

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования



**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Направление подготовки/профиль – 05.06.01 Науки о Земле / Геология, поиски и разведка
твердых полезных ископаемых, минерагения
Институт природных ресурсов
Кафедра геоэкологии и геохимии

**Научный доклад об основных результатах подготовленной
научно-квалификационной работы**

Тема научного доклада	
МЕТАЛЛОНОСНОСТЬ ОТЛОЖЕНИЙ БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЫ (ЗАПАДНАЯ СИБИРЬ)	

УДК 553.3/.4.041(571.1)

Аспирант

Группа	ФИО	Подпись	Дата
A4-72	Усольцев Дмитрий Георгиевич		

Руководителя профиля подготовки

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Ворошилов Валерий Гаврилович	Д.Г.-М.Н		

Заведующий кафедрой

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Язиков Егор Григорьевич	Д.Г.-М.Н		

Научный руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Рихванов Леонид Петрович	Д.Г.-М.Н		

Введение

Актуальность работы. Черносланцевые формации довольно широко распространены во всем мире. Отложения баженовской свиты верхней юры (волжский ярус) – нижнего мела (берриасский ярус) рассматривается как черносланцевая толща по содержанию органического углерода в ее породах более 1 %. Изучение геохимических и минералогических особенностей черносланцевых образований представляет значительный научный интерес в связи с тем, что они характеризуются повышенными концентрациями благородных, редких и радиоактивных элементов. С черными сланцами связаны крупные месторождения фосфора, урана, золота, полиметаллов и редких элементов. Несмотря на большое количество работ посвященных черносланцевым формациям некоторые вопросы остаются недостаточно изученными. Среди нерешенных проблем могут быть названы такие, как условия формирования черносланцевых толщ, источник металлов и формы их нахождения. В связи с этими проблемами важное значение имеет изучение минералогических и геохимических особенностей отложений баженовской свиты.

Цель работы: Изучить геохимические и минералогические особенности отложений баженовской свиты для понимания природы аномальных концентраций урана и некоторых других элементов в этих образованиях.

Основные задачи исследований:

1. Оценить с использованием современных методов содержания и распределение химических элементов, в том числе благородных, редких, редкоземельных и радиоактивных в породах баженовской свиты.
2. Установить их устойчивые геохимические ассоциации в породах.
3. Исследовать методами рентгенофазового анализа и электронной микроскопии минеральный состав баженовской свиты.
4. Изучить взаимосвязь геохимических ассоциаций элементов с вещественным (минеральным) составом отложений баженовской свиты.
5. Выявить минералы-концентраты благородных, редких, редкоземельных, и других элементов, встречающихся в избыточных количествах.
6. Исследовать с использованием методов радиографии и электронной микроскопии формы нахождения урана.
7. Выявить минерало-геохимические индикаторы, указывающие на условия накопления и источник металлов, на основании чего разработать модель механизма их накопления урана и других микроэлементов.

Объектом исследования являются породы баженовской свиты. **Предметом исследования** – их химический и минеральный состав. **Территория исследования** – запад Томской области, а так же восточная и центральная часть Ханты-Мансийского автономного округа (Широтное Приобье). Помимо собственно пород баженовской свиты изучались битумоиды выделенные из них, а также породы куонамской свиты (черносланцевая толща кембрийского возраста на востоке Сибирской платформы) и ураноносные осадки Черного моря.

Фактический материал и методы исследования. В основу работы положены образцы отложений баженовской свиты, отобранные из керна глубоких нефтяных скважин, предоставленные доцентом кафедры геологии и разведки полезных ископаемых Томского политехнического университета (ГРПИ ТПУ), заведующим сектором литологии лаборатории седиментологии ОАО «ТомскНИПИнефть», к.г.-м.н. Шалдыбиным М.Ю.; доцентом кафедры прикладной геофизики Тюменского индустриального университета (ТИУ), с.н.с, к.г.-м.н. Хабаровым В.В.; доцентом, к.г.-м.н. Ежовой А.В.; доцентом кафедры ГРПИ ТПУ к.г.-м.н. Недоливко Н.М.; генеральным директором ООО «Корэтест Сервис», к.г.-м.н. Романовым Е.А. Большую помощь в поисках каменного материала оказал доцент кафедры прикладной геофизики ТИУ, к.г.-м.н., Турышев В.В., доцент кафедры геоэкологии и геохимии (ГЭГХ) ТПУ, к.г.-м.н. Домаренко В.А. и многие другие.

Общее количество изученных образцов пород баженовской свиты составляет 210.

Базовым аналитическим методом для определения химического состава отложений баженовской свиты являлся инструментальный нейтронно-активационный анализ (ИНАА) на 28 химических элементов (ядерно-геохимическая лаборатория Международного инновационного научно-образовательного центра (МИНОЦ) «Урановая геология» кафедры геоэкологии и геохимии (ГЭГХ) ТПУ, аналитики – с.н.с. А.Ф. Судыко, Л.В. Богутская). Методом ИНАА проанализировано 210 образцов.

Химический анализ ряда образцов (в количестве 10) выполнялся также методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на 63 химических элемента в ООО «Химико-аналитический центр «Плазма» (г. Томск, директор – Н.В. Федюнина).

Содержание органического углерода определялось пиролитическим методом (134 образца) на приборе «Rock-Eval 6 Turbo» в Международной научно-образовательной лаборатории изучения углерода арктических морей ТПУ.

Минеральный состав образцов определялся методом рентгеновской дифрактометрии (132 образца) на приборах Bruker D2 Phaser (лаборатория методов исследования вещественного

состава природных объектов МИНОЦ «Урановая геология» ГЭГХ ТПУ), Rigaku Ultima IV (ОАО «ТомскНИПИнефть», аналитик – Ю.М. Лопушняк).

Минеральные формы нахождения микроэлементов выявлялись при помощи электронной микроскопии на сканирующем электронном микроскопе Hitachi-3400N с энергодисперсионной приставкой для микроанализа (лаборатория электронно-микроскопической диагностики МИНОЦ «Урановая геология» кафедры ГЭГХ ТПУ).

Пространственное распределение урана изучено методом осколочной радиографии. В качестве детектора использовалась слюда.

Из 2 образцов были выделены хлороформные и спирт-бензольные экстракты (до и после обработки породы HCl). Экстракты были проанализированы методом ИНАА (6 проб), а также сами образцы после выделения из них битумоидов (8 проб).

Защищаемые положения:

1. Геохимическая специализация глинисто-кварцевого литотипа пород баженовской свиты, на долю которой приходится $\frac{3}{4}$ её объёма, проявляется в повышенных концентрациях Co_{org} , V, Ni, Cu, Zn, As, Mo, Cd, Sb, Ba, Re, U.

В глинисто-кварцевом типе пород по данным **нейтронно-активационного, масс-спектрометрического с индуктивно связанной плазмой и пиролитического** метода анализа устойчиво выделяется четыре ассоциации химических элементов: «кластофильная» (Na, Sc, Cr, Rb, Cs, Hf, Ta, Au, Th, Li, Al, Si, K, Ti, Mn, Ga, Ge, Zr, Nb, Sn, W, Pb, Bi), «карбонатофильная» (Ca, Ba, Sr, Mg), «фосфатофильная» (La, Ce, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu, U, P, Y, Pr, Nd, Gd, Dy, Ho, Er, Tm, Re) и «органофильная» (Co_{org} , Fe, Co, Zn, As, Sb, V, Ni, Cu, Mo, Cd, Tl).

При этом «кластофильная» ассоциация имеет связь с терригенными минералами (полевые шпаты, слюды, циркон, монацит и др.), тогда как «карбонатофильная» обусловлена присутствием эпигенетических карбонатных минералов (кальцит, доломит). «Фосфатофильная» и «органофильная» группа элементов имеют связь с такими компонентами как P и Co_{org} соответственно.

2. Большинство элементов «фосфатофильной» и «органофильной» геохимических ассоциаций, имеющие аномально высокие концентрации в породах, имеют свои собственные минеральные формы нахождения аутигенного характера, уверенно диагностируемые при электронно-микроскопических исследованиях. Для V, Ni, Ag, Sn, Au характерны интерметаллические соединения. Fe и Cu находятся как в форме сульфидов (пирит, халькопирит), так и в виде интерметаллических соединений. Основной минеральной формой Zn и Pb являются сульфиды (сфалерит, галенит). В качестве примесей в сульфидов меди

присутствуют Fe, Co, Zn, As, Sn, Sb; в сульфидах цинка – Cd. Минеральной формой нахождения Ва является его сульфат (барит). У и редкоземельные элементы, U концентрируются в фосфатном образовании, в котором они могут образовывать самостоятельные кластеры.

3. U в отложениях баженовской свиты характеризуется большим разнообразием форм его нахождения. 1) Аллотигенные собственные минеральные фазы, приуроченные к терригенным обломкам. Именно этот U формирует общий региональный радиогеохимический фон терригенных пород Западно-Сибирской плиты ($U - 3$ г/т, $Th - 7$ г/т, $Th/U - 2,5$). 2) U, обусловленный преимущественно его сорбцией на органическом веществе и в меньшей степени на минералах с повышенной сорбционной емкостью (глинистые минералы и др.), в процессе накопления и диагенеза осадочных пород. Этот уран обусловил общую радиогеохимическую специализацию баженовской толщи на уровне первых десятков граммов (5-30) U на тонну. 3) Аутигенные собственные минеральные фазы урана, по химическому составу соответствующие урановому силикату (коффинит), тесно ассоциирующему с иттрий-редкоземельным фосфатом, приуроченные к остаткам эпигенетически преобразованных отмерших единичных организмов или их скоплений, Такая форма нахождения является преобладающей в породах с содержанием урана 30 и более г/т.

Научная новизна. Получены новые данные по связям химических элементов между собой в отложениях баженовской свиты и их взаимосвязи с породообразующими минералами. Впервые установлено многообразие форм нахождения урана и других микроэлементов в породах баженовской свиты.

Практическая значимость. В течение уже полувекового периода черносланцевые толщи считаются возможным низкосортным нетрадиционным источника урана. В настоящее время из черных сланцев уран не добывается, т.к. открыто большое число высокосортных месторождений других типов. Несмотря на низкое содержание урана в черных сланцах, его количество чрезвычайно велико. Возможно, что будущие потребности в уране приведут к необходимости использования этого крупного резерва с невысоким содержанием урана. Результаты настоящего исследования могут быть использованы при рассмотрении черносланцевых отложений баженовской свиты в качестве источника урана и других металлов.

Апробация работы и публикации. Основные результаты работы были представлены на Международных и Всероссийских научно-практических конференциях: «Проблемы геологии и освоения недр» (г. Томск, 2014-2017), «Новое в познании процессов рудообразования» (г. Москва, 2014-2016), «Современные исследования в геологии» (г. Санкт-Петербург, 2016), «Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека» (г. Томск, 2016). По

теме исследования опубликовано 8 работ, в том числе 2 в рецензируемом научном журнале, входящем в перечень ВАК.

Глава 1. Краткий геолого-геохимический очерк отложений баженовской свиты

Отложения баженовской свиты верхней юры (волжский ярус) – нижнего мела (берриасский ярус) регионально распространены на территории Западной Сибири, охватывая площадь более 1 млн. кв. км, при средней мощности 30 м [Брадучан, 1986 и др.]. Величины значений мощности находятся в пределах от 10 до 60 м, наименьшая глубина залегания кровли находится на отметке порядка 650 м (Зауральский район), достигая максимума – 3700 м (Надымский район).

Основными компонентами в составе баженовской свиты являются кварц, глинистые минералы (иллит, смешанослойный иллит-сметит, хлорит, каолинит), пирит, карбонаты (доломит, кальцит), полевые шпаты (плагиоклаз, КППШ), иногда фторапатит. Исследователи данной толщи в её составе выделяют до 20 литологических типов [Конторович, 2016; Занин, 2005 и др.]. Основными литотипами являются глинисто-кремнистые (низкоглинистые высококремнистые), аргиллиты (высокоглинистые низкоккремнистые) и карбонаты. В разрезе не наблюдается каких-либо закономерностей в положении того и другого типа пород [Занин, 2005].

В породах баженовской свиты сконцентрированы огромные массы органического вещества. Именно по этому признаку эта толща в 50-е годы XX века была выделена Н.П. Запиваловым [Черников, Запивалов, 1958] при анализе характерных особенностей марьяновской свиты верхней юры. Содержание органического углерода достигает 20%, содержания битумов – до 1,8% [Гурари, 1961]. Сначала эта толща была обособлена в качестве пачки битуминозных аргиллитов в марьяновской свите, а несколько позднее Ф.Г. Гурари она была выделена как самостоятельное литостратиграфическое подразделение.

Данный осадочный комплекс выделяется среди вмещающих пород повышенной радиоактивностью. Эту особенность пород баженовских отложений отмечают все исследователи. Согласно исследованиям радиоактивности баженовской свиты в 70 – 80 годы было установлено, что основной вклад в естественную радиоактивность пород 80 – 90 % дает уран. Содержание других радиоактивных элементов составляет 10 – 20 % от общей радиоактивности свиты. [Плуман, 1975; Хабаров, 1980].

В 1971 г. И.И. Плуман первым обратил внимание на тесную корреляционную связь между содержанием урана и органического углерода в баженовской свите.

По данным лабораторных исследований и дополняющей их информации по гамма-каротажу сотен скважин Западно-Сибирской провинции И.И. Плуманом было установлено, что ураноносность баженовской свиты, а, следовательно, и битуминозность пород, уменьшается от центральных районов баженовского палеобассейна к периферии. Это достаточно уверенно показано нами при обработке гамма-каротажей по скважинам, которые были любезно нам предоставлены доцентом ГЭГХ ТПУ, к.г.-м.н. Домаренко В.А.

Помимо урана отложения баженовской свиты обогащены Mo, V, Cu, Ni, Zn, Cd, As, Ag, Sb, Se, Br, Au [Gavshin, 1996; Рихванов, Усольцев и др., 2016 и др.], что позволяет её сопоставлять с породами типа «чёрных сланцев», пользующихся широким распространением в мире [Юдович, 1996 др.]. Аналогами баженовской свиты являются современные нелитифицированные сапропелевые илы Черного моря, а также претерпевшие стадии преобразования, такие как кремнистые сланцы Чаттануги (США), квасцовые сланцы Швеции, кукурситы прибалтийского сланцевого бассейна и др.

Глава 2. Минералого-геохимические особенности отложений баженовской свиты

Изученные образцы имеют схожий минеральный состав. Во всех образцах обнаруживаются одни и те же минералы, такие как кварц, слюдистые минералы, каолинит, хлорит, плагиоклаз и калиевые полевые шпаты, пирит, кальцит, доломит. Редко обнаруживаются сульфаты – барит и гипс. Однако некоторые образцы существенно отличаются соотношением породообразующих компонентов. Основную группу составили образцы с глинисто-кварцевым составом. Можно выделить кальцитовую группу образцов (с содержанием кальцита более 10 %), доломитовую группу (с содержанием доломита более 20 %), пиритовую группу (с содержанием пирита более 20 %). В единичном экземпляре присутствует фторапатитовая и сидеритовая разновидность. Гистограммы частот основных компонентов минерального состава для основной группы (глинисто-кварцевых) пород практически идеально соответствует нормальному распределению (рис. 1), что говорит об отсутствии других типов пород, по крайней мере, по данным рентгенофазового анализа. Средние значения и диапазон содержаний основных породообразующих минералов представлен в таблице 1. Более полные данные по дифрактометрии большинства из рассматриваемых в данном исследовании образцов изложены в работе [Shaldybin, 2017].

*Таблица 1 – Минеральный состав отложений баженовской свиты в зависимости от
выделенных групп пород*

	Глинисто-кварцевые	Кальцитовые	Доломитовые	Пиритовые
Количество	107	9	10	3
Кварц	$\frac{60,6}{33,3-90,1}$	$\frac{32,3}{3,9-72,1}$	$\frac{19,9}{3,9-51,5}$	$\frac{39,6}{31,3-44,2}$
Иллит/Мусковит	$\frac{13,6}{2,3-31,8}$	$\frac{8,6}{1,3-19,4}$	$\frac{7,4}{0-21}$	$\frac{13,9}{4,8-19,9}$
Каолинит	$\frac{6,1}{1,1-23,9}$	$\frac{3,4}{1,6-5,9}$	$\frac{3}{0-8,2}$	$\frac{9,7}{2,6-21,9}$
Хлорит	$\frac{1}{0-5,5}$	$\frac{0,8}{0-4,8}$	$\frac{0,9}{0-3,9}$	$\frac{1,1}{1-1,3}$
Плагиоклаз	$\frac{7,6}{1,1-16,8}$	$\frac{5,9}{0-12,7}$	$\frac{4,7}{0-13,7}$	$\frac{8,3}{1-12,7}$
КПШ	$\frac{4,5}{0-12,2}$	$\frac{2,6}{0-8,9}$	$\frac{4,8}{0-19,4}$	$\frac{4,1}{1-7,7}$
Пирит*	$\frac{5,4}{0-14,2}$	$\frac{4,2}{1,2-15,1}$	$\frac{2}{0-8,3}$	$\frac{22,1}{19,6-23,7}$
Кальцит*	$\frac{0,9}{0-6,4}$	$\frac{40,1}{13,3-86}$	$\frac{1,4}{0-5,6}$	$\frac{0,8}{0-1,4}$
Доломит*	$\frac{0}{0-2,6}$	$\frac{1,3}{0-8,3}$	$\frac{55,9}{26,2-73,7}$	$\frac{0,3}{0-1}$
Барит*	Присутствует		Присутствует	
Гипс*	Присутствует			

*Примечание: $\frac{\text{Среднее}}{\text{Диапазон}}$; * – преимущественно аутигенные минералы.*

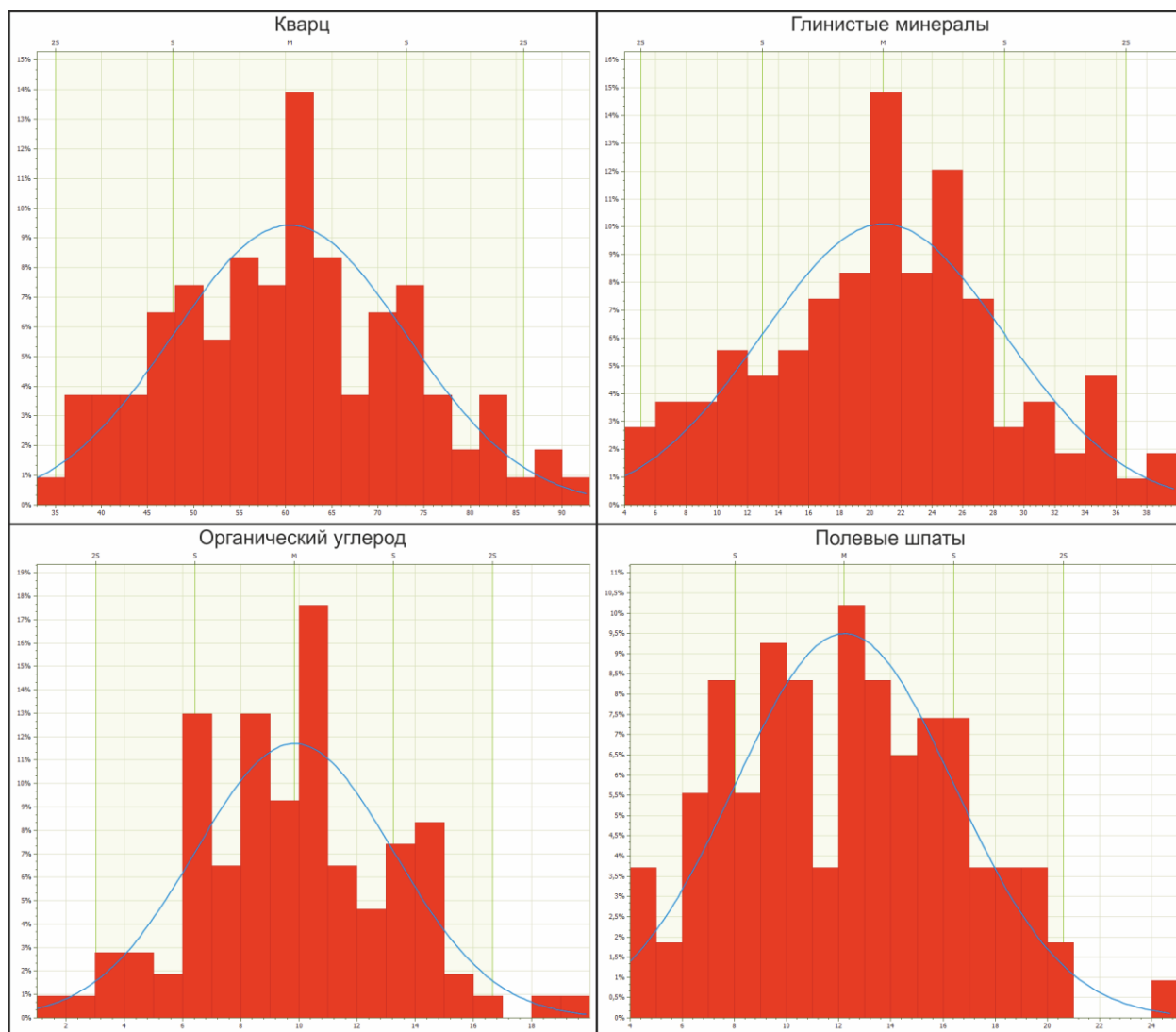


Рисунок 1 – Гистограммы частот содержаний основных породообразующих минералов в глинисто-кварцевых породах отложений баженовской свиты

Анализ химического состава показал, что глинисто-кварцевые и пиритовые породы баженовской свиты обладают повышенными концентрациями некоторых элементов, такими как V, Ni, Cu, Zn, As, Mo, Cd, Sb, Ba, Re, U и Сорг по сравнению со средними содержаниями в глинистых сланцах [Григорьев, 2009] и такими как Ni, Zn, Mo и U по сравнению со средними содержаниями в черных сланцах [Ketrís, 2009]. Более высокие концентрации относятся к пиритовым разновидностям. Немного меньше содержания этих элементов в глинисто-кварцевых. Резко меньше в кальцитовых и доломитовых (табл. 2).

Таблица 2 – Оценки химического состава отложений баженовской свиты

Эл-нт	Глинисто-кварцевые			Кальцитовая			Доломитовая			Пиритовая			Метод
	Среднее	Диапазон	N	Среднее	Диапазон	N	Среднее	Диапазон	N	Среднее	Диапазон	N	
Li	29,1 ± 4,3	25 - 36,4	6	н.д.			н.д.			н.д.			ИСП-МС
Be	< 5		6	н.д.			н.д.			н.д.			ИСП-МС
Na, %	0,58 ± 0,04	0,08 - 1,19	107	0,29 ± 0,23	0,05 - 0,91	9	0,18 ± 0,06	0,07 - 0,31	10	0,73 ± 0,47	0,52 - 0,89	3	ИНАА
Mg	5382 ± 1357	3355- 6775	6	н.д.			н.д.			н.д.			ИСП-МС
Al, %	4,33 ± 0,52	3,84 - 5,1	6	н.д.			н.д.			н.д.			ИСП-МС
Si, %	26,1 ± 1,7	23,5 - 28	6	н.д.			н.д.			н.д.			ИСП-МС
P	1204 ± 1202	514 - 3448	6	н.д.			н.д.			н.д.			ИСП-МС
K	1,43 ± 0,11	1,25 - 1,54	6	н.д.			н.д.			н.д.			ИСП-МС
Ca, %	1,04 ± 0,1	0,24 - 2,98	107	<u>13,1 ± 6,7</u>	<u>3,4 - 24,8</u>	9	<u>11,7 ± 1,68</u>	<u>7,59 - 14,3</u>	10	1,13 ± 0,14	1,08 - 1,19	3	ИНАА
Sc	12,4 ± 0,82	1,19 - 19,9	107	7,7 ± 5,15	1 - 19,1	9	4,48 ± 1,54	1,37 - 7,9	10	16,5 ± 3,33	14,9 - 17,5	3	ИНАА
Ti	3512 ± 494	3149 - 4435	6	н.д.			н.д.			н.д.			ИСП-МС
V	<u>451 ± 135</u>	<u>312 - 677</u>	6	н.д.			н.д.			н.д.			ИСП-МС
Cr	74,7 ± 4,1	24,5 - 147	107	37,4 ± 27,3	4,93 - 98,3	9	25 ± 8,1	9,98 - 48	10	86,3 ± 9,3	83,3 - 90,5	3	ИНАА
Mn	118 ± 30,9	84,8 - 157	6	н.д.			н.д.			н.д.			ИСП-МС
Fe, %	3,35 ± 0,33	0,73 - 10,8	107	2,48 ± 2,13	0,52 - 8,89	9	3,14 ± 0,63	1,41 - 4,5	10	9,53 ± 3,58	7,89 - 10,6	3	ИНАА
Co	29,7 ± 2,43	8,49 - 97,9	107	10,7 ± 6,73	1,82 - 28,8	9	8,26 ± 1,46	5,93 - 13	10	<u>69,5 ± 102</u>	<u>34,6 - 115</u>	3	ИНАА
Ni	<u>227 ± 58,8</u>	<u>147 - 280</u>	6	н.д.			н.д.			н.д.			ИСП-МС
Cu	<u>131 ± 26</u>	<u>100 - 163</u>	6	н.д.			н.д.			н.д.			ИСП-МС
Zn	<u>562 ± 63,8</u>	<u>75,4 - 2552</u>	107	198 ± 195	20 - 748	9	98,1 ± 21,7	43,2 - 139	10	<u>668 ± 545</u>	<u>421 - 840</u>	3	ИНАА
Ga	14,3 ± 1,4	12,5 - 16,1	6	н.д.			н.д.			н.д.			ИСП-МС
Ge	1,82 ± 0,24	1,61 - 2,19	6	н.д.			н.д.			н.д.			ИСП-МС
As	<u>33,8 ± 4,46</u>	<u>7,65 - 133</u>	107	15,8 ± 9,92	2,46 - 42,4	9	11,1 ± 3,93	5,45 - 20,1	10	<u>71,2 ± 36,4</u>	<u>54,3 - 80,2</u>	3	ИНАА
Br	< 0,9		107	< 0,9		9	< 0,9		10	< 0,9		3	ИНАА
Rb	64,8 ± 6,35	7,34 - 136	107	29,8 ± 27,5	1 - 114	9	17,1 ± 8,21	4,9 - 40	10	100 ± 84	70 - 137	3	ИНАА
Sr	248 ± 36	40 - 720	107	594 ± 148	316 - 868	9	<u>963 ± 653</u>	<u>227 - 3423</u>	10	225 ± 583	40 - 489	3	ИНАА
Y	28,9 ± 14	20,8 - 55	6	н.д.			н.д.			н.д.			ИСП-МС
Zr	113 ± 12,8	99,7 - 129	6	н.д.			н.д.			н.д.			ИСП-МС

Продолжение таблицы 2

Эл-нт	Глинисто-кварцевые			Кальцитовая			Доломитовая			Пиритовая			Метод
	Среднее	Диапазон	N	Среднее	Диапазон	N	Среднее	Диапазон	N	Среднее	Диапазон	N	
Nb	8,44 ± 1,21	6,73 - 9,82	6	н.д.			н.д.			н.д.			ИСП-МС
Mo	<u>238 ± 66,9</u>	<u>147 - 308</u>	6	н.д.			н.д.			н.д.			ИСП-МС
Ru	< 0,5		6	н.д.			н.д.			н.д.			ИСП-МС
Ag	< 0,7		107	< 0,7		9	< 0,7		10	< 0,7		3	ИНАА
Cd	<u>18,5 ± 5,6</u>	<u>14,5 - 28,1</u>	6	н.д.			н.д.			н.д.			ИСП-МС
In	< 0,5		6	н.д.			н.д.			н.д.			ИСП-МС
Sn	1,69 ± 0,42	1,23 - 2,37	6	н.д.			н.д.			н.д.			ИСП-МС
Sb	<u>5,12 ± 0,75</u>	<u>1,19 - 35,9</u>	107	3,19 ± 3,19	0,31 - 11,6	9	1,27 ± 0,44	0,5 - 2,17	10	<u>9,34 ± 5,84</u>	<u>6,63 - 10,8</u>	3	ИНАА
Te	< 50		6	н.д.			н.д.			н.д.			ИСП-МС
Cs	4,99 ± 0,52	0,28 - 11,8	107	2,14 ± 1,95	0,22 - 8,22	9	1,12 ± 0,41	0,31 - 1,92	10	7,67 ± 2,94	6,46 - 8,82	3	ИНАА
Ba	<u>2030 ± 916</u>	<u>482 - 45665</u>	107	<u>5100 ± 6387</u>	<u>130 - 25691</u>	9	<u>1381 ± 1058</u>	<u>372 - 4187</u>	10	<u>2011 ± 4426</u>	<u>859 - 4063</u>	3	ИНАА
La	22,6 ± 1,96	0,05 - 56,8	107	14 ± 8,86	1,45 - 31,2	9	8,59 ± 3,98	0,05 - 15,8	10	36,8 ± 33,1	26,5 - 51,8	3	ИНАА
Ce	42,2 ± 2,97	5,98 - 85,8	107	25,7 ± 15,7	2,86 - 56,2	9	20,5 ± 6,98	8,66 - 35,8	10	63,7 ± 38,2	48,1 - 78,9	3	ИНАА
Pr	5,82 ± 1,3	4,57 - 7,9	6	н.д.			н.д.			н.д.			ИСП-МС
Nd	23 ± 2,08	1,5 - 60,5	107	28,7 ± 15	9,36 - 71,9	9	13,9 ± 4,16	6,28 - 25,2	10	24,1 ± 46,7	3,65 - 40,6	3	ИНАА
Sm	3,89 ± 0,5	0,08 - 12,6	107	2,45 ± 1,4	0,04 - 5,45	9	1,53 ± 0,85	0,1 - 3,81	10	7,14 ± 18,2	2,26 - 15,6	3	ИНАА
Eu	1,24 ± 0,11	0,06 - 3,47	107	0,6 ± 0,48	0,04 - 1,78	9	0,37 ± 0,13	0,1 - 0,64	10	2,35 ± 2,29	1,6 - 3,38	3	ИНАА
Gd	5,99 ± 1,72	4,02 - 8,62	6	н.д.			н.д.			н.д.			ИСП-МС
Tb	0,76 ± 0,07	0,08 - 2,25	107	0,33 ± 0,23	0,03 - 0,82	9	0,24 ± 0,08	0,1 - 0,48	10	1,22 ± 1,15	0,7 - 1,58	3	ИСП-МС
Dy	4,99 ± 1,6	3,57 - 7,81	6	н.д.			н.д.			н.д.			ИСП-МС
Ho	1 ± 0,39	0,76 - 1,69	6	н.д.			н.д.			н.д.			ИСП-МС
Er	2,92 ± 0,92	2,32 - 4,59	6	н.д.			н.д.			н.д.			ИСП-МС
Tm	0,42 ± 0,15	0,31 - 0,67	6	н.д.			н.д.			н.д.			ИСП-МС
Yb	3,34 ± 0,26	0,56 - 9,21	107	1,98 ± 1,04	0,3 - 3,98	9	1,34 ± 0,46	0,49 - 2,26	10	4,66 ± 3,87	3,36 - 6,39	3	ИНАА
Lu	0,47 ± 0,04	0,03 - 1,13	107	0,3 ± 0,16	0,06 - 0,67	9	0,19 ± 0,06	0,09 - 0,31	10	0,61 ± 0,46	0,45 - 0,82	3	ИНАА
Hf	2,62 ± 0,21	0,25 - 4,82	107	1,16 ± 1	0,25 - 3,95	9	0,67 ± 0,27	0,16 - 1,21	10	3,4 ± 0,81	3,05 - 3,7	3	ИНАА
Ta	0,33 ± 0,06	0 - 1,22	107	0,11 ± 0,09	0 - 0,32	9	0,09 ± 0,08	0 - 0,3	10	0,47 ± 0,93	0,04 - 0,7	3	ИНАА
W	1,28 ± 0,22	0,95 - 1,46	6	н.д.			н.д.			н.д.			ИСП-МС

Окончание таблицы 2

Эл-нт	Глинисто-кварцевые			Кальцитовая			Доломитовая			Пиритовая			Метод
	Среднее	Диапазон	N	Среднее	Диапазон	N	Среднее	Диапазон	N	Среднее	Диапазон	N	
Nb	8,44 ± 1,21	6,73 - 9,82	6	н.д.			н.д.			н.д.			ИСП-МС
Re	<u>0,27 ± 0,13</u>	<u>0,12 - 0,48</u>	6	н.д.			н.д.			н.д.			ИСП-МС
Pt	< 0,1		6	н.д.			н.д.			н.д.			ИСП-МС
Au	14 ± 2	1 - 53	107	18 ± 13	7 - 63	9	11 ± 2	6 - 17	10	19 ± 29	7 - 30	3	ИНАА
Hg	< 0,05		6	н.д.			н.д.			н.д.			ИСП-МС
Tl	3,11 ± 1,49	1,65 - 4,99	6	н.д.			н.д.			н.д.			ИСП-МС
Pb	14,8 ± 2,6	12,5 - 18,7	6	н.д.			н.д.			н.д.			ИСП-МС
Bi	0,23 ± 0,02	0,21 - 0,25	6	н.д.			н.д.			н.д.			ИСП-МС
Th	6,47 ± 0,57	0,57 - 13,5	107	2,95 ± 2,31	0,19 - 9,3	9	2,03 ± 0,73	0,89 - 3,73	10	8 ± 2,98	7,05 - 9,35	3	ИНАА
U	<u>50 ± 6,14</u>	<u>8,24 - 186</u>	107	<u>14,6 ± 8,13</u>	<u>1,84 - 33,2</u>	9	11,2 ± 5,98	3,72 - 25,3	10	<u>68,2 ± 34,2</u>	<u>56,4 - 83,3</u>	3	ИНАА
Сорг	<u>9,9 ± 0,65</u>	<u>1,08 - 19,7</u>	107	<u>3,58 ± 2,55</u>	<u>0,78 - 8,73</u>	9	2,8 ± 0,79	1,32 - 4,71	10	<u>10,1 ± 5,83</u>	<u>7,44 - 11,7</u>	3	ПА

Примечания: Содержание Na, Al, Si, Ca, Fe, Сорг даны в %, Au – в мг/т, остальные – в г/т. Доверительные интервалы отвечают уровню значимости 0,05. Н.д. – нет данных. ИНАА – Инструментальный нейтронно-активационный анализ, ИСП-МС – Масс-спектрометрический анализ с индуктивно связанной плазмой, ПА – пиролитический анализ. N – количество проб. Выделены элементы с повышенной концентрацией относительно средних содержаний в глинистых сланцах (Григорьев, 2009)

Геохимические особенности отложений баженовской свиты детально изучались только для пород глинисто-кварцевого состава, чтобы исключить влияние других литологических разновидностей со значительно отличающимся содержанием некоторых минеральных компонент. Отложения баженовской свиты более чем на 80 % представлены глинисто-кварцевыми породами, и в имеющейся коллекции эти породы представлены в достаточном объеме.

Для выделения геохимических ассоциаций был использован кластерный анализ. В результате анализа были выделены ассоциации химических элементов: «кластофильная», «органотфильная», «карбонатотфильная» и «фосфатотфильная» (рис. 2). «Кластофильная» группа представлена химическими элементами (Na, Sc, Cr, Rb, Cs, Hf, Ta, Th), связанными с терригенными минералами (рис. 3). В эту же группу можно отнести Li, Al, Si, K, Ti, Mn, Ga, Ge, Zr, Nb, Sn, W, Pb, Bi, опираясь на корреляционный анализ, сделанный для выборки, в которой определены содержания 63 элементов. «Карбонатотфильную» группу определили такие химические элементы как Ca, Ba, Sr (элементы, концентрирующиеся в карбонатных минералах), в эту же группу можно отнести Mg, Nd, попавший в эту группу по данным кластерного анализа, скорее всего не относится к «карбонатотфилам», т.к. его связь с карбонатными минералами не установлена. Nd характеризуется высокой корреляционную связью с другими РЗЭ и Р. В «фосфатотфильную» группу вошли U и РЗЭ (La, Ce, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu) в эту же группу можно отнести другие РЗЭ (Y, Pr, Gd, Dy, Ho, Er, Tm, Nd), Р и Re. «Органотфильная» ассоциация обособилась такими химическими элементами как Со_{орг}, Sb, Zn, Co, Fe, As, Au, и в эту же группу можно отнести V, Ni, Cu, Mo, Cd, Tl. Эти элементы связаны с содержанием Со_{орг} (рис.4). Однако Au и Fe, которые вошли в «органотфильную» группу по результатам кластерного анализа не связаны с Со_{орг}, но обнаруживается слабая связь этих элементов с терригенной компонентой, а в случае с Fe – сильная связь с пиритом. Au следует отнести к «кластофильной» группе, т.к. слабая связь Au с полевыми шпатами, это единственная связь из всех рассматриваемых минералов и химических элементов. Fe можно отнести и к «органотфильной» и «кластофильной» группе, что обусловлено разными формами нахождения этого элемента. Об этом свидетельствует наличие некоторой связи пирита и Со_{орг}.

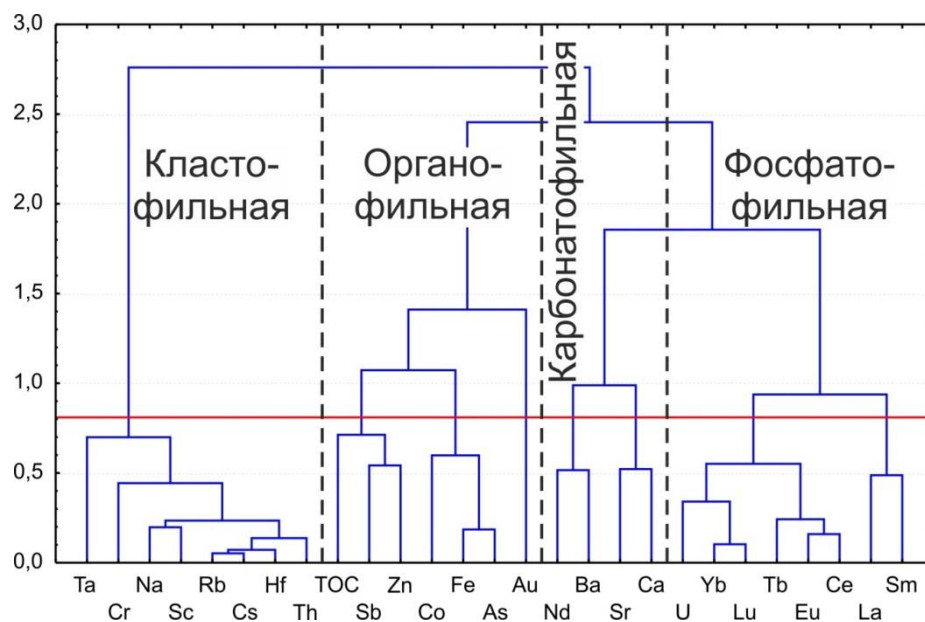


Рисунок 2 – Дендрограмма корреляционных связей между содержаниями химических элементов в породах глинисто-кварцевой группы

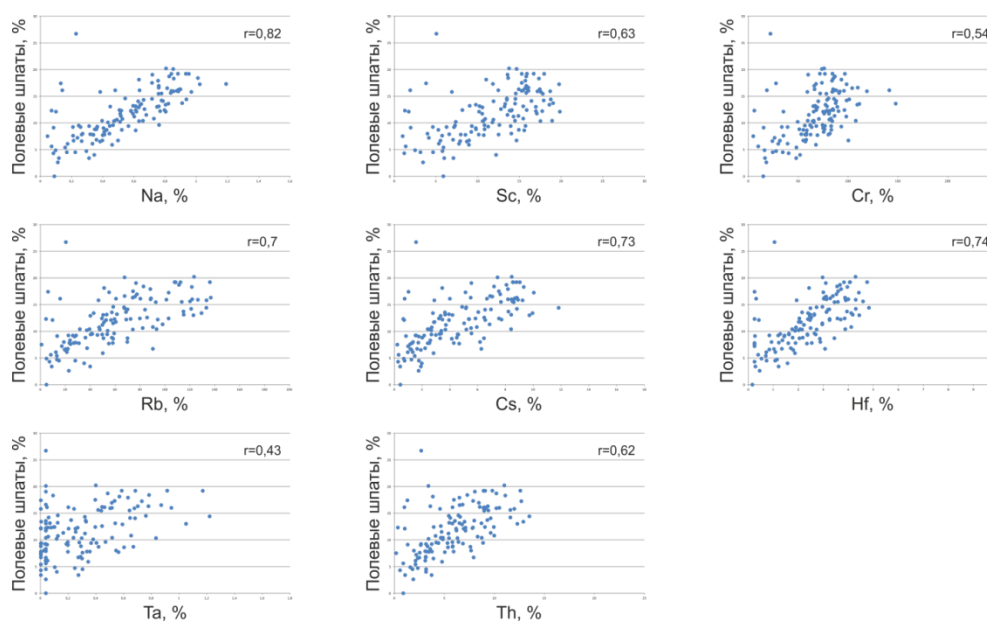


Рисунок 3 – Корреляционные связи химических элементов отнесенных к «кластофильной» группе с полевыми шпатами

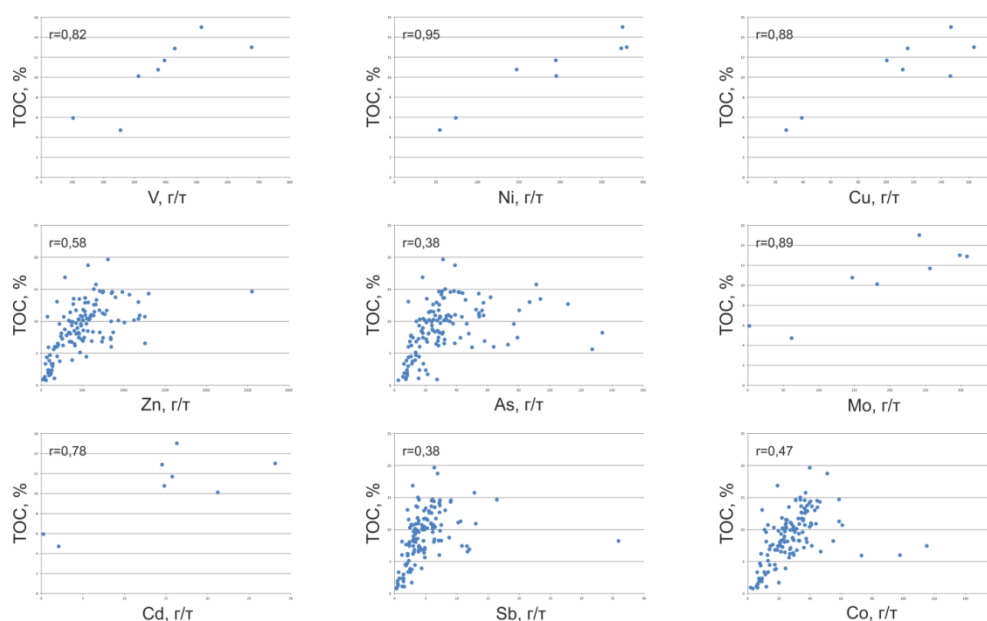


Рисунок 4 – Корреляционные связи химических элементов отнесенных к «органотфильной» группе с органическим углеродом

Корреляционный анализ показал, что содержания U имеет прямую связь с содержанием, как Сорг, так и Р и тяжелых РЗЭ (рис. 5). В то время когда связь содержаний Р и РЗЭ с содержаниями Сорг не наблюдается. Таким образом, можно сказать, что U можно отнести и «органотфильной» и к «фосфатотфильной» группе. Это должно объясняться разными факторами, влияющими на накопление U.

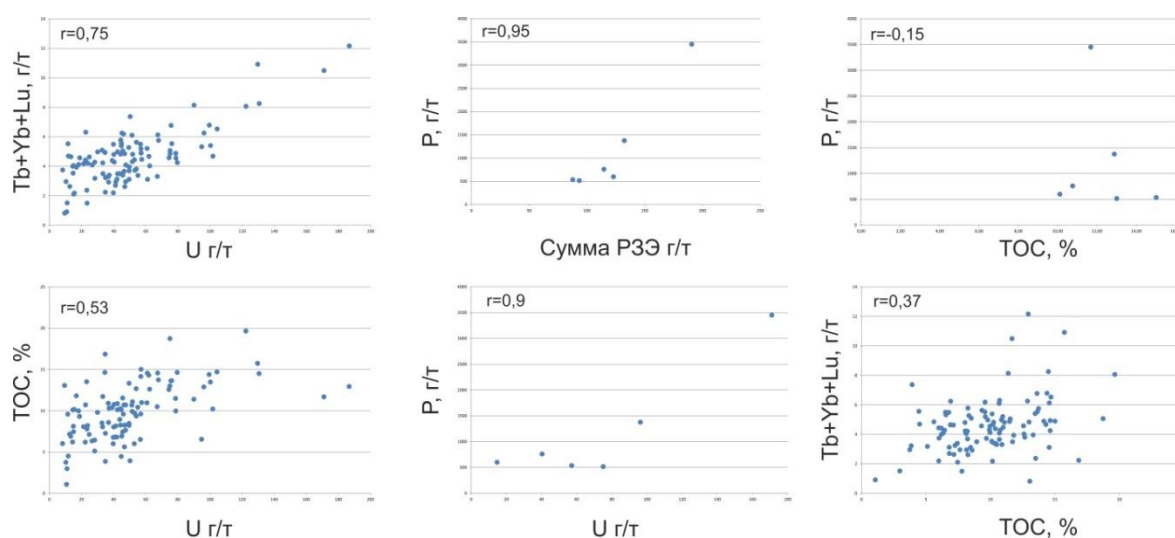


Рисунок 5 – Корреляционные связи U-ТОС-Р-РЗЭ

Таким образом к «кластофильной» группе следует отнести Li, Na, Al, Si, K, Sc, Ti, Cr, Mn, Ga, Ge, Rb, Zr, Nb, Sn, Cs, Hf, Ta, W, Au, Pb, Bi, Th; к «карбонатофильной» - Mg, Ca, Sr, Ba; к «фосфатофильной» - P, Y, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Re; к «органофильной» - Co, V, Co, Ni, Cu, Zn, As, Mo, Cd, Sb, Tl. Особые положения занимают U и Fe.

Глава 3. Формы нахождения элементов-примесей по данным электронно-микроскопических исследований

В процессе детального электронно-микроскопического анализа в данной породе обнаружено большое количество микроминеральных фаз различного состава, распределение которых в основной минеральной массе крайне неоднородное. Установленные минеральные фазы, представлены в таблице. 3

Таблица 3 – Химический состав микроминеральных форм в породах баженовской свиты по данным сканирующей электронной микроскопии

Эл-нт	Состав минеральной фазы и ее характеристика	Предполагаемый минерал
Zn	Содержание Zn – 51...54 %, размер – 5...40 мкм, элементы спутники: S (25...29 %), Cd (1...2 %), иногда Fe (1 %)	Сфалерит
U	Содержание U – 37...55 %, размер – 1...6 мкм, элементы спутники: Si (5...8 %)	Коффинит
	Содержание U – 10...14 %, размер – 1 мкм, элементы спутники: Ti (6...7 %)	Браннерит
Fe	Содержание Fe – 30...50 %, размер – 10...50 мкм, элементы спутники: S (30...50 %)	Пирит
	Содержание Fe – 67...76 %, размер 5...20 мкм, элементы спутники: Cr (8...9 %) иногда Ti (16 %)	Интерметаллид
Ba	Содержание Ba – 50...60 %, размер – 10...40 мкм, элементы спутники: S (11...15 %), иногда Ca (8 %)	Барит
Pb	Содержание Pb – 75...85 %, размер – 2...4 мкм, элементы спутники: S (9...10 %)	Галенит
Cu	Содержание Cu – 40...59 %, размер – 10 мкм, элементы спутники: Zn (25...35 %)	Интерметаллид
	Содержание Cu – 35...58 %, размер – 10 мкм, элементы спутники: S (13...22 %), иногда Fe (6...10 %), Sn (11 %), Co (2 %), Sb (4%), As (11 %), Zn (6 %)	Борнит/ халькозин
	Содержание Cu – 72 %, размер – 10 мкм, элементы спутники: Ni (2 %)	Интерметаллид
	Содержание Cu – 19 %, размер – 3...10 мкм, элементы спутники: S (36 %), Fe (19 %)	Халькопирит
Au	Содержание Au – 65...76 %, размер – 3...10 мкм, элементы спутники: Ag (5...7 %), иногда Cu (1...2 %), Fe (1...2 %)	Интерметаллид
Ag	Содержание Ag – 60...77 %, размер – 3...10 мкм	Самородное Ag

Эл-нт	Состав минеральной фазы и ее характеристика	Предполагаемый минерал
РЗЭ	Содержание Ce – 20...30 %, La -10...20 %, размер – 7...10 мкм, элементы спутники: P (10...12 %), иногда Th (2 %)	Монацит
Sn	Содержание Sn – 30 % размер – 10 мкм, элементы спутники: Cu (27 %), Ni (15 %), Fe (3 %)	Интерметаллид
	Содержание Ce – 20...30 %, La -10...20 %, размер – 7...10 мкм, элементы спутники: P (10...12 %), иногда Th (2 %)	
V	Содержание V – 12...24 % размер – 10 мкм, элементы спутники: Ti (3...11 %), Fe (1...43 %)	Интерметаллид

Нами отмечено большое количество минеральных фаз связанных с серой, по всей вероятности, представляя собой сульфиды (Zn, Fe, Pb, Cu) и сульфаты (Ba).

В породе достаточно часто встречаются металлы в самородном состоянии Sn, Ag, а также комплексные интерметаллические соединения, такие как Fe-Cr, Cu-Zn, Cu-Ni, Au-Ag, V-Ti-Fe и др.

Такие формы нахождения могут свидетельствовать о резко восстановительной обстановке формирования углеродистых пород, обусловленной сероводородным заражением, что предполагается многими исследователями.

Кроме того установлены минеральные фазы, по составу соответствующие коффину, браннериту, монациту. На данном этапе исследования образцов баженовской толщи не удалось обнаружить минеральных фаз Мо, хотя их повышенные содержания в отложениях баженовской свиты отмечаются многими исследователями. В изучаемых нами образцах, средняя концентрация Мо составляет 0,02%.

Глава 4. Особенности распределения урана в отложениях баженовской свиты

Анализ результатов осколочной радиографии показал, что уран в отложениях баженовской свиты имеет неравномерное распределение. Можно выделить 3 характера распределения треков деления урана, что соответствует разным формам нахождения урана. Равномерное распределение треков (рис. 6) говорит об отсутствии собственных минералов урана. Равномерное рассеянное распределение треков деления урана с их высокой плотностью свидетельствует о молекулярной сорбированной форме нахождения урана.

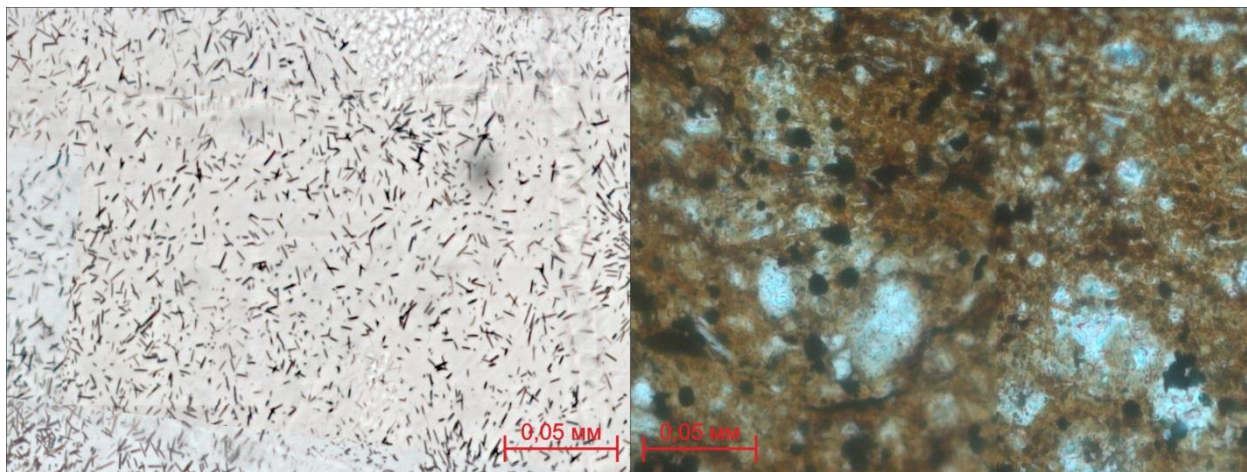


Рисунок 6 – Равномерное распределение треков. Слева снимок слюды-детектора с треками деления урана, справа снимок участка породы, для которого сделана осколочная радиография. Николи параллельны.

Другой тип распределения треков – места скопления, так называемые «звезды», что уже соответствует более высокой концентрации урана. На рис. 7 показан пример такого типа распределения, в данном случае эта «звезда» соответствует обломку плагиоклаза в породе. При электронно-микроскопическом исследовании в этом обломке была обнаружена микроскопическая (около 1 мкм) минеральная фаза урана, являющаяся браннеритом? судя по повышенной концентрации титана в этой фазе. Подобные минералогические находки не единичны хотя и не часты. Очевидно, что такое накопление урана связано с переносом речным водотоком обломочного материала выветрелых пород суши, содержащего минералы урана устойчивые к разрушению в поверхностных условиях.

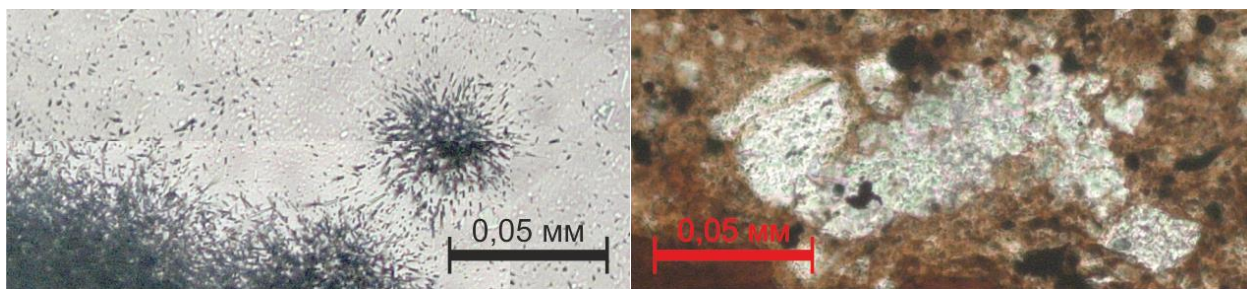


Рисунок 7 – Места скопления треков деления урана.

Слева снимок слюды-детектора с треками деления урана, справа снимок участка породы, для которого сделана осколочная радиография. Николи параллельны.

Превалирующим характером распределения треков деления урана являются их высокая плотность, наблюдаемая на областях до нескольких мм, соответствующая высокой концентрации урана – 0,0п...0,п %, что предполагает наличие собственных минералов урана.

Данный тип распределения треков приурочен к остаткам отмерших организмов (рис. 8), по устному замечанию Савиной Н.А. (доцент каф. палеонтологии и исторической геологии, ГГФ ТГУ), являющиеся онихитами белемнитов (головоногие моллюски).

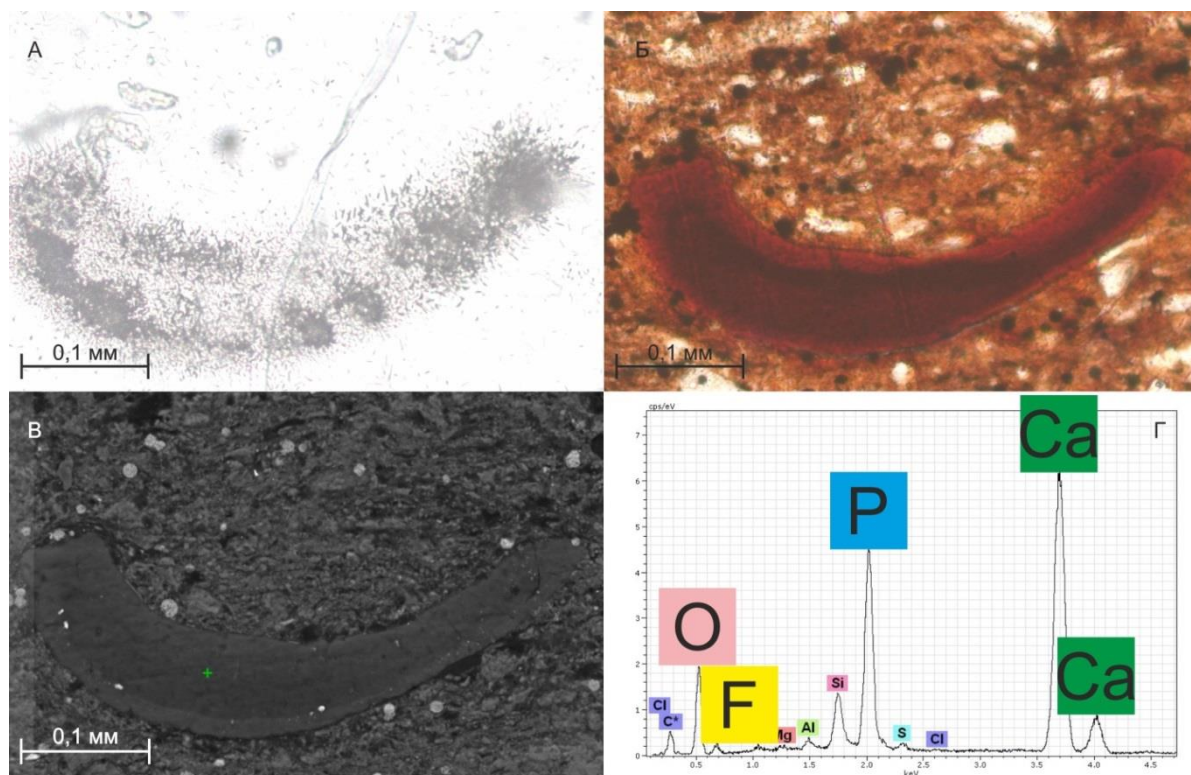


Рисунок 8 – Высокая плотность треков деления урана соответствующая остаткам отмерших организмов.

А – снимок слюды-детектора с треками деления урана, Б – снимок участка породы, для которого сделана осколочная радиография (николи параллельны) В – электронно-микроскопический снимок, на котором показана точка исследования Г – энерго-дисперсионный спектр в указанной точке

Согласно электронно-микроскопическим исследованиям остатки отмерших организмов по химическому составу являются фторсодержащими фосфатами кальция. Распределение основных элементов и основной зоны развития урановой минерализации в таком образовании показано на рисунке 9. Скорее всего, эти образования являются скелетной частью отмерших организмов. Для этих образований характерной особенностью является, то, что ядерная и внешняя часть различается по концентрациям основных химических элементов. В ядерной части отмерших организмов выше концентрации фосфора и кальция, а во внешней выше содержание углерода, тогда как во внутренней части углерод может и вовсе отсутствовать.

Скорее всего, этот факт, объясняется особенностью внутреннего строения живого организма, который послужил исходным материалом для данного минерального образования. Другой особенностью является то, что наиболее крупные минеральные выделения урана приурочены как раз к разделу этих фаз (внешняя и внутренняя). В ядерной части минералы урана, как правило отсутствуют, а во внешних частях минеральные фазы урана обнаруживаются, однако они заметно меньше и имеют меньшую степень кристаллизации.

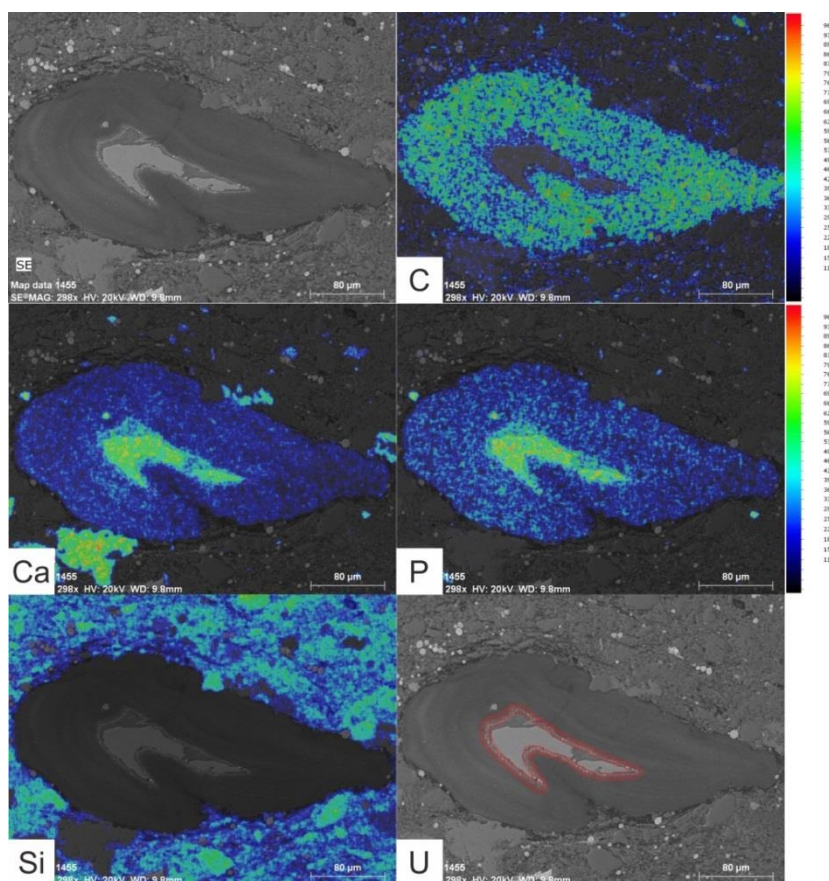


Рисунок 9 – Характер распределения основных элементов в фосфатном образовании с тонкими микровкраплениями минерала урана.

Минеральные фазы урана обнаруживаются в виде гроздевидных скоплений и отдельных почковидных выделений в фосфатно-кальцевой скрытокристаллической массе (рис. 10).

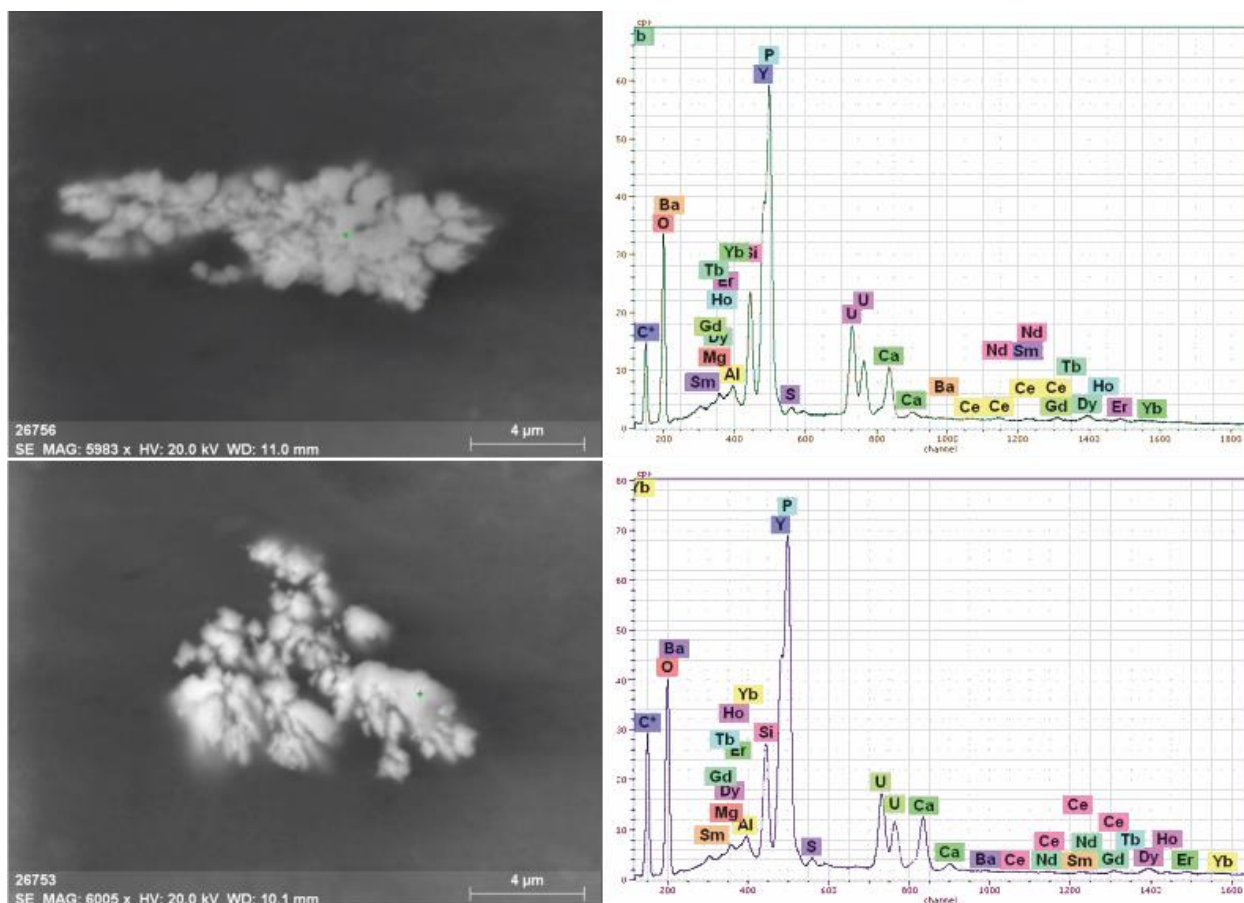


Рисунок 10 – Формы нахождения минералов урана

Слева – электронно-микроскопический снимок, на котором показана точка исследования, справа – энерго-дисперсионный спектр в указанной точке

U пространственно связан с Si. На данном этапе такие образования диагностируются как силиката урана (коффинит?). Эти микроминеральные фазы находятся в тесной ассоциации с микроминеральными фазами P-Y (ксенотим?), которые содержат РЗЭ (рис. 11).

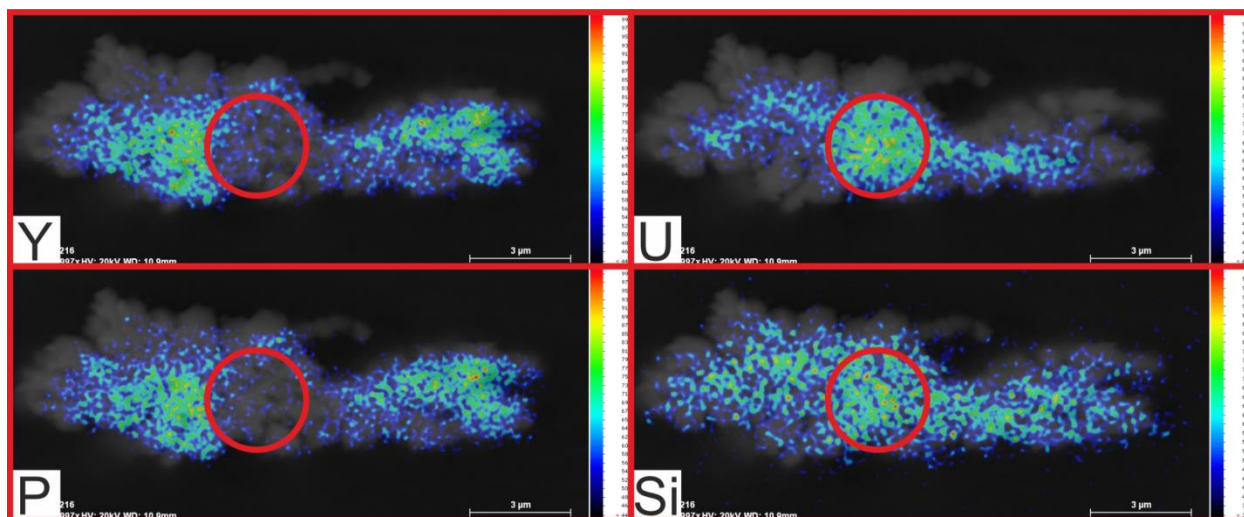


Рисунок 11 – Распределение основных химических элементов в уран содержащем минеральном агрегате

Это отражает обособившуюся геохимическую ассоциацию урана с фосфором и редкоземельными элементами.

Косвенно о наличии различных факторов влияющих на накопление урана, а следовательно и разных формах нахождения может свидетельствовать гистограмма распределения этого элемента (рис. 12). Анализ диаграммы показывает, что уран имеет бимодальное распределение с содержаниями 5-30 г/т и более 30 г/т. Содержания в 5-30 г/т скорее всего соответствует накоплению урана по схеме сорбционной модели, а класс содержаний более 30 г/т соответствует накоплению урана в осадочных фосфатах, в последствии в результате эпигенеза преобразовавшегося в собственные минеральные формы типа коффинита.

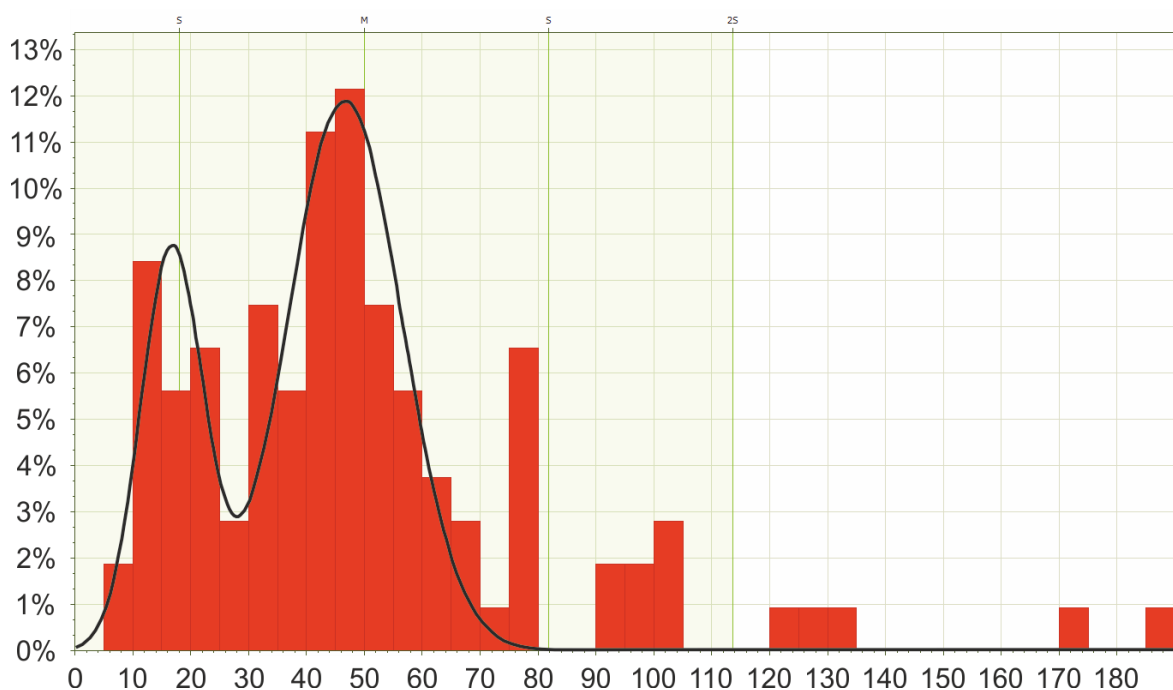


Рисунок 12 – Гистограмма частот содержаний урана

Глава 5. Возможные источники металлов

В бассейны седиментации уран может поступать из нескольких источников: с речным и подземным стоком, в составе атмосферных осадков, с эоловым материалом, при абразии береговых массивов пород и из вулканических источников, расположенных в пределах морского бассейна [Калмыков, 2009].

Рассматривая предполагаемые источники поступления урана, можно выделить два основных.

Наиболее распространенной является точка зрения, в соответствии с которой основная масса растворенного урана поступает за счет размыва и выветривания горных пород суши совместно с речным стоком.

Другая точка зрения предполагает эндогенный гидротермальный источник урана. Проявление глубинных источников поступления урана в ряде морей и океанов известно и в настоящее время. Предполагается, что в эпохи повышенной активности рифтогенеза проявление гидротермальной деятельности обуславливать поступление значительных масс ряда растворенных металлов, в том числе и урана, тяготение повышенных концентраций которого к рифтам фиксируется и в настоящее время.

Поступление урана в бассейн седиментации с атмосферными осадками, с эоловым материалом и продуктами волновой абразии берегов в общем балансе является, скорее всего, незначительным.

В монографии [Гринев, 2007] со ссылкой на работы Ю.А. Богданова (1997) и Е.Г. Гурвича (1998), в которых, как отмечает автор, обобщен многолетний опыт исследований российскими и зарубежными учеными металлоносных осадков океанов и спрединговых морей, приводится минерагенический профиль современных металлоносных осадков океанов, который определяется масштабным накоплением следующих химических элементов: Fe, Si, Al, Mn, Ti (от десятых долей – первых % до 10-17%); Ba, Sr, P (от 1 до 10 кг/т); Cu, Pb, Zn, Ni, Co, V, Zr, B (от первых сотен до 1000 кг/т); Tl, As, Sb, Mo, Sc, РЗЭ (от 10 до 100-150 г/т); Cd, Sn, Hf, U, Th, Ag (от 1 до 10 г/т); Hg, Au, Pd, Ir, Os (от 460 до 0,3 мг/т). Представленный минералогический профиль достаточно хорошо соответствует геохимической специализации отложений баженовской свиты, что может косвенно служить сведением об источнике специфического набора химических элементов, имеющих повышенные содержания.

Однако в работе [Батулин, 2008] говорится, что океанские гидротермы обеднены ураном примерно втрое по сравнению с морской водой, которая при контакте с гидротермами не только не обогащается, а напротив, обедняется этим элементом.

Критериями распознавания гидротермально-осадочных образований могут служить значения титанового $(Fe+Mn)/Ti$ и алюминиевого $Al/(Al+Fe+Mn)$ геохимического модуля. Для металлоносных осадков значения указанных модулей составляют, соответственно, более 25 и менее 0,4. В породах баженовской свит значения титанового модуля составляют 6-18, а алюминиевого – 0,4-0,7. Только карбонатные разновидности имеют титановый модуль более 25, а алюминиевый менее 0,4 за счет низкого содержания Ti и Al, и повышенного содержания Mn.

Также критерием гидротермально-осадочного происхождения могут служить данные о содержаниях и соотношениях в осадках РЗЭ. Состав РЗЭ в гидротермальных флюидах кардинально отличен от такового в морских и океанических водах. Гидротермальные флюиды характеризуются отсутствием цериевой аномалии, относительное обогащение легкими лантаноидами и выраженной положительной европиевой аномалией [Дубинин, 2006]. Те же особенности состава РЗЭ наследуются металлоносными осадками, формирующимися при осаждении материала гидротерм [Гурвич, 1998]. Анализ распределения РЗЭ в отложениях баженовской свиты показал отсутствии положительной европиевой аномалии, а также незначительным преобладанием тяжелых РЗЭ. Такое распределение РЗЭ скорее соответствует распределению в морских и океанических водах (рис. 13).

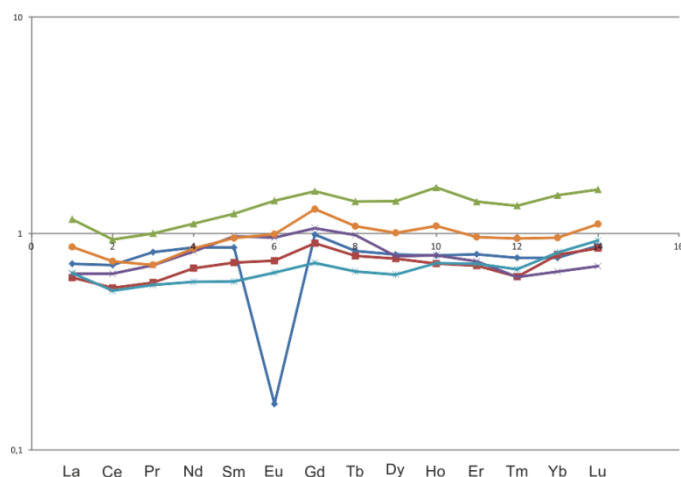


Рисунок 13 – Распределение РЗЭ в породах баженовской свиты, нормализованные на сланец NASC

Еще одним индикатором присутствия в осадках гидротермального материала является более высокая (около 50), чем в обычных терригенных отложениях (33-35), величина отношения Zr/Hf . В отложениях баженовской свиты этот показатель составляет 33-40.

Таким образом, скорее всего источником металлов, присутствующим в избыточных концентрациях, в том числе и урана, является речной сток, транспортирующий эти металлы в растворенном виде. А специфический набор этих элементов, вероятно, обусловлен способностью органического вещества сапропелевого ряда концентрировать именно эти металлы.

Заключение

1. Оценены содержания 65 химических элементов, в том числе и Сорг в отложениях баженовской свиты. Показано, что глинисто-кварцевые породы обладают повышенными концентрациями ряда элементов: Сорг, V, Ni, Cu, Zn, As, Mo, Cd, Sb, Ba, Re, U. Установлены четыре ассоциации химических элементов «кластофильная» (Li, Na, Al, Si, K, Sc, Ti, Cr, Mn, Ga, Ge, Rb, Zr, Nb, Sn, Cs, Hf, Ta, W, Au, Pb, Bi, Th); «карбонатофильная» (Mg, Ca, Sr, Ba); «фосфатофильная» (P, Y, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Re, U); «органотфильная» (Сорг, V, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Mo, Cd, Sb, Tl). Химические элементы обособившихся геохимических ассоциации имеют взаимосвязь с такими породообразующими компонентами как терригенная минеральная составляющая, карбонатные минералы, P и Сорг соответственно, что обусловлено различными механизмами их накопления.

2. Большинство элементов «фосфатофильной» и «органотфильной» геохимических ассоциаций, имеющие аномально высокие концентрации в породах, имеют свои собственные

минеральные формы нахождения аутигенного характера, уверенно диагностируемые при электронно-микроскопических исследованиях. Для V, Ni, Ag, Sn, Au характерны интерметаллические соединения. Fe и Cu находятся как в форме сульфидов (пирит, халькопирит), так и в виде интерметаллических соединений. Основной минеральной формой Zn и Pb являются сульфиды (сфалерит, галенит). В качестве примесей в сульфидах меди присутствуют Fe, Co, Zn, As, Sn, Sb; в сульфидах цинка – Cd. Минеральной формой нахождения Ba является его сульфат (барит). Y и редкоземельные элементы, U концентрируются в фосфатном образовании, в котором они могут образовывать самостоятельные кластеры.

3. Выявлены особенности распределения U в отложениях свиты. U характеризуется большим разнообразием форм его нахождения. 1) Аллотигенные собственные минеральные фазы, приуроченные к терригенным обломкам. Именно этот U формирует общий региональный радиогеохимический фон терригенных пород Западно-Сибирской плиты (U – 3 г/т, Th – 7 г/т, Th/U – 2,5). 2) U, обусловленный преимущественно его сорбцией на органическом веществе и в меньшей степени на минералах с повышенной сорбционной емкостью (глинистые минералы и др.), в процессе накопления и диагенеза осадочных пород. Этот уран обусловил общую радиогеохимическую специализацию баженовской толщи на уровне первых десятков граммов (5-30) U на тонну. 3) Аутигенные собственные минеральные фазы урана, по химическому составу соответствующие урановому силикату (коффинит), тесно ассоциирующей с иттрий-редкоземельным фосфатом приуроченные к остаткам эпигенетически преобразованных отмерших единичных организмов или их скоплений. Такая форма нахождения является преобладающей в породах с содержанием урана 30 и более г/т.

4. Рассматривая возможные источники металлов, обнаруживающихся в повышенных концентрациях, можно предположить, что наиболее вероятным источником мог служить речной сток, транспортирующий эти металлы в растворенном виде.

Список опубликованных работ по теме исследования

1. Рихванов Л.П., Усольцев Д.Г., Ильенок С.С., Ежова А.В. Минералого-геохимические особенности баженовской свиты Западной Сибири по данным ядерно-физических и электронно-микроскопических методов исследований // Известия Томского политехнического университета. 2015. Т. 326. № 1. С. 50–63.

2. Рудмин М.А., Мазуров А.К., Рубан А.С., Усольцев Д.Г. Условия формирования пирротина и грейгита в породах Бакcharского месторождения, Западная Сибирь // Известия Томского политехнического университета. 2017. Т. 328. № 4. С. 94–107.

3. Усольцев Д.Г. Особенности распределения радиоактивности отложений баженовской свиты в пределах Томской области // Проблемы геологии и освоения недр: Труды XIX Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – Т. 1. – с. 141-143.

4. Усольцев Д.Г. Формы нахождения элементов-примесей в черносланцевых породах баженовской свиты Западной Сибири // Проблемы геологии и освоения недр: труды XX Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 120-летию со дня основания Томского политехнического университета. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2016. – Т. 1. – с. 197-199.

5. Усольцев Д.Г., Рихванов Л.П. Ураноносность баженовской свиты Западной Сибири // Новое в познании процессов рудообразования: материалы Четвертой Российской молодежной научно-практической Школы с международным участием. – Москва: ИГЕМ РАН, 2014. – с. 292-294.

6. Усольцев Д.Г., Рихванов Л.П. Геохимические ассоциации в породах баженовской свиты // Новое в познании процессов рудообразования: материалы Пятой Российской молодежной научно-практической Школы с международным участием. – Москва: ИГЕМ РАН, 2015. – с. 246-249.

7. Усольцев Д.Г., Рихванов Л.П. Ураноносность баженовской свиты (Западная Сибирь) // Новое в познании процессов рудообразования: материалы Шестой Российской молодежной научно-практической Школы с международным участием. – Москва: ИГЕМ РАН, 2016. – с. 343-346.

8. Усольцев Д.Г. Рихванов Л.П., Геохимия и минералогия микроэлементов в черных сланцах баженовской свиты Западной Сибири // Современные исследования в геологии: сборник тезисов всероссийской научно-практической молодежной конференции. – Санкт-Петербург, 2016. – с. 164-165.