

Западная Сибирь. Геология и полезные ископаемые России. Том. 2. СПб, ВСЕГЕИ, 2000. 477 с.

Ковалев А.А. Мобилизм и поисковые геологические критерии. М.: Недра, 1978. 287 с.

Методика изучения гидротермально-метасоматических образований // Е.В. Плющев, О.В. Ушаков, В.В. Шатов, Г.М. Беляев. Л.: Недра, 1981. 262 с.

Митропольский А.С. Метаморфизм пород и условия образования щелочных метасоматитов в Уйменской депрессии Горного Алтая. // Геология и геофизика, 1965, № 1, с. 95-106.

Митропольский А.С. Уран и торий в магматических и метаморфических породах центральной части Алтае-Саянской области. М.: Наука, 1972. 223 с.

Плющев Е.В., Шатов В.В. Геохимия и рудоносность гидротермально-метасоматических образований. Л.: Недра, 1985. 247 с.

Российский металлогенический словарь. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2003. 320 с. (МПР РФ, ВСЕГЕИ).

Туркин Ю.А. Некоторые вопросы дислокационного метаморфизма западной части Алтае-Саянской складчатой области. В сб: Геологическое строение и полезные ископаемые западной части Алтае-Саянской горной области // Материалы научно-практической конференции. Новокузнецк, 1995. С. 241-243.

Туркин Ю.А. Сопряженные метасоматические системы Горного Алтая. В сб: 300 лет горно-геологической службы России: история горнорудного дела, геологическое строение и полезные ископаемые Алтая // Материалы региональной научно-практической конференции. Барнаул, Изд-во АГУ, 2000. С. 169-175.

Туркин Ю.А. Кварц-полевошпатовые метасоматиты сопряженных гидротермально-метасоматических систем Горного Алтая // В сб. «Геологическая служба и минерально-сырьевая база России на пороге XXI века». Тезисы докладов научно-практической геологической конференции. Том 1. Санкт-Петербург, ВСЕГЕИ, 2000.

Туркин Ю.А. Эволюция и зональность девонского магматизма северо-восточной части Горного Алтая как структурно-формационной зоны тыловых рифтов активной континентальной окраины // В кн. «Проблемы геодинамики и минерагении Южной Сибири». Томск: Изд-во Томского государственного университета, 2000. С. 81-85.

Туркин Ю.А. Основные особенности и закономерности магматизма территории Горного Алтая и смежных регионов // Бюлл. «Природные ресурсы Горного Алтая», 2005, № 1, с. 48-55.

Уран // Я.М. Кисляков, Г.А. Машковцев, А.К. Мигуга и др. / Справочник. М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1997. 70 с.

Ярмолюк В.В., Коваленко В.И. Рифтогенный магматизм активных континентальных окраин и его рудоносность. М.: Наука, 1991. 263 с.