

На правах рукописи



Федорова Александра Витальевна

**ГЕОЛОГИЯ И РУДОНОСНОСТЬ СРЕДНЕ-ТАТАРСКОГО
МАССИВА (ЕНИСЕЙСКИЙ КРЯЖ)**

Специальность **25.00.11** – «Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения» (по геолого-минералогическим наукам)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Красноярск – 2011

Работа выполнена в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Сибирский федеральный университет»

Научный руководитель:

доктор геолого-
минералогических наук

Сазонов Анатолий Максимович

Официальные оппоненты:

доктор геолого-
минералогических наук

Шибистов Борис Всеволодович

кандидат геолого-
минералогических наук

Берзон Евгений Иосифович

Ведущая организация: Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск

Защита состоится 08 апреля 2011 г. в 12 час. 00 мин. в ауд. 237 (учебный корпус), на заседании диссертационного совета Д 212.099.09 при Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Сибирский федеральный университет» по адресу: 660025, г. Красноярск, пер. Вузовский, 3.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке
ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет»

Автореферат диссертации разослан « » марта 2011 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
канд. геол.-минерал. наук



М. В. Вульф

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Средне-Татарский массив, выступающий в качестве месторождения нефелиновых руд и входящий в Татарскую группу месторождений, является приоритетным объектом геологического изучения для развития минерально-сырьевой базы Нижнего Приангарья (С. С. Сердюк, 2010). Связанные с массивом рудопроявления ниобия с сопутствующей редкоземельной минерализацией повышают его значимость, наряду с Кийским месторождением редкометальных руд и Татарским месторождением ниобиевых руд, как объекта для обеспечения Красноярским краем потребностей страны в редких и редкоземельных металлах. Установленная потенциальная золотоплатиноносность комплексов щелочных пород Кузнецкого Алатау и Сибирской платформы (А. М. Сазонов, О. М. Гринев, 1993–2001) привлекает дополнительное внимание к щелочным комплексам.

Актуальны проблемы генезиса нефелиновых пород массива, их геохимическая неоднородность, петро-геохимические особенности и факторы, влияющие на их разнообразие. Выявление потенциальной благороднометальной минерализации расширяет геохимическую специализацию интрузии и позволяет рассматривать нефелиновые руды как комплексное технологическое сырье с перспективами попутного извлечения редких, редкоземельных и благородных металлов [99].

Цель работы. Исследование пород массива для уточнения последовательности их формирования, выяснения природы источников фойдитовых магм, петро-геохимических особенностей пород как комплексного глиноземного сырья и наличия связанной с ними благороднометальной минерализации.

Задачи исследований.

1. Rb-Sr и Sm-Nd изотопная оценка вероятного абсолютного возраста пород массива и уточнение последовательности формирования фойдолитов.
2. Изучение изотопно-геохимической специфики пород с целью определения возможного источника исходных мантийных магм.
3. Исследование минерального состава и петрохимических особенностей главных разновидностей пород и выявление факторов, обуславливающих их петрографическое разнообразие.
4. Изучение геохимических особенностей пород и минералогии благороднометального комплекса.
5. Оценка уровня концентрации, закономерностей накопления элементов благородных металлов во вторичных литохимических ореолах, выявление комплекса сопутствующих элементов для определения слабых аномалий.

Основная идея решаемых задач состоит в изучении геологического строения массива, выступающего в качестве месторождения нефелиновых руд, с использованием петролого-геохимических методов, решение вопро-

сов генезиса, обоснование полихронности месторождения, выявление потенциальной благороднометальной минерализации нефелиновых пород.

Фактический материал и методы исследования. В основу работы положен фактический материал, собранный при участии автора в период полевых работ 1997–2002 гг., и камеральные исследования автора по анализу, интерпретации и обобщению имеющихся данных. Для решения поставленных задач применен комплексный подход для наиболее полного учета геологической, геохимической и петрологической информации.

В период полевых работ проведены и задокументированы маршрутные исследования и около 30 км маршрутов литохимической съемки. В камеральный период подготовлены пробы для изотопно-геохимических и микронзондовых исследований. Изучено около 100 петрографических шлифов.

Распределение содержаний благородных, редкоземельно-редкометалльных и других сопутствующих элементов (всего 22 элемента) в породах массива изучалось инструментальным нейтронно-активационным методом в Томском политехническом университете (аналитик В. И. Резчиков). Выполнен рентгенофлуоресцентный анализ пород массива в Государственном университете цветных металлов и золота (аналитик С. М. Макеев). В Центральной химической лаборатории Ачинского глиноземного комбината выполнен силикатный анализ пород (аналитик Л. Л. Беспалова). Микронзондовое определение химического состава сульфидов, минералов благородных металлов и химического состава породообразующих минералов проведено в лаборатории микронзондового анализа СО РАН г. Новосибирска (аналитик В. А. Акимцев). Выполнен ICP-MS анализ 11 проб в ЦКП «Аналитический центр геохимии природных систем» Томского государственного университета (аналитики Ю. В. Аношкина и Е.И. Никитина). Изотопный анализ Nd и Sr в 10 образцах (17 пробах) щелочных пород проводился во ВСЕГЕИ, г. Санкт-Петербург, на многоколлекторном масс-спектрометре «TRITON-TI» (аналитик Р. Ш. Крымский).

Для выяснения распределения микроэлементов в рыхлых отложениях массива в лаборатории экспедиции «Сибзолоторазведка» был проведен полуколичественный эмиссионный спектральный анализ литохимических проб на 29 элементов, в Государственном университете цветных металлов и золота рентгенофлуоресцентный анализ на 6 элементов. Определение содержаний благородных металлов и мышьяка осуществлено с помощью сцинтилляционного эмиссионного спектрального анализа в лаборатории оптического спектрального анализа и стандартных образцов Института геохимии РАН г. Иркутска. Концентрации Au, Pt, Pd изучены дополнительно спектрохимическим анализом в лаборатории Западно-Сибирского испытательного центра г. Новокузнецка.

Всего было выполнено и обработано около 1000 анализов для пород массива и более 23500 анализов по литохимической съемке. Составлена

электронная база аналитических данных, проведена их статистическая обработка, интерпретация и сопоставление с данными других авторов по объекту исследования. Выполнен системный анализ геологической, минералого-петрографической, петрохимической, изотопной и геохимической информации по Средне-Татарскому массиву.

Защищаемые положения.

1. Формирование Средне-Татарского массива осуществлялось в результате двух основных, оторванных во времени, внедрений фойдовой магмы с более ранним образованием фойяитов, затем – ийолитов. Вариации изотопного состава фойяитов и ийолитов позволяют рассматривать их формирование из близкого по составу источника.

2. Вещественная неоднородность пород массива, относящихся к калий-натриевой щелочной серии, обусловлена вариативностью кристаллизационной дифференциации в последовательно проявленных инъекциях фойдитового расплава.

3. Породы массива, являющиеся глиноземным сырьем, наряду с редкоземельно-редкометальной, являются носителями благороднометальной минерализации. Наиболее благоприятны для накопления элементов благородных металлов зоны контактов интрузии, участки массива с альбитизированными породами и с образованиями коры выветривания мезозоя-кайнозоя.

Научная новизна работы. Полученные изотопные данные по стронцию и неодиму для пород интрузии позволили пересмотреть последовательность их становления и уточнить длительность формирования массива. Проведена оценка природы источников фойдовых магм.

На основании проведенного исследования представлена петрохимическая специализация пород массива, выполнена идентификация петрохимических факторов, определяющих их петрографическое разнообразие. Показана вариативность кристаллизационной дифференциации в оторванных во времени инъекциях исходной магмы, обусловившая разнообразие состава пород интрузии.

Получены современные аналитические данные о геохимических особенностях пород массива, расширена его геохимическая специализация. Впервые в породах интрузии выделены и проанализированы минералы Au и Pt, в пределах массива установлены вторичные литохимические ореолы Au, Pt, Pd.

Практическая значимость. Проведена оценка природы магматического источника. Выявлены вероятные возрастные рубежи и последовательность формирования основных разновидностей пород слагающих массив, расширены знания о его петролого-геохимических особенностях. Результаты петрохимических исследований могут быть полезны при выборе технологии переработки нефелиновых руд Средне-Татарского месторождения.

Обнаружена благороднометальная минерализация в породах и вторичных литохимических ореолах Средне-Татарского массива. Установлен

комплекс сопутствующих элементов для выявления слабоконтрастных благороднометалльных аномалий во вторичных литохимических ореолах интрузии. Полученные данные могут быть полезны при последующих геологоразведочных работах на Средне-Татарском месторождении нефелиновых руд. Выявленные элементы-спутники благородных металлов во вторичных ореолах рассеяния могут использоваться при дальнейшем изучении интрузий среднетатарского комплекса или схожих с ним по условиям формирования для обнаружения благороднометалльной минерализации.

Публикации и апробация работы. По теме диссертации опубликовано 13 работ, две из которых в журналах, входящих в список ВАК РФ. Основные положения диссертации были представлены на всероссийской научно-технической конференции «Перспективные материалы: получение и технологии обработки» (Красноярск, 1998), всероссийской научно-практической конференции «Достижения науки и техники развитию сибирских регионов» (Красноярск, 1999), на IV международном симпозиуме «Золото Сибири: геохимия, технология, экономика» (Красноярск, 2006) и на втором международном конгрессе «Цветные металлы – 2010» (Красноярск, 2010).

Частично результаты работ по изучению геохимических особенностей пород и вторичных ореолов рассеяния интрузии изложены в отчете о научно-исследовательской работе по договору «Изучение золотоплатиноносности интрузий щелочных пород юга Красноярского края», выполненном в рамках проекта «Оценка перспектив рудоносности ультрабазит-базитовых комплексов юга Красноярского края» и вошедшем в отчет КНИИГиМС за 2004 год.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения и списка литературы, включающего 165 наименований. Общий объем 200 страниц, она содержит 55 рисунков, 19 таблиц и 1 приложение.

В первой главе рассмотрены вопросы, связанные с проблематикой щелочных магматических пород, обобщены сведения о ранее проведенных работах по изучению массива и дана постановка задач исследований.

Во второй главе дана геолого-структурная характеристика Средне-Татарского массива, стратификация вмещающих его толщ. Приведена возрастная интерпретация изохронных зависимостей и рассчитаны значения абсолютного возраста интрузии.

Третья глава содержит результаты петрографического и петрохимического изучения пород массива и их изотопно-геохимические исследования для уточнения вероятных магматических источников.

Четвертая глава посвящена характеристике геохимических особенностей и рудоносности Средне-Татарского массива, содержит характеристику комплекса элементов-спутников для выявления слабоконтрастных литохимических аномалий благородных металлов во вторичных ореолах рассеяния пород интрузии.

В заключении обобщены результаты исследований, перечислены основные выводы и предложены направления дальнейших исследований.

Благодарности. Автор выражает глубокую признательность и благодарность научному руководителю, доктору геолого-минералогических наук, профессору А. М. Сазонову. Автор искренне благодарен кандидату геолого-минералогических наук С. И. Леонтьеву за советы и помощь при выполнении работы. Автор выражает большую признательность за консультации и ценные рекомендации П. А. Тишину и И. Ф. Гертнеру. Автор благодарит за консультации и помощь Е. И. Половинкину. Автор выражает благодарность за поддержку и участие в организации полевых работ по сбору фактического материала для написания диссертации руководителю геохимической партии ОАО «Красноярскгеология» А. А. Ладынину. Автор особо признателен за участие в полевых работах В. И. Федорову, М. В. Вульф, Е. В. Малкову, С. Б. Краснову, К. С. Леонтьеву, Л. Ю. Никоновой, А. Дзявульскому, Л. Рублевой.

ОБОСНОВАНИЕ ЗАЩИЩАЕМЫХ ПОЛОЖЕНИЙ

1. Формирование Средне-Татарского массива осуществлялось в результате двух основных, оторванных во времени, внедрений фойдовой магмы с более ранним образованием фойяитов, затем – ийолитов. Вариации изотопного состава фойяитов и ийолитов позволяют рассматривать их формирование из близкого по составу источника.

Средне-Татарский щелочной массив входит в состав среднетатарского комплекса, расположенного в юго-западной части Енисейского кряжа. Положение массива определяется пересечением тектонической зоны северо-восточного простирания с серией разломов северо-западного направления, образовавшихся в позднем рифее (рис. 1). Массив имеет изометричную форму, несколько вытянутую в широтном направлении. Выходящая на поверхность площадь интрузии составляет около 12 км². Западная и восточная периферические части массива сложены лейкократовыми породами – фойяитами, в центральной части находятся меланократовые эгирин-нефелиновые породы – ийолиты. Фойяиты характеризуются большими вариациями количественно-минерального состава. Среди ийолитов широко развиты полевошпатовые разности. В подчиненном количестве присутствуют ювиты и малиньиты. На северо-востоке массива находится обособленный выход мусковитизированных сиенитов. В пределах массива и в его экзоконтактах широко развиты жилы щелочных пегматитов. Известково-сланцевая толща вмещающих интрузию пород верхнего рифея интенсивно дислоцирована. В приконтактной зоне небольшой мощности (до 300 м) вмещающие породы фенитизированы.

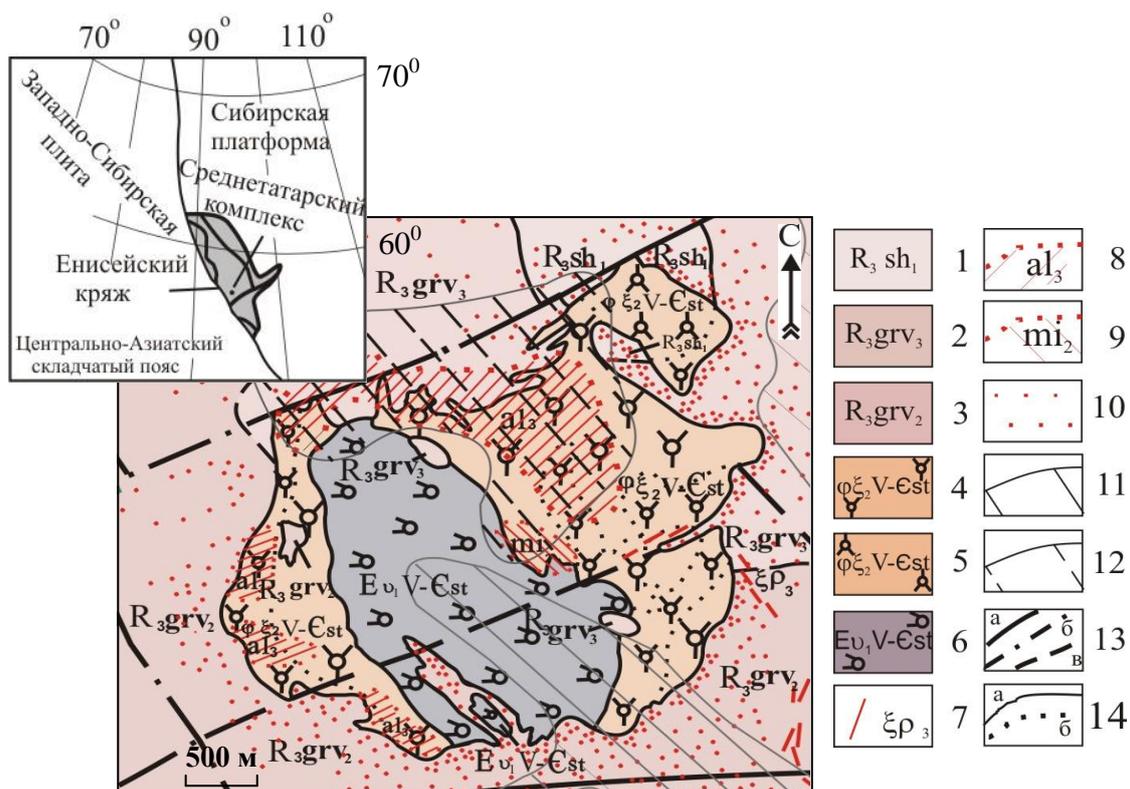


Рисунок 1 – Схема геологического строения Средне-Татарского массива (по материалам Ангарской ГРЭ)

1–3 – терригенно-карбонатные отложения позднего рифея: 1 – свиты Сухого хребта, 2–3 – горевской свиты; 4–7 – среднетатарский комплекс: 4 – фойяиты, 5 – мусковитовые сиениты, 6 – ийолиты, 7 – дайки фойяит-пегматитов; 8 – альбитовые метасоматиты; 9 – микроклинезированные метасоматиты; 10 – контактовый метаморфизм амфиболово-роговиковой субфации; 11–12 – коры выветривания: 11 – площадного типа, 12 – комбинированного типа; 13 – разрывные нарушения (а – главные, б – второстепенные, в – скрытые под вышележащими образованиями); 14 – границы (а – геологические, б – фациальные). На врезке показано географическое положение среднетатарского комплекса.

Имеющиеся данные о вероятном возрасте пород массива дискуссионны. На основании аналитических данных по изотопному составу стронция и неодима в породах и минералах (табл. 1) была установлена последовательность внедрения основных разновидностей пород слагающих массив и возможные мантийные источники магм.

Вариации содержаний самария и неодима отчетливо выявляют разделение ряда «фойяиты – ийолиты – фойяит-пегматит» и обнаруживают практически идеальную прямую корреляционную зависимость. Вариации рубидия и стронция для этих пород также отображают общую, но в этом случае обратную тенденцию корреляционной зависимости, прослеживая отдельные тренды пород, в подтверждение их различного становления.

Предлагаемая возрастная интерпретация изохронных зависимостей выглядит следующим образом. Расположение аналитических точек на Rb-Sr-изохроне, определяемое валовым составом фойяитов и минералами (эгрин, флюорит, альбит), аппроксимируется линией регрессии с наклоном соответствующим возрасту $678 \pm 7,9$ млн. лет ($I_{Sr} = 0.702715$, СКВО = 1,48).

Таблица 1 – Изотопный состав стронция и неодима в породах и минералах Средне-Татарского массива

Образец	Порода	Анализируемый материал	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_T$	$\varepsilon\text{Sr}(T)$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	$(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_T$	$\varepsilon\text{Nd}(T)$	$T(\text{Nd})_{\text{DM}}$, млн. лет
3-35	Фойяит	Валовый состав	0,712392±16	0,702837	-12,41	0,512460±3	0,512017	4,98	922
		Альбит	0,724387±8	0,702602	-15,75	0,512410±10	0,512030	5,24	–
		Эгирин	0,703288±5	0,702697	-14,40	0,512437±17	0,512028	5,20	–
		Флюорит	0,702715±17	0,702687	-14,54	0,512529±6	0,512030	5,24	–
8-23		Валовый состав	0,734498±13	0,702459	-17,78	0,512413±3	0,512024	5,12	890
5-26/1		Валовый состав	0,707568±10	0,702672	-14,75	0,512395±6	0,512000	4,65	922
4-3	Сиенит-пегматит	Валовый состав	0,705995±20	0,702757	-13,54	0,512586±14	0,512029	5,22	973
5-26	Ийолит	Валовый состав	0,706531±12	0,702453	-18,86	0,512529±7	0,512085	4,61	922
		Эгирин	0,703908±31	0,702642	-16,17	0,512511±3	–	–	–
		Биотит	0,779708±7	0,702628	-16,37	0,512369±4	–	–	–
4-6		Валовый состав	0,705140±7	0,702611	-16,61	0,512453±5	0,512054	4,01	980
6-31		Валовый состав	0,703988±13	0,702677	-15,67	0,512470±4	0,512066	4,24	864
8-22	Фойяит-пегматит	Валовый состав	0,704517±6	0,702878	-12,82	0,512496±2	0,512023	3,40	1043
0-3	Мусковитовый сиенит	Валовый состав	0,786894±8	0,706860	44,09	0,512460±3	0,512009	3,50	1007
		Мусковит	3,134361±11	–	–	0,512410±10	–	–	–
0-3/1		Валовый состав	0,781558±13	0,705988	31,70	0,512437±17	0,511957	2,48	1168
		Мусковит	5,527493±60	–	–	0,512529±6	–	–	–

Близкие датировки получены для тех же образцов в Sm-Nd-изотопной системы ($T = 678 \pm 72$ млн. лет, СКВО = 1,5, $\varepsilon\text{Nd} = +5,2$). Наиболее сбалансированная Rb-Sr-изохрона получена при добавлении к валовому составу фойяитов и их минералам щелочного сиенит-пегматита – жильной фации фойяитов. Она соответствует значению возраста $675 \pm 5,8$ млн. лет ($I_{\text{Sr}} = 0.70273$, СКВО = 0,94). Полученные позже результаты U-Pb-геохронологического исследования сфена и циркона из пробы фойяита массива установили возрастной интервал 711–700 млн. лет (В. А. Верниковский и др., 2008). Изохрона в Rb-Sr системе, построенная по точкам биотита, эгирина и комбинации валового состава ийолитов, определяет их вероятный возраст 610 ± 7 млн. лет ($I_{\text{Sr}} = 0.702656$, СКВО = 0,74). Изохронная зависимость, рассчитанная по валовому составу и мусковиту двух образцов мусковитовых сиенитов, фиксирует их возраст $630 \pm 4,5$ млн. лет ($I_{\text{Sr}} = 0,70640$, СКВО = 1,69). Полученные данные подтверждают, что Средне-Татарский массив представляет собой полихронный плутон позднедокембрийского возраста ($T \sim 680 - 610$ млн. лет), но показывают иную, отличную от принятой ранее, последовательность его

формирования. Фойяиты – наиболее ранние интрузивные образования, формирование ийолитов происходило существенно позднее. Исходя из сильно радиогенного изотопного состава стронция и относительно древнего Sm-Nd-модельного возраста мусковитовых сиенитов (табл. 1) можно предположить, что они представляют собой продукты гидротермально-метасоматической мусковитизации фойяитов и не являются самостоятельной интрузивной фазой.

Изучение распределения элементов в основных разновидностях пород интрузии, проведенное по результатам ICP-MS анализа их валовых составов, показало, что в ийолитах уровень накопления большинства HFS- и LIL-элементов в несколько раз выше, чем в фойяитах. Относительно хондрита в породах изучаемой интрузии фиксируется обогащение как легкими (от 50 до 1000), так и тяжелыми РЗЭ (~ 100), что указывает на достаточно обогащенный источник первичных мантийных магм. Более высокий уровень накопления РЗЭ в жильных породах массива подтверждает их позднюю природу в качестве конечных внутрикамерных дифференциатов. Подобная ситуация наблюдается и на мультиэлементной диаграмме эталона плюмового магматизма – OIB (рис. 2), где фиксируется достаточно четкое разделение между фойяитами и ийолитами, отражающее возрастающую роль глубинного мантийного компонента.

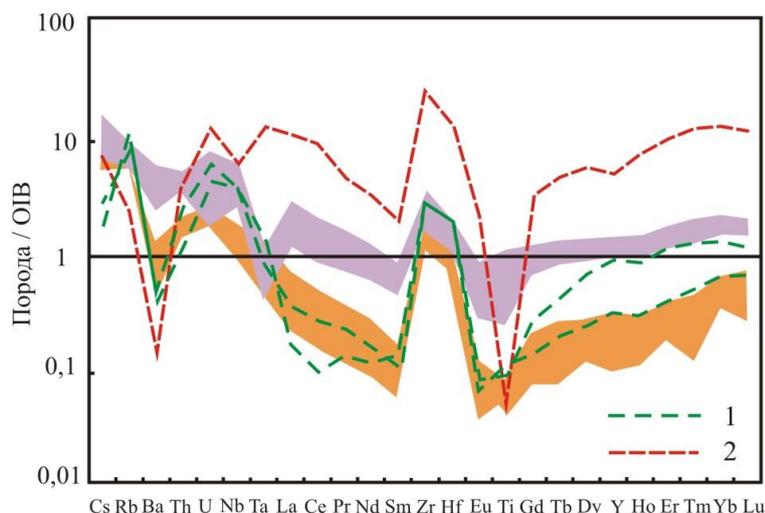


Рисунок 2 – Мультиэлементная диаграмма для пород Средне-Татарского массива. Спектры составов: 1 – мусковитовых сиенитов, 2 – фойяит-пегматита. Оранжевым цветом показано композиционное поле фойяитов, сиреневым – ийолитов. Содержание элементов нормировано по OIB (San, McDonough, 1989).

В породах массива, несмотря на существенную разницу в возрасте, наблюдается сходный изотопный состав (первичные отношения изотопов Sr и Nd в фойяитах составляют $\epsilon_{Nd}(T)$ 4,7 – 5,2, $\epsilon_{Sr}(T)$ –12,4...–17,8; в ийолитах – $\epsilon_{Nd}(T)$ 4,0 – 4,6, $\epsilon_{Sr}(T)$ –15,7...–18,9), характеризующий близкое родство источников фойидовых магм. При низких изотопных отношениях стронция, наиболее характерных для резервуара MORB, диапазон значений ϵ_{Nd} позволяет предположить участие в формировании пород массива источников относительно обогащенных редкоземельными элементами. Подобное влияние могло оказать вещество из мантийных резервуаров HIMU, PREMA, EM I (рис. 3).

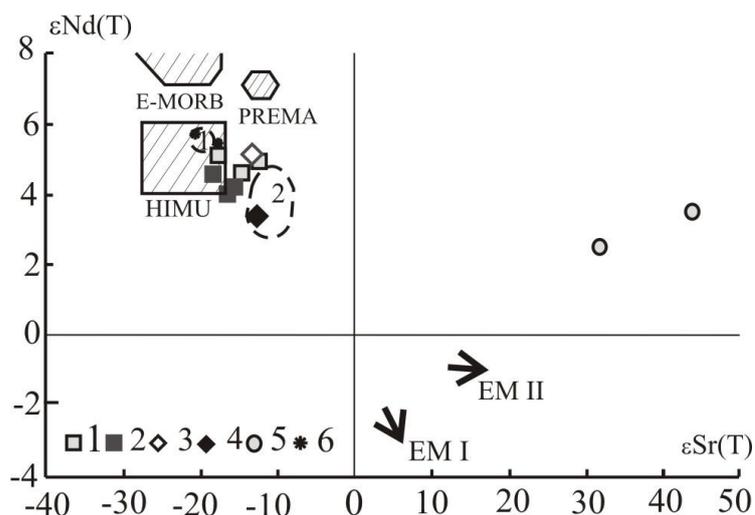


Рисунок 3 – Изотопный состав Nd и Sr в породах Средне-Татарского массива в сравнении с карбонатитами Енисейского кряжа и Восточного Саяна

1–5 Средне-Татарский массив: 1 – фойяиты, 2 – ийолиты, 3 – сиенит-пегматит, 4 – фойяит-пегматит, 5 – мусковитовые сиениты; 6 – карбонатиты среднетатарского комплекса (Т. Morikiyo et al., 2001). Пунктир оконтуривает композиционные поля: 1 – карбонатитов пенченгинского комплекса Енисейского кряжа (В. В. Врублевский, 2003), 2 – пород карбонатитсодержащих щелочно-ультраосновных массивов Восточного Саяна (зиминский комплекс) (Е. А. Чернышова, Т. Морикио, 1999; Т. Morikiyo et al., 2001). Резервуары E-MORB, PREMA, HIMU, EM I, EM II приведены в соответствии с их современными изотопными параметрами (А. Zindler, S. R. Hart, 1986).

Таким образом, полученные вероятные возрастные датировки пород Средне-Татарского массива показывают значительный временной интервал между формированием фойяитов и ийолитов. Анализ их изотопного состава указывает на сходство источников фойдовых магм. Сопоставляя Nd-Sr-изотопный состав пород массива и карбонатитсодержащих щелочно-ультраосновных пород и карбонатитов Енисейского кряжа и Восточного Саяна (рис. 3), относительно синхронное время их образования и модельный возраст последних ($T(\text{Nd})_{\text{DM}} \sim 0,83\text{--}0,96$ млрд. лет) (Е. А. Чернышова, Т. Морикио, 1999; Т. Morikiyo et al., 2001) можно предположить, что формирование среднетатарского комплекса могло происходить в схожем геодинамическом режиме с магматическими комплексами этих регионов.

2. Вещественная неоднородность пород массива, относящихся к калий-натриевой щелочной серии, обусловлена вариативностью кристаллизационной дифференциации в последовательно проявленных инъекциях фойдитового расплава.

Главными петрохимическими особенностями щелочных пород Средне-Татарского массива являются: пониженная кремнекислотность ($\text{SiO}_2 \approx 47\text{--}56$ мас. %), обогащенность глиноземом ($\text{Al}_2\text{O}_3 \approx 18\text{--}22$ мас. %) и щелочами ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O} \approx 11\text{--}14$ мас. %; $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} \approx 1,2\text{--}2,2$). Для фойяитов характерно большее содержание этих петрогенных элементов, ийолиты содержат большее количество оксидов железа, магния, кальция.

Типизация пород, участвующих в строении Средне-Татарского массива, выполнена на основе кластерного анализа главных петрогенных оксидов. Из всей совокупности проанализированных пород по соотношению кальция, кремнезема, глинозема и щелочей выделяются силикатная ($\text{CaO} = 0\text{--}9\%$; $\text{SiO}_2 = 45\text{--}62\%$; $\text{Al}_2\text{O}_3 = 17\text{--}34\%$; $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 4\text{--}17\%$) и карбонатная ($\text{CaO} = 39\text{--}75\%$; $\text{SiO}_2 = 11\text{--}37\%$; $\text{Al}_2\text{O}_3 = 2\text{--}8\%$; $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 0\text{--}3\%$) ассоциации. Наиболее петрохимически контрастная карбонатная ассоциация объединяет скарнированные породы вмещающей горевской свиты. Силикатная ассоциация включает плагиоидолиты, фойзиты и продукты их выветривания, и представлена натровой ($\text{Na}_2\text{O} = 3\text{--}12\%$; $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} = 0,2\text{--}2$) и калиевой ($\text{Na}_2\text{O} = 0,3\text{--}1,3\%$; $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} = 3\text{--}28$) породными группами, отличающимися по уровню концентрации натрия и их щелочной специализации. Калиевая группа объединяет породы, подвергшиеся наиболее интенсивному выветриванию. Натровая группа, включающая практически все петрографические разновидности, подразделяется внутри по содержанию кремнезема, мафических компонентов, щелочей и глинозема на 4 подгруппы: мафическая ультращелочная ($\text{SiO}_2 = 49\text{--}53\%$; $\text{Al}_2\text{O}_3 = 19\text{--}23\%$; $\text{FeO} = 6\text{--}9\%$; $\text{MgO} = 0,2\text{--}2\%$; $\text{CaO} = 4\text{--}6\%$; $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 12\text{--}13\%$; $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} = 0,4\text{--}0,6$), мафическая щелочная ($\text{SiO}_2 = 45\text{--}49\%$; $\text{Al}_2\text{O}_3 = 17\text{--}19\%$; $\text{FeO} = 9\text{--}11\%$; $\text{MgO} = 1\text{--}4\%$; $\text{CaO} = 7\text{--}9\%$; $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 10\text{--}12\%$; $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} = 0,5\text{--}0,6$), субсалическая ультращелочная ($\text{SiO}_2 = 54\text{--}62\%$; $\text{Al}_2\text{O}_3 = 18\text{--}26\%$; $\text{FeO} = 2\text{--}9\%$; $\text{MgO} = 0\text{--}2\%$; $\text{CaO} = 0,2\text{--}7\%$; $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 10\text{--}17\%$; $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} = 0,2\text{--}1,5$) и субсалическая высокоглиноземистая ($\text{SiO}_2 = 56\text{--}61\%$; $\text{Al}_2\text{O}_3 = 26\text{--}28\%$; $\text{FeO} = 3\text{--}7\%$; $\text{MgO} = 0\text{--}1\%$; $\text{CaO} = 0,5\text{--}0,75\%$; $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 8\text{--}11\%$; $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} = 0,3\text{--}2,3$).

Идентификация ведущих факторов фракционирования, определяющих разнообразие пород массива, выполнена в силикатной ассоциации с помощью статистического анализа методом главных компонент. Установлено, что вариации петрохимических параметров пород в пределах выборки определяются тремя главными компонентами с суммарным вкладом 83 %:

$$F_{1(49\%)} = \frac{\text{Si}_{36}(\text{Na} + \text{K})_{29}\text{Al}_{23}\text{Na}_{22}\text{K}_{22}}{\text{Fe}_{43}\text{Ti}_{40}\text{Ca}_{39}\text{Mg}_{38}}; \quad F_{2(23\%)} = \frac{(\text{K}/\text{Na})_{50}\text{Al}_{45}}{\text{Na}_{53}(\text{Na} + \text{K})_{43}\text{Ca}_{21}};$$

$$F_{3(11\%)} = \frac{\text{Si}_{44}}{\text{K}_{72}(\text{Na} + \text{K})_{35}(\text{K}/\text{Na})_{34}}.$$

Первую компоненту можно интерпретировать как следствие магматической дифференциации расплава в промежуточной камере, с ведущей ролью фракционирования феррических минералов (пироксенов, сфена), выступающих в качестве наиболее ранних кумулятивных фаз. Ее влияние выражается в петрографической вариативности продуктов кристаллизации ийолитового магматического расплава и его дифференциации *in situ* на мезократовые щелочные и лейкократовые ультращелочные разновидности.

Вторая компонента характеризует направленность экзогенных процессов, определяемую разложением темноцветов и фельдшпатоидов с образованием мусковита. Третья компонента фиксирует распределение в породах полевых шпатов и отражает их перитектическую кристаллизацию. Проявленный антагонизм кремния по отношению к калию при относительно нейтральном поведении натрия фиксирует реакцию обогащенного кремнекислотой остаточного расплава и его возможную перитектическую реакцию с ранними фельдшпатоидами, по всей вероятности, калиевой группы.

При распределении фигуративных точек пород Средне-Татарского массива в координатах F_1 – F_3 (рис. 4 а) проявлены два композиционных поля: *I* – породы мафических ультращелочной и щелочной подгрупп; *II* – субсалических ультращелочной и высокоглиноземистой подгрупп.

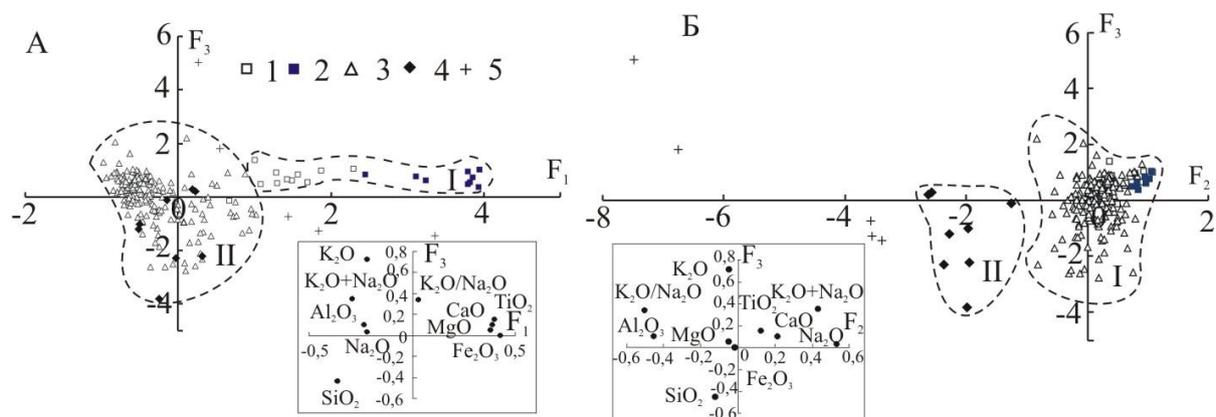


Рисунок 4 – Распределение фигуративных точек пород Средне-Татарской интрузии в плоскости координат F_1 – F_3 (а) и F_2 – F_3 (б)

1 – мафическая ультращелочная подгруппа, 2 – мафическая щелочная подгруппа, 3 – субсалическая ультращелочная подгруппа, 4 – субсалическая высокоглиноземистая подгруппа, 5 – калиевая подгруппа. Во врезке – матрица факторных нагрузок главных компонентов. Римскими цифрами пронумерованы выделенные совокупности.

Первый фактор фиксируется линейной дисперсией выборки вдоль оси абсцисс фигуративных точек ийолитов (поле *I*), подчеркивая ведущее значение фракционной кристаллизации темноцветов. При распределении фигуративных точек пород интрузии в координатах F_2 – F_3 (рис. 4 б) мафические ультращелочная и щелочная подгруппы и субсалическая ультращелочная подгруппа образуют поле *I*, а породы средней степени выветривания (субсалическая высокоглиноземистая подгруппа) – поле *II*. Основной фактор, определяющий вариативность пород состава фойяитов (перитектическая кристаллизация калиевых полевых шпатов), фиксирует на диаграммах (рис. 4) ортогональную деформацию вариационного поля фигуративных точек этих пород.

Для выявления особенностей проявившихся при эволюции расплава пород массива была оценена их петрохимическая специализация. На классификационной диаграмме $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - \text{SiO}_2$ большинство фигуративных точек пород попадают в поля магматитов щелочной серии (рис. 5).

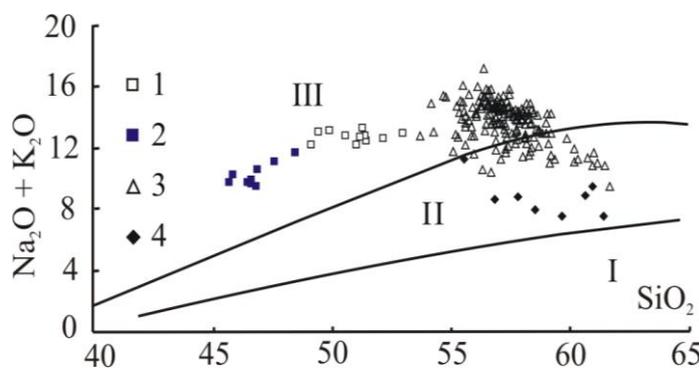


Рисунок 5 – Петрохимическая типизация пород Средне-Татарского массива в координатах классификационной TAS диаграммы
1 – лейкойолиты, 2 – мезократовые ийолиты, 3 – фойяиты, 4 – фойяиты зоны выветривания. I–III – композиционные поля магматических пород: I – нормальной щелочности, II – умеренно-щелочного ряда, III – щелочного ряда.

На диаграмме $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{MgO} - \text{SiO}_2$ большинство фигуративных точек обнаруживают толеитовую специализацию. Оценка щелочной специализации (диаграмма $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} - \text{SiO}_2$) позволяет отнести породы массива к продуктам калиево-натриевой серии. Анализ диаграммы Л. С. Бородина $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})/\text{CaO} - \text{Ac}$ подтверждает развитие среди пород Средне-Татарского массива производных магматической серии повышенной щелочности (рис. 6).

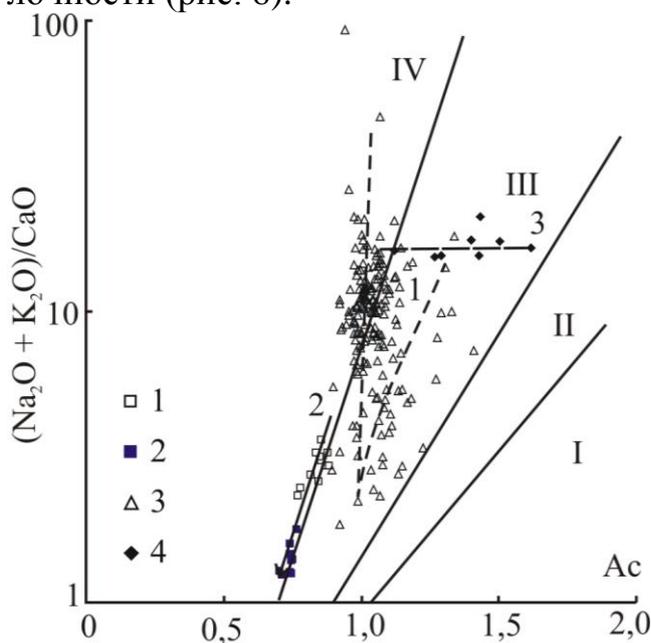


Рисунок 6 – Вариации и характер щелочности пород Средне-Татарского массива на диаграмме Л. С. Бородина 1–4 – представительные химические составы пород (условные обозначения см. в пояснении к рис. 5). I–IV композиционные поля магматических пород: I – известковой (толеитовой), II – известково-щелочной, III – умеренно-щелочной, IV – щелочной серий. Вариационные тренды пород массива: 1 – фойяитов, 2 – ийолитов, 3 – фойяитов зоны выветривания.

Отчетливо проявленные на этой диаграмме различные эволюционные тренды фигуративных точек пород массива, указывают на различные механизмы кристаллизации при их становлении. Вариации содержаний TiO_2 и Fe_2O_3 относительно содержаний кремнезема, в общем, отвечают обратной пропорциональной зависимости, отображая степень дифференци-

рованности исходного магматического расплава. Подобное же распределение наблюдается на диаграммах CaO – SiO₂, MgO – SiO₂ (рис. 7).

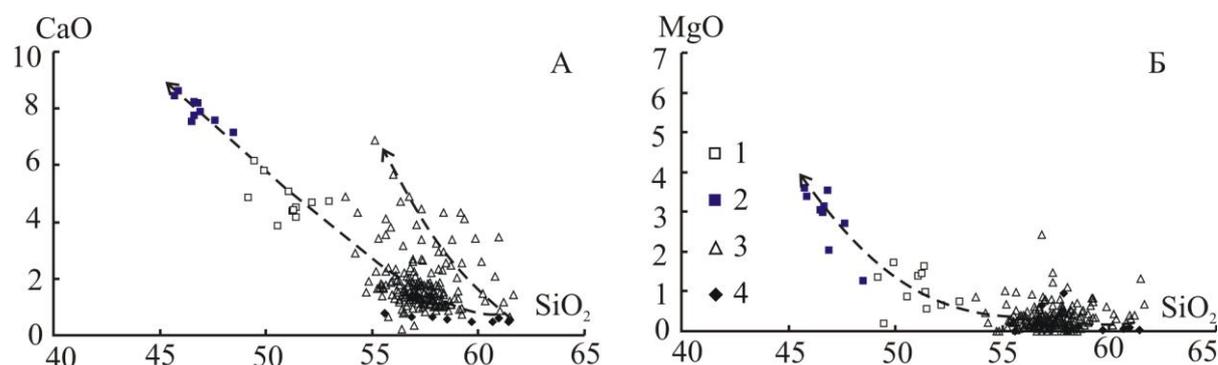


Рисунок 7 – Вариации вещественного состава пород на бинарных диаграммах: CaO – SiO₂ (а), MgO – SiO₂ (б)

1–4 – представительные химические составы пород (условные обозначения см. рис. 5). Пунктиром со стрелкой показаны направления эволюции химизма пород массива.

Распределение глинозема в породах Средне-Татарского массива (рис. 8) обнаруживает близкие закономерности с вариациями содержания щелочей и кремнезема, подтверждая предположение о различных механизмах кристаллизационной дифференциации при формировании ранее и позже образованных пород (фойяитов и ийолитов).

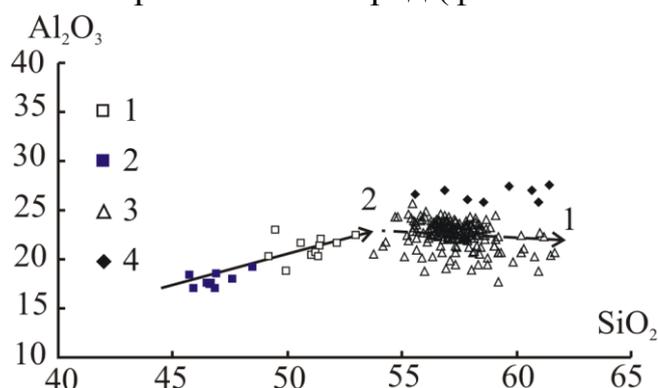


Рисунок 8 – Вариации вещественного состава пород на бинарной диаграмме Al₂O₃ – SiO₂ 1–4 – представительные химические составы пород (условные обозначения см. рис. 5). Направления эволюции химизма пород массива: 1 – фойяитов, 2 – ийолитов.

Наблюдаемое накопление в ийолитах салических компонентов в остаточном расплаве, а в фойяитах – их снижение (для Na₂O и K₂O), либо постоянный состав (в случае Al₂O₃), свидетельствуют о преобладающей роли при кристаллизации ийолитов фракционирования темноцветов, а фойяитов – возможной перитектической кристаллизации полевого шпата и фельдшпатоидов. Петрохимическая специализация пород интрузии показывает, что их петрографическое разнообразие, в целом, определяется кристаллизационной эволюцией продуктов калий-натриевой щелочной серии.

Геометрия вариационных трендов указывает на разнообразие факторов фракционирования при становлении пород массива. Отсутствие четких корреляционных зависимостей между степенью дифференциации и возможным перитектическим фракционированием калиевого полевого шпата свидетельствует о различных пространственно-временных характеристиках их проявления. Таким образом, вещественная неоднородность пород

Средне-Татарского массива обусловлена эволюцией оторванных во времени инъекций фойдитового расплава связанной с вариативностью кристаллизационной дифференциации.

3. Породы массива, являющиеся глиноземным сырьем, наряду с редкоземельно-редкометальной, являются носителями благороднометальной минерализации. Наиболее благоприятны для накопления элементов благородных металлов зоны контактов интрузии, участки массива с альбитизированными породами и с образованиями коры выветривания мезозоя-кайнозоя.

Максимальные концентрации большинства элементов в породах интрузии, и в первую очередь редкоземельных, зафиксированы в конечных дифференциатах – фойяит-пегматитах. Средние концентрации практически всех изученных в породах массива элементов превышают уровень их накопления в породах аналогичного состава. В приконтактных фойяитах и ийолитах отмечаются повышенные содержания бария и редкоземельных элементов. Повышенные концентрации рубидия (353–636 г/т) зафиксированы в сиените, ювите и фойяитах, аномально высокие концентрации стронция (2862 г/т) – в малиньитах. В целом наблюдается накопление элементов в ряду фойяиты – ювиты – ийолиты – фойяит-пегматиты. Коэффициенты концентрации, рассчитанные относительно кларков земной коры для наиболее накапливающихся элементов в фойяит-пегматите составляют: Ag – 22,2; Lu – 31,4; Sm – 4,9; La – 24,9; Ce – 22,6; Eu – 49,6; Y – 6,4; Sb – 30; Se – 158; Ta – 16,1; Rb – 5,3; Zr – 28,2; Nb – 97,9; Br – 42,2; Cs – 5,1; Yb – 9; U – 7,1; Th – 17,9. Коэффициенты концентраций максимально накапливающихся элементов в ийолитах, альбитизированных либо расположенных на границе с вмещающими известняками или с ийолитами фойяитах составляют: Sm до 2,1; Y до 2,5; Sb до 11,7; Ta до 9,7; Rb до 5,8; Zr до 5,7; Nb до 12,4; U до 5,1.

Макроскопических признаков благороднометальной минерализации в породах массива не наблюдается. Микронзондовым анализом в рядовых пробах пород массива и материале коры выветривания наряду с субмикроскопической вкрапленностью сульфидов установлены минералы благородных металлов. В ийолитах и фойяитах определены единичные знаки пирита, пирротина и халькопирита. Частицы самородного золота обнаружены в ийолитах, фойяитах и продуктах коры выветривания. Размер обнаруженных частиц золота составил от 5 до 50 мкм.

Расчитанная пробность золота изменяется от 718 до 925 ‰. Большая часть золотин имеет однородный состав, с незначительным (1–4 ‰) изменением пробности в центре и краевых участках частиц. Наиболее крупные частицы (20–50 мкм) обладают неоднородностью состава с изменением пробности по краям и в центральных участках от 13 до 26 ‰. Выделено пять групп составов золота (в ‰): I – 718–719 (относительно низкой пробы) – фойяиты; II – 814–837 (средней пробы) – ийолиты, фойяиты; III – 855

(средней пробы) – ийолиты; IV – 884–899 (средней пробы) – ийолиты, кора выветривания; V – 914–925 (высокой пробы) – кора выветривания. Наиболее распространено золото средней пробы (II, III, и IV химические типы). Наиболее низкопробное золото типично для фойяитов (I, и II типы), а наиболее высокопробное – для ийолитов (III, и IV типы) и продуктов коры выветривания (IV и V типы). Постоянной примесью в золоте является ртуть.

В ийолите обнаружена медистая платина. Главные минералообразующие элементы – медь и платина. Присутствуют примеси палладия, золота, серебра, сурьмы, мышьяка и серы. В ассоциации с интерметаллидом встречены пирротин и золото средней пробы (891–893 ‰). Полученные результаты свидетельствуют о наличии минералов благородных металлов в породах изучаемой интрузии.

В результате литохимической съемки были выявлены вторичные ореолы рассеяния благородных металлов, ряда элементов, входящих в рудогенный комплекс месторождений золота и др. Уровень их концентрации различен, а содержание изменяется в зависимости от разновидностей пород и пространственной приуроченности в пределах массива. Концентрации Au, Pt, Pd превышают уровень их накопления в почвах щелочных массивов обогащенных этими элементами. По данным литогеохимического опробования, содержание Au колеблется от н.о. до 2,078 г/т (сцинтилляционный анализ) и от «н.о.» до 1 г/т (спектрохимический анализ). Среднее содержание соответственно составляет 0,014 г/т и 0,086 г/т. Содержание платины изменяется от «н.о.» до 0,3 г/т (метод сцинтилляции) и от «н.о.» до 1 г/т (спектрохимический анализ). Концентрации палладия колеблются от «н.о.» до 0,103 г/т. Наиболее высокие значения содержаний палладия отмечаются в рыхлых отложениях фойяитов и контактово-измененных известняков. Среднее содержание палладия составляет 0,0032 г/т. Геохимическая характеристика рыхлых отложений массива на основе рассчитанных коэффициентов концентрации (КК) относительно кларка почв элементов приведена в таблице 2.

Большинство выявленных аномалий Au, Pt и Pd приурочено к центральной и северной части интрузии, ограниченной двумя разломами северо-восточного простирания, и расположено над породами массива и над вмещающими контактово-измененными известняками. Аномальные ореолы благородных металлов над ийолитами и фойяитами восточной части массива приурочены к площади развития коры выветривания мезозоя-кайнозоя. Ореолы золота, платины и серебра на западе массива пространственно совпадают или близки с участками альбитизированных фойяитов. На северо-востоке интрузии, аномальные ореолы благороднометалльных элементов приурочены преимущественно к границе ийолитов и фойяитов.

Таблица 2 – Геохимический спектр вторичных ореолов рассеяния Средне-Татарского щелочного массива

Подстилающие породы	Геохимическая специализация (КК \geq 1,5)	Количество проб
Фойяиты	Rb (9892,6) [*] , Au (20,1), La (9), Nb (3,9), Pt (2,6) ^{**} , Be (2), Ta (1,8), Ga (1,8), Zn (1,5)	234
Ийолиты	Rb (10784,4) [*] , Au (25,1), La (8,6), Nb (8,1), Pt (2,5) ^{**} , Be (2,3), Ta (1,7), Ga (1,6)	177
Мусковитовые сиениты	Rb (10237) [*] , Au (18,9), La (8,6), Nb (2,5), Ta (1,7), Ga (1,6), Be (1,5), Pt (2,6) ^{**}	33
Контактово-измененные известняки	Rb (9359,6) [*] , Au (20,5), La (8,9), Nb (4,3), Pt (2,5) ^{**} , Be (1,8), Ta (1,7), Ga (1,7), Ni (1,5)	106
* – концентрации рубидия в рыхлых отложениях равноценны его содержаниям в породах, ** – КК рассчитан относительно кларка почв для платиноносного массива Стиллуотер.		

По результатам литохимического опробования выделены перспективные площади для обнаружения элементов благородных металлов и оценена практическая значимость установленных аномальных ореолов в цифрах прогнозных ресурсов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе на основании геологических наблюдений и изучения изотопного состава минералов и пород пересмотрена последовательность становления фойяитов и ийолитов Средне-Татарского массива. Полученные данные позволяют говорить о едином источнике формирования пород слагающих интрузию. В результате изучения петрохимических особенностей пород массива проведена идентификация ведущих факторов определяющих их разнообразие.

Показана проявленная для пород массива закономерность накопления большинства редких и редкоземельных элементов к более поздним дифференциатам. Выявленные возрастные и геохимические отличия фойяитов и ийолитов позволяют вынести на рассмотрение вопрос о возможном участии в строении массива двух магматических ассоциаций.

В породах массива обнаружена акцессорная благороднометалльная минерализация, отражающаяся и во вторичных литохимических ореолах. Для золота, платины и палладия выявлен комплекс элементов-спутников, позволяющий проводить поиски этих элементов в схожих условиях.

Таким образом, в ходе исследований выполнено доизучение геологического строения Средне-Татарского месторождения нефелиновых пород,

обоснована его полихронность, определены возможные источники магм, выявлена потенциальная акцессорная благороднометалльная минерализация.

Рекомендуется дальнейшее изучение распределения Au, Pt, Pd в породах массива для выявления природы установленной минерализации и факторов, способствующих ее образованию, а также ее промышленной значимости. При проведении дальнейших геологоразведочных работ на Средне-Татарском месторождении нефелиновых руд рекомендуется уделить внимание геолого-технологическим исследованиям для оценки возможности комплексной переработки глиноземного сырья и эффективности извлечения попутных редких, редкоземельных и, возможно, благородных металлов.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ РАБОТ

В изданиях аннотированных ВАК РФ:

1. Федорова, А. В. Заангарский щелочной интрузив, Енисейский кряж: Rb-Sr-, Sm-Nd-изотопный возраст пород и источники фельдшпатовидных магм в позднем докембрии / А. М. Сазонов, В. В. Врублевский, И. Ф. Гертнер, **А. В. Федорова**, В. В. Гавриленко, Е. А. Звягина, С. И. Леонтьев // Докл. РАН. – 2007. – Т. 413, № 6. – С. 798–802.

Fedorova, **A. V.** The Transangara alkaline pluton, Enisei range: Rb-Sr and Sm-Nd isotope ages and sources of feldspathoid magmas in Late Precambrian / A. M. Sazonov, V. V. Vrublebsky, I. F. Gertner, **A. V. Fedorova**, V. V. Gavrilenko, E. A. Zvygina, S. I. Leont'ev // Dokladi Earth Sciences. – 2007. – V. 413 A, № 3. – P. 469–473.

2. Федорова, А. В. Золоторудная металлогения Енисейского кряжа: геолого-структурная позиция, структурные типы рудных полей / А. М. Сазонов, А. А. Ананьев, Т. В. Полева, А. Н. Хохлов, В. С. Власов, Е. А. Звягина, **А. В. Федорова**, П. А. Тишин, С. И. Леонтьев // Журнал Сибирского федерального ун-та. Т. 4. Техника и технологии. – 2010. – № 3. – С. 371–395.

В прочих изданиях:

3. Федорова, А. В. Геолого-геофизическая характеристика Средне-Татарской щелочной интрузии / **А. В. Федорова**, А. М. Сазонов // Проблемы геологии и освоения недр: материалы докл. второй международной науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых им. академика М. А. Усова. – Томск: НТЛ, 1998. – С. 18–19.

4. Федорова, А. В. К вопросу о необходимости разработки ресурсосберегающих технологий переработки комплексных нефелиновых руд / А. В. Федорова // Перспективные материалы: получение и технологии обработки: тез. докл. всероссийской науч.-технической конф. – Красноярск: КГАЦМиЗ, 1998. – С. 107–108.

5. Федорова, А. В. Геология и минерагения Средне-Татарской щелочной интрузии в Енисейском кряже / **А. В. Федорова**, А. М. Сазонов // Актуальные вопросы геологии и географии Сибири. Материалы науч. конф., посвященной 120-летию основания Томского гос. ун-та, 1-4 апреля 1998 г. – Томск: Том. гос. ун-т, 1998. – С. 59.
6. Федорова, А. В. Золотоплатиноносность нефелиновых интрузий / А. М. Сазонов, Е. А. Звягина, **А. В. Федорова** // Перспективные материалы, технологии и конструкции. – Красноярск: Сибирская аэрокосмическая академия, 1999. – Вып. 4. – С. 80–85.
7. Федорова, А. В. Новый генетический тип золотого оруденения, перспективный для промышленного освоения в Красноярском крае / А. М. Сазонов, Е. А. Звягина, С. И. Леонтьев, **А. В. Федорова** // Достижения науки и техники – развитию сибирских регионов: тез. докл. всероссийской науч.-практической конф. с международным участием. – Красноярск: КГТУ, 1999. – С. 274.
8. Федорова, А. В. благороднометальная специализация щелочных пород Средне-Татарского массива / А. В. Федорова // Молодежь и наука – третье тысячелетие: сб. материалов межрегионального науч. фестиваля. – Красноярск, 2002. – С. 397.
9. Федорова, А. В. Благороднометалльный потенциал щелочных интрузий / А. М. Сазонов, Е. А. Звягина, С. И. Леонтьев, А. В. Федорова, Т. В. Полева, М. В. Вульф, Ю. В. Ежелый, С. П. Гончарова, С. В. Цыкина // Стратегия развития минерально-сырьевого комплекса в XXI веке. Материалы международной конф. Москва-Бишкек, 11–15 октября 2004 г. – М.: РУДН, 2004. – С. 232–235.
10. Федорова, А. В. Геология и рудоносность Средне-Татарского массива / А. В. Федорова // Современные технологии освоения минеральных ресурсов: сб. науч. тр. – Красноярск: ГУЦМиЗ, 2005. – С. 46–49.
11. Федорова, А. В. Акцессорная благороднометалльная минерализация в породах Средне-Татарского щелочного массива / А. В. Федорова // Золото Сибири: геохимия, технология, экономика: материалы IV Международного симпозиума. – Красноярск: КНИИГиМС, 2006. – С. 77–78.
12. Федорова, А. В. Петрохимическая аттестация и специализация нефелиновых пород Средне-Татарского массива / **А. В. Федорова**, П. А. Тишин, А. М. Сазонов // Цветные металлы – 2010: сб. докл. второго международного конгресса. – Красноярск: ООО «Версо», 2010. – С. 53–58.
13. Федорова, А. В. Промышленный потенциал золота и платиноидов нефелиновых руд Красноярского края / А. М. Сазонов, С. И. Леонтьев, М. В. Вульф, К. В. Симонов, Е. А. Звягина, **А. В. Федорова**, Т. В. Полева, В. С. Власов, В. С. Чекушин, Н. В. Олейникова, А. К. Вальд // Природные ресурсы Красноярского края. Специализированное информационно-аналитическое издание. – 2010. – № 5. – С. 51–53.

Подписано в печать 24.02.2011
Формат 60x84/16. Уч.-изд. л. 1,17
Тираж 100 экз. Заказ № 3279

Отпечатано:
Полиграфический центр Библиотечно-издательского комплекса
Сибирского федерального университета
660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 82а