

**Табакаева Евгения Михайловна**

**ПЕТРОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ РУДОНОСНОСТИ  
БЕЛОКУРИХИНСКОГО КОМПЛЕКСА  
АЛТАЯ**

Специальность 25.00.11 – Геология, поиски и разведка  
твёрдых полезных ископаемых, минерагения

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание учёной степени  
кандидата геолого-минералогических наук

Работа выполнена в ГОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

**Научный руководитель:**

доктор геолого-минералогических наук,  
профессор **Гусев Анатолий Иванович**

**Официальные оппоненты:**

доктор геолого-минералогических наук,  
профессор **Чернышов Алексей Иванович**

кандидат геолого-минералогических наук,  
доцент **Домаренко Виктор Алексеевич**

**Ведущая организация:**

Всероссийский научно-исследовательский  
геологический институт им. А.П. Карпинского  
(ВСЕГЕИ), г. Санкт-Петербург

Защита состоится 01 июня 2011 года в 15<sup>00</sup> часов на заседании совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д 212.269.07 при ГОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по адресу: 634050, г. Томск, ул. Ленина, 2 строение 5, 20-й корп. ТПУ, ауд. 504.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке ГОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (634050, г. Томск, ул. Белинского, 55)

Автореферат разослан «\_\_\_» апреля 2011 г.

**Ученый секретарь совета по защите  
докторских и кандидатских диссертаций,  
д.г.-м.н., профессор**

**Арбузов С.И.**

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

**Актуальность работы.** Металлогеническую специфику Алтая составляет большой перечень металлов, в том числе месторождения бериллия, олова, вольфрама, молибдена, тантала и ниобия. Однако в настоящее время на территории Горного Алтая детально изучены только Алахинское танталовое месторождение (Кудрин и др., 1994; Кудачин, 1998) и Калгутинское редкометалльное месторождение (Поцелуев и др., 2008). При этом есть ряд перспективных территорий на редкометалльное оруденение, которые изучены слабо. К числу таких относятся территории развития белокурихинского комплекса, сформировавшегося в западном сегменте Алтае-Саянской складчатой области в поздней перми-раннем триасе. Ранее его металлогеническую специфику рассматривали как вольфрамовую и молибденовую. Между тем отмечаются перспективы комплекса и на редкие металлы. Однако в настоящее время не существует единого систематизированного представления о закономерностях эволюции глубинного магматического очага, сформировавшего дериваты белокурихинского комплекса, за исключением разрозненных публикаций об отдельных его частях. Этому также препятствует выделение необоснованно большого количества интрузивных комплексов в пределах изучаемой территории при проведении геолого-съёмочных работ масштаба 1:50000. Ситуация усугубляется тем, что на территории выходов белокурихинского комплекса съёмочные работы проводили исполнители разных геологических предприятий: Северо-Алтайской (Бийск) и Западно-Сибирской (Елань) экспедиций. Для объективной оценки перспектив рудоносности белокурихинского комплекса необходимы доизучение существующих месторождений на основе современных генетических моделей и новых подходов к минерагенической оценке магматитов. Актуальность проведенных исследований определяется необходимостью комплексных исследований петролого-геохимических критериев рудоносности белокурихинского комплекса.

**Цель работы.** Изучение петролого-геохимических признаков локализации редкометалльного оруденения, связанного с магматическими образованиями белокурихинского комплекса и выработка на этой основе комплексных критериев оценки прогнозных перспектив территории.

### **Задачи исследований.**

1. Уточнение структурной и геодинамической позиции магматических образований белокурихинского комплекса и его объема с учетом мантийно-корового взаимодействия.

2. Расшифровка с помощью геофизических данных глубинного строения интрузий белокурихинского комплекса, вмещающих редкометалльное оруденение.

3. Изучение петрографических и геохимических особенностей магматических образований белокурихинского комплекса для выявления связей магматизма и оруденения.

4. Определение параметров флюидного режима формирования магматитов белокурихинского комплекса.

5. Разработка комплекса прогнозно-поисковых критериев редкометалльного оруденения и рекомендаций по проведению дальнейших поисковых работ на территории белокурихинского комплекса.

**Фактический материал работы.** В основу работы положены результаты полевых и камеральных работ, проведенных автором в период с 2006 по 2010 гг., а также результаты научно-исследовательских работ (НИР), выполненных автором в рамках проекта аналитической ведомственной целевой программы «Развитие

научного потенциала высшей школы» (2008-2010 гг.). Изучение состава и фазовых взаимоотношений пород комплекса проведено в петротипическом Белокурихинском плутоне, Сrostинском и Бабырганском массивах. Оруденение в грейзенах изучено на Курановском кварцево-грейзеновом бериллиевом месторождении, в пегматитах – на проявлениях бериллия ручья Крутенького и тантало-ниобатов ручья Слепого, кварцево-жильное оруденение – на вольфрамовом Осиновском месторождении и проявлении бериллия Красный Городок. Собранный каменный материал отражает фазовые взаимоотношения породных типов белокурихинского комплекса и рудную минерализацию.

Изучено более 500 шлифов и аншлифов магматических и рудных образований. Обработаны результаты анализов более 1200 проб руд, минералов и горных пород, отобранных предшествующими исследователями и лично автором. Анализы выполнены в различных лабораториях. Определения состава минералов осуществлены в Лаборатории и Центре изотопных исследований ВСЕГЕИ (г. Санкт-Петербург) в прозрачно-полированных шлифах на приборе CamScan MV2300 с системой анализа Link ISIS-300. Состав мусковита из пегматитов, щелочных и редких элементов в полевом шпате из пегматитов определен микрозондовым методом в ИМГРЭ (г. Москва), анализ составов биотита из гранитоидов проведён в лаборатории ВСЕГЕИ (г. Санкт-Петербург). Общее число микрозондовых определений составов биотитов - 31, мусковитов - 10, амфиболов - 11, пироксенов – 7. Изучение содержаний элементов-примесей в рудных минералах (вольфрамите, гюбнерите, пирите, шеелите) проводилось методом ICP-MS, количественным спектральным и кинетическим методами в лаборатории ИМГРЭ (г. Москва).

Силикатный анализ пород на главные компоненты осуществлен рентгеноспектральным флуоресцентным методом во ВСЕГЕИ (г. Санкт-Петербург). Дополнительно силикатный анализ интрузивных пород выполнялся в аналитико-технологическом испытательном центре ОАО «НГПЭ» (г. Новосибирск) и в аналитическом центре Запсибгеологии (г. Новокузнецк). Общее число силикатных анализов – 196.

Количественный анализ интрузивных пород на микроэлементы (Cu, Pb, Zn, Li, Be, U, Th, Zr, PЗЭ) проведен методом ICP-MS в лаборатории ИМГРЭ (г. Москва). Содержание PЗЭ определялось в лабораториях ГЕОХИ СО РАН (г. Иркутск), ВСЕГЕИ (г. Санкт-Петербург), ОИГГиМ СО РАН (г. Новосибирск). Во ВСЕГЕИ также были определены содержания Co, Ni, Zn, Pb, Li, Sc, Cu методом ICP-AES. Общее число масспектрохимических анализов малых элементов методом ICP-MS – 168.

Изотопные исследования в цирконах выполнены в Центре изотопных исследований ВСЕГЕИ. Изотопные измерения в цирконах проводилось по классической методике на вторично-ионном микрозонде SHRIMP-II. При выборе в цирконах участков для анализа использовались оптические и катодолюминисцентные наблюдения.

Сведения о составе рудообразующих флюидов получены методом термобарогеохимического анализа газово-жидких включений (ГЖВ) кварцев разных генераций, выполненного в лаборатории ИГГиМ СО РАН (г. Новосибирск).

Анализы физических свойств пород (плотность, магнитная восприимчивость, остаточное намагничение) выполнены в Центральной лаборатории Запсибгеологии (г. Новокузнецк). Общее число анализов 765, из них 605 проб из пород разновозрастных

свит, 126 из магматических пород, 34 из метаморфических пород метаморфического белокурухинского комплекса.

Для исследований отбирались неизменные породы, что подтверждается высокими значениями торий-уранового отношения (от 1,3 в монцогаббро и монцонитах до 11,5 в лейкогранитах с флюоритом). Достоверность полученных данных также подтверждается значительным количеством анализов, полученных с помощью современных высокоточных методов.

#### **Защищаемые положения:**

*1. С современных позиций магматизм гранитоидных образований различных ареалов (айский, белокурухинский, синюшинский, жерновский, атуркольский, тархатинский, теранджикский комплексы), имеющих близкий возраст и состав, следует рассматривать в составе единого раннетриасового белокурухинского комплекса.*

*2. Магматиты белокурухинского комплекса, относимые к шошонитовому типу, сформировались из обогащённого мантийного источника в результате мантийно-корового взаимодействия в условиях высокой флюидонасыщенности.*

*3. Петрологические критерии рудоносности интрузий белокурухинского комплекса определяются особенностями магматической дифференциации при мантийно-коровом взаимодействии и меняющихся параметрах флюидного режима (повышенной восстановленности флюидов при формировании лейкогранитов, повышенных концентрациях фтора, бора, углекислоты во флюидах).*

*4. Геохимическими критериями рудоносности отдельных фаз белокурухинского комплекса служат повышенные содержания редких элементов (Ta, Nb, Li, Be) и W, Mo в биотитах, мусковитах, турмалинах гранитоидов, а также минералах и породах пегматитов и грейзенов.*

**Научная новизна работы.** 1. Выявлена важная роль фтора, бора и других летучих компонентов в локализации редкометалльного оруденения белокурухинского комплекса. 2. Впервые гранитоиды комплекса отнесены к шошонитовому типу (SH). 3. Установлен мантийный источник формирования магматических образований белокурухинского комплекса. 4. Впервые для Алтая обосновано объединение в единый комплекс многочисленных интрузивов, ранее относившихся к различным комплексам: белокурухинскому, айскому, теранджикскому, атуркольскому, тархатинскому, синюшинскому. 5. На основе новой генетической интерпретации формирования белокурухинского комплекса автором уточнены прогнозные критерии и определены перспективные участки на редкометалльное оруденение.

**Практическая значимость работы.** Проведенные исследования дополняют геологическую изученность Горного Алтая. Обосновано более широкое распространение редкометалльного оруденения, связанного с интрузиями белокурухинского комплекса. Дополнен комплекс прогнозно-поисковых критериев и даны рекомендации по проведению дальнейших поисковых работ на площадях развития белокурухинского комплекса. Рекомендации по наиболее перспективным участкам редкометалльного оруденения, связанного с белокурухинским комплексом, переданы в ОАО «Горно-Алтайская экспедиция».

Результаты диссертационного исследования могут быть использованы ОАО «Горно-Алтайская экспедиция» при решении задач перспективной оценки комплексных месторождений полезных ископаемых на редкие и рассеянные (в т.ч. благородные) металлы, как основы для разработки технологии извлечения попутных рудных компонентов и увеличения ценности месторождений. Кроме того, результаты исследований могут представлять интерес при обновлении схем региональной

корреляции магматических комплексов и создании региональных Легенд к картам масштаба 1:200 000.

**Апробация работы и публикации.** Результаты исследований докладывались на XI международном научном симпозиуме имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых «Проблемы геологии и освоения недр» (г. Томск) в 2007 г.; на II межвузовской региональной конференции «Геология, география, биология и природные ресурсы Алтая», посвященной 300-летию г. Бийска в 2007 г.; на V, VI и VII Российско-монгольских научных конференциях молодых учёных и студентов «Алтай: экология и природопользование» (г. Бийск) в 2006, 2007 и 2008 гг.; на I международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов, посвящённой памяти академика А.П. Карпинского (г. Санкт-Петербург) в 2009 г.; на Всероссийской петрографической конференции «Петрология магматических и метаморфических комплексов» (г. Томск) в 2009 г.; на III научно-практической конференции, посвященной 300-летию г. Бийска «Геология, география, биология и природные ресурсы Алтая» (г. Бийск) в 2009 г.; на XVI молодежной научной школе «Металлогения древних и современных океанов - 2010. Рудоносность рифтовых и островодужных структур» (г. Миасс) в 2010 г.; на международной конференции «Современные проблемы геологии и разведки полезных ископаемых», посвященной 80-летию основания в Томском политехническом университете первой в азиатской части России кафедры «Разведочное дело» (г. Томск) в 2010 г.

Материалы, положенные в основу диссертации, опубликованы в 17 печатных работах, в том числе в монографии и 2 статьях в журналах, рекомендуемых ВАК.

**Структура и объём диссертации.** Диссертация состоит из введения, 5 глав и заключения. В *первой главе* охарактеризовано состояние изученности и критический обзор достижений предшественников в решении проблем рудогенерирующего магматизма, в частности рассмотрено состояние изученности вопросов петрологии габбро-гранитных серий и редкометалльных гранитов, влияния флюидного режима на оруденение, генетических моделей рудообразования и других. Во *второй главе* показано структурно-тектоническое положение интрузий белокурухинского комплекса, определено место комплекса в истории развития Алтае-Саянской складчатой области, дана геологическая характеристика эталонных интрузивных массивов белокурухинского комплекса, приведены геологические свидетельства в пользу объединения ранее самостоятельных многочисленных разновозрастных и аналогичных по составу комплексов (айского, белокурухинского, синюшинского, атуркольского, теранджикского, тархатинского) в единый белокурухинский комплекс. В *третьей главе* приведены результаты изучения петрологии белокурухинского комплекса на петрографическом, минералогическом, геохимическом уровнях, раскрыты представления о генезисе комплекса. В *четвёртой главе* представлены данные о геологическом строении месторождений различных типов, приведены результаты изучения рудных минералов и флюидного режима, обоснованы представления о генезисе оруденения белокурухинского комплекса. В *пятой главе* охарактеризован комплекс петролого-геохимических критериев рудоносности с оценкой прогнозной перспективности белокурухинского комплекса.

Объём диссертации составляет 184 страницы машинописного текста, 39 рисунков, в том числе 4 схематических карты, и 31 таблица. Список литературы включает 158 источников.

**Личный вклад автора** заключается в проведении полевых исследований на территории белокурухинского комплекса и связанных с ним месторождениях и

проявлениях (петротипический Белокурухинский плутон, Черновской шток, Айский ареал), первичной пробоподготовке, петрографическом изучении пород, интерпретации результатов анализов, что позволило выявить участие глубинных процессов в формировании пород белокурухинского комплекса, закономерности рудогенеза редкометалльного оруденения и сформулировать прогнозные критерии рудоносности белокурухинского комплекса.

**Благодарности.** Поддержку и ценные критические замечания в процессе выполнения и на стадии апробации работы оказали Е.А. Дзагоева, В.Н. Коржнев (БПГУ), Т.С. Небера (ТГУ), Е.В. Медведева, В.В. Зайков, Е.В. Зайкова, Е.В. Белогуб (Институт минералогии РАН). Неоценимую помощь в сборе материалов для диссертации оказали сотрудники Горно-Алтайской поисково-съёмочной экспедиции - В.А. Кривчиков, С.И. Федак, Ю.А. Туркин и Центра изотопных исследований ВСЕГЕИ - Н.И. Гусев. Всем названным коллегам автор выражает искреннюю благодарность. За консультации по разным вопросам, ценные критические замечания и поддержку автор признателен Заслуженному геологу Российской Федерации, Заслуженному деятелю науки РФ, доктору геолого-минералогических наук, профессору А.Ф. Коробейникову, а также докторам геолого-минералогических наук, профессорам В.Г. Ворошилову, А.А. Поцелуеву, Л.П. Рихванову. Особую благодарность автор выражает своему научному руководителю доктору геолого-минералогических наук, профессору А.И. Гусеву за постоянное внимание к работе, её критику и всестороннюю помощь в её выполнении.

**СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.** В работе рассматриваются и защищаются следующие положения:

*1. С современных позиций магматизм гранитоидных образований различных ареалов (айский, белокурухинский, синюшинский, жерновский, атуркольский, тархатинский, теранджикский комплексы), имеющих близкий возраст и состав, следует рассматривать в составе единого раннетриасового белокурухинского комплекса.*

Площадь распространения интрузий белокурухинского комплекса является частью западного сегмента Алтае-Саянской складчатой области в составе Центрально-Азиатского складчатого пояса, что предопределило длительную мультэтапную историю развития и сложную картину её геологического строения. Блоково-чешуйчато-надвиговой характер геологического строения Алтая в целом во многом обусловлен процессами консолидации участков земных недр с Сибирским кратоном. С позиций новой парадигмы геотектоники, увязывающей в единое целое процессы, протекающие в разных геосферах: коре, верхней мантии (тектоника плит), нижней мантии (плюмтектоника) и внешнем ядре (тектоника роста) выделяются 4 крупных этапа, отвечающие доминирующим геодинамическим обстановкам: первый ( $R_3-O_1$ ) – океанический, второй ( $O_1-P_2$ ) – трансформно-континентально окраинный, третий ( $P_2-MZ_1$ ) – плюмтектонический и четвёртый ( $MZ_2-KZ$ ) – завершающего неотектонического режима, сформировавшего современный облик региона в результате Индо-Евразийской коллизии и ротации микроплит. Становление интрузий белокурухинского комплекса происходило в постколлизийный период на этапе существования мантийной горячей точки ( $P_2-MZ_1$ ). Схема распространения ареалов и массивов белокурухинского комплекса представлена на рис. 1. Массивы белокурухинского комплекса распространены в пределах следующих региональных тектонических элементов Горного Алтая или структурно-формационных зон (СФЗ), выделявшихся для герцинского этапа: Ануйско-Чуйской, Талицкой, Бийско-

Катунской. Интрузивы белокурухинского комплекса встречаются также в Рудно-Алтайской структурно-формационной зоне (Тигирекский, Саввушинский и другие массивы) и в Салаире (интрузии ранее выделявшегося жерновского комплекса). На время формирования интрузий белокурухинского комплекса структурно-формационные зоны не выделяются. Магмогенерация и связанное с ней оруденение W, Mo, Be, Ta, Nb, Li, Sn, Au происходили в обстановке Сибирского суперплюма и для региона может быть выделена единая Тигирекско-Белокурухинская металлогеническая область позднепермско-раннетриасового этапа.

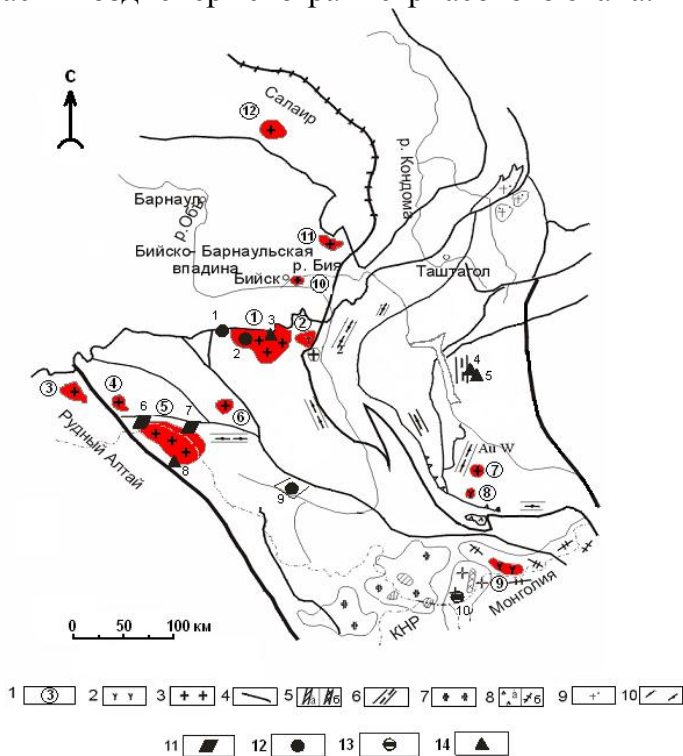


Рис. 1. Схема распространения ареалов и массивов белокурухинского комплекса на структурной карте Горного Алтая, Салаира и Горной Шории (составлена автором с использованием материалов С.П. Шокальского, М.М. Буслова, Г.А. Бабина, А.И. Гусева и др.)

Примечание. 1 – цифрами в кружках обозначены ареалы и массивы белокурухинского комплекса (Р-Т): 1 – петротипический Белокурухинский плутон; 2 – айский ареал; 3-5 – массивы синюшинского ареала: 3 – Саввушинский, 4 – Синюшинский, 5 – Тигирекский; 6 – Щebetинский массив; 7 – Атуркольский ареал; 8 – Теранджикский ареал; 9 – Тархатинский ареал; 10 – Бийский массив, 11 – Горновский массив, 12 – Жерновский массив; 2 – гипабиссальные массивы; 3 – мезоабиссальные массивы; 4 – разломы; 5 – юрские комплексы редкометалльных гранитоидов: а – алахинский редкометалльных сподуменовых гранитов, б – восточно-калгутинский литий-фтористых лейкогранитов; 6 – Прителецкий пояс редкометалльных пегматитов (МЗ); 7 – чиндагатуйский гранит-лейкогранитовый мезоабиссальный комплекс; 8 – юрские автономные щелочно-базитовые комплексы: а – сиенит-габбровый с карбонатами «Эдельвейс» (Северо-Чуйский ареал), б – чуйский лампрофировый; 9 – мезоабиссальный порожинский гранит-лейкогранитовый комплекс; 10 – автономный дайковый терехтинский габбро-долеритовый комплекс (Р-Т); 11-14 – геолого-промышленные типы оруденения бериллия: 11 – комплексные скарны, 12 – комплексные кварцево-жильные, 13 – комплексные грейзеновые, 14 – пегматитовые; месторождения и проявления бериллия: 1 – Красный городок, 2 – Курановское, 3 – Ручей Крутенький, 4 – Тузукта, 5 – Дырях, 6 – Белорецкий Рудник, 7 – Ново-Колыванское, 8 – Тигирекское, 9 – Каракольское, 10 – Калгутинское.



Массивы белокурихинского комплекса сформировались в структурах межформационного несогласия и имеют единый уровень становления. Благодаря контрастным физико-механическим свойствам пород нижнего рифей-венд-силур-ордовикского метаморфизованного и верхнего осадочного раннедевонского этажей создались благоприятные условия для подъёма магм по вертикальным глубинным разломам в фундаменте. Это и предопределило весь сценарий магмогенерации интрузий белокурихинского комплекса и его поясовое расположение, вытягивающееся вдоль вмещающей шовной структуры. В результате на этом уровне образуются крупные в плане и сравнительно маломощные батолитоподобные камеры-массивы. Наиболее крупные Белокурихинский плутон и Айский массив локализируются в зоне перехода от Бийско-Барнаульской впадины к горно-складчатому сооружению. В подошве таких батолитоподобных тел, судя по геофизическим данным, залегают габбро-диориты и габбро, объём которых с глубиной быстро сокращается и на уровне 10-12 км габброиды образуют узкий подводящий канал. В последующий длительный период затвердевания батолитов по мере ороговикования и растрескивания пород кровли от них растут вверх штоко- и дайкообразные апофизы.

Породы изучаемого комплекса образовались в ходе 5 фаз внедрения в гомодромной последовательности: I - габброиды, II - диоритоиды, сиениты, III - граносиениты, гранодиориты, IV - граниты, V - лейкограниты, лейкограниты с флюоритом (Гусев, Гусев, Табакаева, 2008).

Для интрузий и плутонов Белокурихинского, Айского, Атуркольского, Теранджикского, Тархатинского ареалов, а также ранее выделявшихся жерновского и синюшинского комплексов принят позднепермско-раннетриасовый возраст. Согласно новой шкале геологического времени на основании определений U-Pb методом по цирконам из гранитов второй фазы устанавливается среднетриасовый возраст белокурихинского комплекса:  $233 \pm 12$  млн. лет. По валовой пробе из всех разновидностей гранитоидов первой фазы Rb/Sr-метод дает  $237 \pm 4$  млн. лет (Владимиров и др., 1997), возраст лейкогранитов Курановского и Осокинского штоков –  $236 \pm 3,3$  млн. лет (Vladimirov et al., 2001).

По результатам определения радиологического возраста (уран-свинцовым методом по циркону) сиенитов Айского массива получена цифра в  $248,9 \pm 5,7$  млн. лет (Владимиров и др., 1997). Рубидий-стронциевое изотопное датирование лейкогранитов с флюоритом показало более молодой возраст –  $244 \pm 4,5$  млн. лет (Крук, 1998). Оба определения согласно новой шкале геологического времени дают ранне-среднетриасовый возраст.

Позднепермско-раннетриасовый возраст атуркольского комплекса принят условно в соответствии с серийной легендой (Корреляция..., 2000), при этом имеющаяся на данный момент единственная изотопная (U-Pb методом по цирконам) датировка (Крук, 1998) устанавливает возраст  $237,7 \pm 4,4$  млн. лет.

Для сиенитов Тархатинского массива методом SHRIMP в Лаборатории ВСЕГЕИ определён абсолютный возраст в  $247 \pm 5$  млн. лет (Гусев, Гусев, Табакаева, 2008), близкий к сиенитам Айского массива.

Пермско-триасовый возраст интрузивов жерновского комплекса принят условно. Из современных методов определения абсолютного возраста имеется Ar-Ar датировка по плагиоклазу из дайки плагиогранит-порфиров, секущей лейкограниты Чемского массива Улантовского плутона, равная  $258 \pm 5$  млн лет (Федосеев и др., 1998).

Важной чертой массивов белокурихинского комплекса является различный эрозионный срез интрузивов. Считается, что уровень эрозионного среза

последовательно увеличивается от Белокурихинского плутона к Айскому, Теранджикскому и Тархатинскому массивам. Это подтверждается высокими значениями отношений Nb/V, K<sub>2</sub>O/MgO, Yb/Co (Амшинский, 1978) в породах Белокурихинского и Айского массивов. Вероятно, по этой причине каждому из массивов свойственен определённый набор пород. Так, в Белокурихинском плутоне преобладают граниты и гранодиориты, значительным распространением пользуются лейкограниты и отсутствуют породы более основного состава – габброиды и диоритоиды. Только в этом плутоне получили широкое развитие пегматиты и грейзены. В Айском массиве обнаруживаются породы более глубоких уровней – габброиды, монцонитоиды, сиениты и диоритоиды. Меньшим распространением пользуются граниты и лейкограниты. Теранджикский и Тархатинский массивы характеризуются набором пород ещё большего эрозионного среза – габброидами, монцонитоидами, диоритоидами, сиенитами. В них редки граниты и отсутствуют лейкограниты.

Обобщение материалов по фанерозойским гранитоидным комплексам с участием габброидов, однотипных с белокурихинским комплексом, и детальное их изучение по Алтае-Саянскому региону (Хомичёв, Васильев, Хомичёва, 1993; Хомичёв, 1995; Хомичёв, Единцев, Кужельная, 2000), Австралии (Wones, Eugster, 1985; Whalen, Chappell, 1988; Vignerese, 2007), Японии (Ishihara, 1977; Irber, 1999), Западной Европе (Barbarin, 1999), Америке (Ague, Brimhall, 1988) и другим регионам приводит к выводу, что они генетически связаны с предшествующими габбро и диоритами и имеют базальтоидную природу. Гранитоиды слагают единые с габброидами массивы, фиксируемые в геофизических полях целостными локальными аномалиями (Теранджикский, Айский массивы). Все массивы имеют чёткое зональное строение с гранитами в центре и всё более основными породами на периферии, исключающее возможность раздельного их образования. Гомодромная последовательность формирования пород не нарушается ни в одном из массивов. Интродуцирование гранитоидами диоритов и габбро не сопровождается закаливанием даже в тонких инъекциях, что говорит о близких P-T-условиях их генерации. Наряду с фазовыми границами между ними наблюдаются и постепенные переходы, что свидетельствует о прямых генетических связях гранитоидов с диоритами и габбро. Гранитоиды наследуют особенности вещественного состава габбро, что наглядно отражается закономерными линейными петрохимическими трендами, общей сидеро-халькофильной и редкометалльной геохимической специализацией, однотипным распределением редкоземельных элементов, мантийными первичными отношениями изотопов стронция. В гранитах главной фазы Белокурихинского массива отношение Sr<sup>87</sup>/Sr<sup>86</sup> составляет 0,70646±29 (Владимиров и др., 2002). В граносиенитах Айского массива также невысокие отношения Sr<sup>87</sup>/Sr<sup>86</sup> – 0,7052-0,7068 (Владимиров и др., 2002). Наиболее информативные темноцветные минералы (роговая обманка, биотит, магнетит) гранитоидов, диоритов и габбро по оптическим показателям и химическим составам на основе микронзондовых анализов или близки, или образуют единую узкую эволюционную группу, знаменующую общность их минералообразующей субстанции. Дайки второго этапа, отвечающие по составу лампрофирам разного состава, долеритам и диоритам ранних фаз внедрения и несколько обогащённые летучими «гранитофильными» компонентами, внедряются после гранитоидных массивов, совмещены структурно и во времени с их жильными отщеплениями и имеют с последними сложные взаимосекующие отношения, что свидетельствует об их сопроисхождении в результате одновременного параллельного функционирования

сосуществующих в камере массива остаточных расплавов основного, среднего и кислого составов. Приведенные данные свидетельствуют о едином источнике формирования базитовых, монцонитоидных, сиенитовых и гранитовых разностей, произошедших в результате дифференциации единой щелочной мантийной базальтовой магмы в глубинном очаге. Такое единство просматривается не только в сходных и закономерных изменениях петро-геохимических характеристик всего набора пород, но и по данным изотопов неодима ( $\epsilon\text{Nd} = +1,96 \dots + 2,94$ ) и стронция ( $\epsilon\text{Sr} = +12,83 \dots +31,3$ ).

Таким образом, сходные структурно-тектоническое положение, геологический возраст и вещественный состав позволяют объединить интрузии белокурухинского, айского, атуркольского, теранджикского, тархатинского, жерновского, синюшинского ареалов и другие сходные с ними в единый белокурухинский комплекс.

**2. Магматиты белокурухинского комплекса, относимые к шошонитовому типу, сформировались из обогащённого мантийного источника в результате мантийно-корового взаимодействия в условиях высокой флюидонасыщенности.**

Становление габбро-гранитного белокурухинского комплекса происходило в позднепалеозойско-мезозойское время ( $P_2-T_1$ ) после завершения коллизии в процессе мантийно-корового взаимодействия в обстановке рифтогенеза, инициированного плюмтектоникой. Активность Сибирского суперплюма достигала максимума на рубеже  $\sim 250$  млн. лет назад (Добрецов, 2003). Для пород белокурухинского комплекса впервые установлена принадлежность к шошонитовому типу гранитоидов, формирование которых связывается с плюмтектоникой (Гусев, Гусев, Табакаева, 2008; Гусев, Гусев, 2009). Шошонитовые гранитоиды впервые выделены китайскими исследователями (Jiang et. al, 2002) и имеют содержание  $\text{SiO}_2$  от 52,77 до 71,85%, высокую сумму щелочей  $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$  (более  $> 8\%$ , в среднем 9,14%),  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  (более  $> 1$ , в среднем 1,50),  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$  (0,85-1,51, в среднем 1,01) и низкое содержание  $\text{TiO}_2$  (0,15-1,12%, в среднем 0,57%). Содержания  $\text{Al}_2\text{O}_3$  варьируют от 13,01 до 19,20% и весьма переменны. Гранитоиды обогащены LILE, LREE и летучими компонентами, такими как F, V и другие. Всем этим параметрам соответствуют породы белокурухинского комплекса. На диаграмме, позволяющей разделять типы гранитоидов по составу биотита (Гусев, 2003, 2005, 2007), все составы биотитов породных типов белокурухинского комплекса попадают в поле шошонитовых гранитов (рис. 2). Для них характерны высокие концентрации фтора относительно гидроксильной группы в составе биотитов, высокая общая железистость и относительно низкая глинозёмистость.

Формирование магматитов белокурухинского комплекса из обогащённого мантийного источника подтверждается изотопными составами стронция ( $\epsilon\text{Sr} = +12,83 \dots +31,3$ ) и неодима ( $\epsilon\text{Nd} = +1,96 \dots + 2,94$ ). Анализ изотопов стронция и неодима в породах Айского массива показывает, что все породы образуют единый ряд дифференциатов от монцогаббро до лейкогранитов и сиенитов. На диаграмме  $\epsilon\text{Sr}(t) - \epsilon\text{Nd}(t)$  соотношения указанных изотопов локализуются вблизи обогащённого мантийного источника типа EM II (рис. 3).

На формирование из обогащённого мантийного источника также указывает поведение редких элементов – повышенные содержания LILE, HFS элементов по сравнению с нижне- и верхнекоровыми образованиями и низкие величины отношений  $\text{Nb}/\text{Th}$ ,  $\text{Nb}/\text{U}$  во всех породах комплекса.

Кроме того, у петрологов не вызывает сомнения мантийная природа лампроитов и близких к ним в вещественном отношении лампрофиров (Duggen et al., 2005; Gao et

al., 2007). К лампроитам по редкоэлементному составу близки гранитоиды Тархатинского массива (Крупчатников, 2010), включение которых в состав Белокурихинского комплекса обосновано нами выше. Следует отметить, что большинство геологов сходится во мнении о комагматичности породных серий тархатинского и чуйского комплексов, основываясь на их пространственной сопряженности и вещественном сходстве. Этот же вывод подтверждают недавние исследования В.И. Крупчатникова, который впервые выделил в составе раннемезозойского чуйского лампрофирового комплекса псевдолейцит-флогопитовые лампроиты (Крупчатников, 2010).

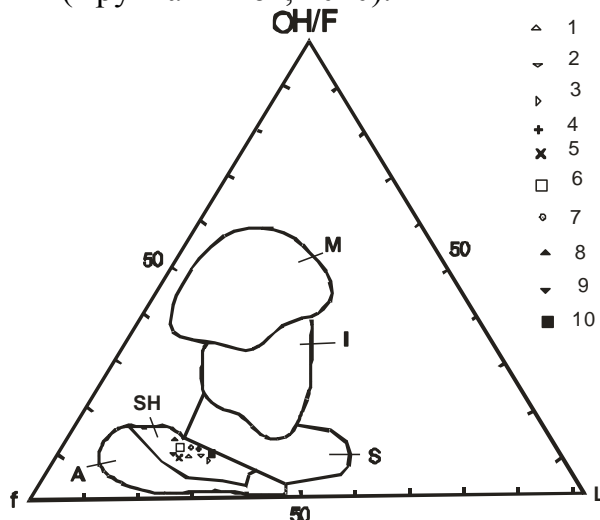


Рис. 2. Диаграмма f-L-OH/F в биотитах гранитоидов

Примечание. f – общая железистость биотитов ( $f = \text{Fe} + \text{Mn} / \text{Fe} + \text{Mn} + \text{Mg}$ ); L – глинозёмистость биотитов ( $L = \text{Al} / \text{Si} + \text{Al} + \text{Fe} + \text{Mg}$ ); OH/F – отношение гидроксильной группы к фтору в составе биотитов. Стандартные типы гранитоидов: M- мантийные COX, задуговых бассейнов (в составе офиолитовых комплексов); I- мантийно-коровые островных дуг, трансформных, активных континентальных окраин, коллизионных обстановок; S - коровые и мантийно-коровые коллизионных обстановок и комплексов метаморфических ядер; SH- шошонитовый тип гранитоидов постколлизионных обстановок; А- мантийно-коровые и мантийные анорогенных обстановок (внутриконтинентальных рифтов, горячих точек, мантийных плюмажей, активизации кратонных стадий древних платформ). Породные типы гранитоидов Белокурихинского комплекса: Айский массив: 1 - сиениты, 2 - граносиениты, 3 - граниты, 4 - лейкограниты; Белокурихинский массив: 5 - гранодиориты, 6 - граниты, 7 - лейкограниты; Теранджикский массив: 8- сиениты; Тархатинский массив: 9 - сиениты; Атуркольский массив: 10 - граниты.

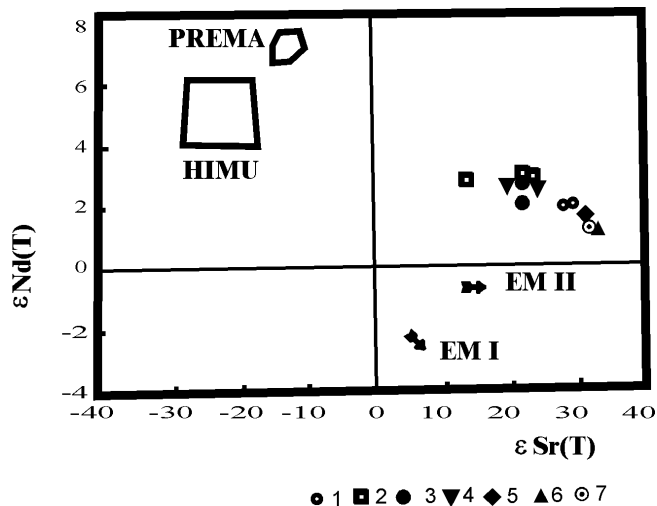


Рис. 3. Диаграмма  $\epsilon\text{Sr}(t) - \epsilon\text{Nd}(t)$  для пород Айского массива

Примечание. Типы мантии по Зиндлеру и Харту (Zindler, Hart, 1986): EM I и EM II – обогащённая мантия типов I и II; PREMA – примитивная мантия; HIMU – мантия с высоким изотопным уран-свинцовым отношением. Интрузивные породы Айского массива: 1 – сиениты; 2 – граносиениты; 3 – умеренно-щелочные граниты; 4 – лейкограниты 4 фазы с флюоритом; 5 – меланосиенит; 6 – монцогаббро; 7 – монцонит. Данные по сиенитам, граносиенитам, умеренно-щелочным гранитам, лейкогранитам заимствованы (Крук и др., 2003). Остальные анализы выполнены в лаборатории ИГЕМ РАН (г. Москва).

Мантийно-коровое взаимодействие выразилось в процессах смешения магм и контаминации. Свидетельством смешения магм являются образование гибридных пород (монцодиоритов, граносиенитов) и установленные нами каплевидные меланократовые включения в гранитах Айского ареала. Контаминация корового материала подтверждается значениями частных петрохимических индексов (повышенные значения коэффициента окисленности в породах Айского массива, понижение индекса сериальной щёлочности А. Ритмана в заключительных фазах белокурухинского эталона). На контаминацию континентально-коровым веществом указывает и направленность изотопного тренда от мантийной последовательности к источнику EM II в Sr-Nd изотопной системе.

Общая петрологическая модель белокурухинского комплекса с позиций комплексной модели магмогенерации выглядит следующим образом. Сходство трендов изменения петро-геохимических характеристик всего набора пород свидетельствует о формировании базитовых, габбро-монцонитоидных разностей в результате дифференциации единой щелочной мантийной базальтовой магмы в глубинном очаге. Гибридные сиенитовые и граносиенитовые петротипы образовались в результате смешения базитовых магм с выплавками пород нижней коры. Существование коровых расплавов подтверждается невысокими значениями первичных отношений изотопов Sr (0,7052-0,7068) в граносиенитах Айского массива и в гранитах главной фазы Белокурухинского массива ( $Sr^{87}/Sr^{86} = 0,70646 \pm 29$ ), а также положительными значениями величины  $\epsilon(Nd)_t$  (2,13-2,94), которые позволяют исключить участие зрелых коровых субстратов в магмогенерации и свидетельствуют о происхождении магм за счет плавления примитивных коровых субстратов, а модельный возраст протолита отвечает позднему рифею и соответствует линии эволюции коры аккреционно-островодужных комплексов Горного Алтая. Источником энергии для частичного плавления служил глубинный мантийный очаг. Массоперенос и привнос рудных компонентов в рудные тела из данного очага происходил при формировании заключительных фаз - лейкогранитов, для которых подтверждается астеносферный источник. Формирование лейкогранитов происходило в результате мантийно-корового взаимодействия по типу расплав-трансмагматические флюиды, обогащённые летучими компонентами, в особенности фтором, плюмовой природы. Фтор играет важнейшую роль в трансформации соотношений легких и тяжелых РЗЭ в расплавах. Для пород белокурухинского эталона действительно установлено преобладание лёгких РЗЭ над тяжёлыми. Трансмагматический характер флюидов подтверждается высокими содержаниями фтора в биотитах умеренно-щелочных лейкогранитов с флюоритом, достигающими 4 и более %, что свойственно открытым системам по фтору в ходе дифференциации магматического очага (Аксюк, 2002). Показателем высокой флюидонасыщенности при образовании лейкогранитов является W тип тетрадного эффекта фракционирования редкоземельных элементов (РЗЭ), установленный нами для пород белокурухинского эталона. Проявление тетрадного эффекта распределения РЗЭ

сопровождалось закономерным снижением концентраций европия (Irber, 1999) от 1,98 в габброидах до 0,13 в лейкогранитах с флюоритом.

**3. Петрологические критерии рудоносности интрузий белокурихинского комплекса определяются особенностями магматической дифференциации при мантийно-коровом взаимодействии и меняющихся параметрах флюидного режима (повышенной восстановленности флюидов при формировании лейкогранитов, повышенных концентрациях фтора, бора, углекислоты во флюидах).**

Редкометалльное оруденение имеет тесную пространственную и парагенетическую связь с заключительными фазами внедрения белокурихинского комплекса – лейкогранитами и лейкогранитами с флюоритом, а также пегматитами. Это обусловлено тем, что лейкограниты, как было показано выше, формировались в условиях высокой флюидонасыщенности в результате мантийно-корового взаимодействия по типу расплав-трансмагматические флюиды, обогащённые летучими компонентами, в особенности фтором, плумовой природы. Трансмагматический характер флюидов подтверждается инверсией и увеличением восстановленности флюидов в заключительных фазах при одновременном увеличении концентраций HF во флюидах (табл. 1). Проводниками глубинных флюидопотоков и заключительных фаз внедрения – лейкогранитов и лейкогранитов с флюоритом, которые образовали штоки и рои даек, локализующиеся в апикальных осложняющих поднятиях, служили глубинные региональные разломы, приуроченность к пересечению которых характерна для всех типов оруденения. Важным фактором для концентрации оруденения является наличие плотных экранов, перекрывающих трещинные зоны и фокусирующих флюидные потоки. Наиболее благоприятные условия создают рудовмещающие породы, представленных известняками, особенно органогенными, которые обладают как высокой химической активностью, так и повышенной пористостью и проницаемостью.

Таблица 1

Некоторые параметры флюидного режима гранитоидов и пегматитов Белокурихинского ареала

Породы	T°C	lg fO <sub>2</sub>	K <sub>вос</sub>	f	l	Al <sub>VI</sub>	M <sub>HF</sub>
Белокурихинский массив							
Гранодиориты	790	-1.0	0.03	55.3	30.2	0.04	0.0068
Граниты	760	-1.8	0.04	61.7	31.4	0.05	0.013
Лейкограниты	730	-2.0	0.07	60.0	19.0	#0.04	0.082
Пегматиты	540	-13.8	0.39	64.3	17.8	#0.23	0.521
Курановский шток							
Граниты	650	-4.5	0.04	66.0	25.0	0.39	0.061
Лейкограниты	640	-4.8	0.06	64.0	23.0	0.35	0.087
Черновской шток							
Лейкограниты	645	0.3	0.11	66.5	24	0.35	0.096
Осокинский шток							
Лейкограниты	660	0.5	0.03	65.0	24.0	0.34	0.014

Примечание. T°C – температура кристаллизации в градусах Цельсия; lg fO<sub>2</sub> – логарифм фугитивности кислорода; K<sub>вос</sub> – коэффициент восстановленности флюидов; f – железистость биотита; l – глинозёмистость биотита; Al<sub>VI</sub> – алюминий октаэдрической координации в структурной формуле биотита; символом # обозначен дефицит алюминия в октаэдрической

координации;  $M_{HF}$  – концентрации плавиковой кислоты во флюиде (моль/дм<sup>3</sup>) по (Аксюк, 2000).

Механизм рудообразования в условиях повышенной флюидонасыщенности заключается в следующем. Повышенные содержания фтора и бора во флюидах значительно понижают солидус гранитного расплава. Это подтверждают экспериментальные данные по изучению кислых расплавов (Коваленко и др., 1974), согласно которым гранитные магмы, насыщенные водой и фтором, не заканчивают кристаллизацию при температуре солидуса обычных гранитов, а продолжают свою эволюцию на 150-200°C ниже и становятся «низкотемпературными» расплавами, которые кристаллизуются при температуре  $575 \pm 25^\circ\text{C}$  (при давлении в 1000 атм). Наши данные по завершающим фазам лейкогранитов и лейкогранитов с флюоритом айского и белокурихинского ареалов близки к оговариваемым параметрам (табл. 1). Участие богатых фтором флюидов и летучих компонентов в системе расплав-флюид способствует более глубокой дифференциации магм, а, следовательно, и фракционированию летучими рудных компонентов (вольфрама, молибдена, бериллия, олова, тантала, ниобия, висмута, рубидия, лития и других) и переносу их к местам рудоотложения.

Условия накопления летучих компонентов и связанных с ними рудных и редких элементов в потенциально рудоносных магматических системах коррелируются с соотношениями в них летучих компонентов и их окислительно-восстановительными потенциалами. Показателем последних является фугитивность кислорода. Реставрация численных значений фугитивности кислорода в магматических расплавах изучаемого комплекса проведена на основе анализа содержаний кислорода в биотитах в позиции (ОН, F). Для олова и других редких элементов наиболее вероятной формой переноса являются комплексные соединения типа  $\text{Sn}(\text{OH},\text{F})^{2-}$ . В аналогичных формах переносятся тантал, ниобий и другие элементы. Следовательно, повышенные концентрации фтора в биотитах в позиции (ОН, F) должны рассматриваться как важный критерий оловоносности и редкометалльности интрузий. Такие условия и существуют для биотитов интрателлурической фазы.

Состав газовой-жидких включений в кварце различных месторождений белокурихинского комплекса характеризуется повышенными содержаниями углекислоты, что указывает на мантийную природу флюидов (Летников, 2001; Поцелуев, 2008). Состав рудообразующих флюидов Осиновского месторождения по содержанию углекислоты и другим параметрам близок продуктивному кварцу Калгутинского и Мульчихинского месторождений, которые близки Осиновскому месторождению по условиям образования.

***4. Геохимическими критериями рудоносности отдельных фаз белокурихинского комплекса служат повышенные содержания редких элементов (Ta, Nb, Li, Be) и W, Mo в биотитах, мусковитах, турмалинах гранитоидов, а также минералах и породах пегматитов и грейзенов.***

Минералого-геохимические критерии рудоносности проявляются в наличии минералов-концентраторов фтора, бора и редких элементов. Флюорит грейзеновое оруденение вольфрам-молибденовое оруденение Осокинского месторождения, парагенетически связанного с лейкогранитовым одноименным штоком в составе Белокурихинского плутона, в спектре элементов-примесей имеет высокие концентрации бериллия, марганца, меди, галлия, рубидия, циркония, ниобия, цезия, гафния, тантала, вольфрама, отношения стронция к иттрию, тантала к ниобию, рубидия к стронцию (Кременецкий, Гусев, 2006). Состав биотита в породах

заключительных фаз – лейкогранитах и лейкогранитах с флюоритом отличается повышенными концентрациями фтора, что является показателем высокой флюидонасыщенности при их образовании. В пегматитах Белокурихинского плутона в слюдах, относящихся фенгиту и мусковиту, установлено повышенное содержание лития, бериллия, тантала, ниобия (Гусев, Гусев, Табакаева, 2008). Для калиевых полевых шпатов этих же пегматитов характерны высокие концентрации редких элементов: рубидия, цезия, лития (табл. 2).

Среди геохимических критериев рудоносности можно выделить следующие: 1. Во всех породных типах превышают кларки коэффициенты концентрации молибдена, лития, стронция, тория, гафния, урана, олова, вольфрама. При этом накопление молибдена и вольфрама происходит в значительных количествах в заключительных фазах. 2. От монцогаббро к лейкогранитам с флюоритом происходит заметное увеличение концентраций редкометалльного индекса. По величине последнего (6178,3) и петро-геохимическим параметрам умеренно-щелочные лейкограниты близки к плюмазитовым редкометалльным лейкогранитам (редкометалльный индекс 6800). Аналогичные параметры для лейкогранитов с флюоритом приближаются к литий-фтористым гранитам (Табакаева, 2010).

Таблица 2

Содержания щелочных и редких элементов в калишпатах пегматитов  
Белокурихинского плутона

Парагенетический тип	K	Na	Li	Rb	Cs	Ba	Sr	Pb	Sn	Tl	K/Rb	Rb/Cs	Ba/Rb
Мус-КПШ-альбит	12.1	1.3	75	3985	274	65	45	25	21	16	30.4	14.5	0.016
КПШ-альбит блоковый	11.8	1.4	41	2365	123	49	25	30	14	6	49.9	19.2	0.021
КПШ-альбит блоковый	11.9	1.3	40	2362	121	50	24	28	13	7	50.4	19.5	0.021

Примечание. K, Na – в %, остальные элементы в г/т. Анализы выполнены методом ICP-MS в лаборатории ВСЕГЕИ (г. Санкт-Петербург).

Комплекс прогнозно-поисковых критериев, разработанный на основе выявленных петролого-геохимических признаков редкометалльного оруденения магматических образований белокурихинского комплекса представлен в табл. 3.

В соответствии с выделенными петролого-геохимическими критериями рудоносности определены прогнозные площади различной перспективности и обоснована очередность проведения поисковых, оценочных и разведочных работ. К экономически эффективным прогнозным ресурсам для формирования резервных объектов минерального сырья (второй очереди) отнесены следующие территории - *Ново-Колыванское бериллий-вольфрамовое рудное поле* с неразведанными Новоколыванским месторождением и Западным рудопроявлением гидротермально-плутогенного генетического типа кварцево-жильной вольфрамовой формации и *Белореченское бериллий-вольфрамовое рудное поле* с месторождением Белоречский рудник. Приконтактная зона Тигирекского и Убино-Белореченского массивов белокурихинского комплекса благоприятна для скарнового, кварцево-жильного и грейзенового вольфрамового и редкометалльного рудообразования почти на всём



своём протяжении. Эти рудные поля отвечают главному структурному критерию – наличию регматической системы разломов, к которой относится Северо-Восточная зона смятия. В этой области широко развиты метасоматиты различного состава – от скарнов до аргиллизитов. Рудогенерирующий магматизм относится к белокурухинскому комплексу, характеризующемуся многофазным строением и обилием летучих компонентов, среди которых важнейшее значение имеют фтор, бор, фосфор и другие. В контакте с рудогенными интрузиями обильны известняки, как наиболее благоприятные литологические ловушки растворов, содержащих бериллий.

Таблица 3

Прогнозные критерии редкометалльного оруденения интрузий  
белокурухинского комплекса

Критерии	Описание
Геологические	1. Наличие штоков высокоэволюционированных лейкогранитов, с которыми парагенетически связано оруденение. 2. Наличие осложняющих выступов, апофиз лейкогранитов, благоприятных для подтока рудогенерирующих флюидов.
Петрологические	1. Малый эрозионный срез и гипабиссальные условия формирования интрузий. 2. Наличие участков с совмещенным разновозрастным оруденением. 3. Высокая концентрация F, B, углекислоты во флюидах, которые являются переносчиками и экстракторами редких металлов.
Геохимические	1. Повышенные коэффициенты концентрации бериллия, молибдена, лития, стронция, тория, гафния, урана, олова, вольфрама и накопление их в значительных количествах в породах заключительных фаз. 2. Высокие концентрации редких металлов в слюдах пегматитов и во флюорите. 3. Высокие отношения Ta/Nb во флюорите. 4. Низкие значения отношений Zr/Hf, K/Rb, Ba/Rb в породах заключительных фаз (лейкогранитах и лейкогранитах с флюоритом). 5. Высокие отношения Nb/V в породах заключительных фаз (лейкогранитах и лейкогранитах с флюоритом). 6. Высокий редкометалльный индекс в породах заключительных фаз (лейкогранитах и лейкогранитах с флюоритом).

К прогнозным ресурсам для перспективного планирования развития минерально-сырьевой базы (третьей очереди) отнесены *Искровско-Белокурухинская уран-редкометалльная рудная зона*, приуроченная к одноименной тектонической зоне и контролируемая одноимённым разломом субширотной ориентировки. В её пределах прогнозируется месторождение вольфрама жильного редкометалльно-пегматитового типа в сочетании с рудоносными грейзенами. *Щемиловское бериллий-молибден-вольфрамовое рудопроявление* вольфрам-молибденовой скарновой формации, расположенное в пределах субширотной рудной зоны и генетически и пространственно связанное с лейкогранитами белокурухинского комплекса. На площади *Щебетинского узла* в связи с высокими содержаниями шеелита в ореолах, развитых на значительных площадях, прогнозируются промышленные

месторождения вольфрама кварцево-жильного, штокверкового шеелитового и вольфрамитового типов.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Массивы белокурихинского комплекса монцонит-сиенит-гранит-лейкогранитового состава распространены в пределах Ануйско-Чуйской, Талицкой, Бийско-Катунской, структурно-формационных зон Горного Алтая, с которыми связано вольфрам-молибденовое скарновое, вольфрам-молибденовое грейзеновое и жильное оруденение, пегматитовое бериллиевое, тантал-ниобиевое, литиевое оруденение. Интрузивы белокурихинского комплекса встречаются также в Рудно-Алтайской структурно-формационной зоне (Тигирекский, Саввушинский и другие массивы) и в Салаире (интрузии ранее выделявшегося жерновского комплекса), где имеются проявления и аномалии олова, редких земель, тантала, ниобия. В позднепермско-раннетриасовый этап развития региона структурно-формационные зоны не выделяются и весь регион развивался под воздействием Сибирского суперплюма и на исследуемой территории возможно выделение единой Тигирекско-Белокурихинской металлогенической области с вольфрам-молибденовым и редкометалльным оруденением.

Формирование массивов белокурихинского комплекса ( $P_2-T_1$ ) происходило в результате мантийно-корового взаимодействия и разной степени контаминации корового материала в условиях рифтогенеза, инициированного плюмтектоникой. Становление интрузий изучаемого комплекса происходило в структурах межформационного несогласия. Благодаря контрастным физико-механическим свойствам пород нижнего рифей-венд-силур-ордовикского метаморфизованного и верхнего осадочного раннедевонского этажей создались благоприятные условия для подъёма магм по вертикальным глубинным разломам в фундаменте. В связи с тем, что интрузивы белокурихинского комплекса имеют поясовое расположение, вытягиваясь вдоль вмещающей шовной структуры перехода Бийско-Барнаульской впадины к горно-складчатому сооружению. Фактические данные по массивам белокурихинского эталона показывают, что они имеют различный эрозионный срез, увеличивающийся в направлении от Белокурихинского плутона к Теранджикскому и Тархатинскому массивам, и отличаются специфическими особенностями строения.

По данным изотопов Sr и Nd для пород белокурихинского комплекса источник родоначальной магмы однозначно определяется как обогащённый мантийный источник типа EM II. Сходные и закономерные изменения петро-геохимических характеристик всего набора пород и данные изотопов Sr и Nd свидетельствуют о едином источнике формирования базитовых, монцонитоидных, сиенитовых и гранитовых разностей, произошедших в результате дифференциации единой щелочной мантийной базальтовой магмы в глубинном очаге. Породы белокурихинского комплекса образовались в ходе 5 фаз внедрения в гомодромной последовательности от габброидов до лейкогранитов с флюоритом.

В связи с этим выделявшиеся ранее гранитоиды белокурихинского, айского, теранджикского, атуркольского, тархатинского, синюшинского, тигирекского, жерновского комплексов на территории Горного Алтая, Рудного Алтая и Салаира, являются разнофазовыми образованиями единого комплекса с различным уровнем эрозионного среза. Это также подтверждается совмещённостью их с ранними образованиями (габброидами, диоритами, гранодиоритами), близкими возрастными характеристиками, общностью химизма, отсутствием границы раздела по

геофизическим характеристикам между белокурихинским комплексом и различными массивами (Айским, Теранджикским и другими).

Впервые гранитоиды белокурихинского комплекса отнесены к гранитам шошонитового типа (SH-type), которым свойственна минерагеническая специфика с реализацией месторождений большого спектра металлов (W, Mo, Be, Ta, Nb, Li).

Установлено, что белокурихинская магмо-рудно-метасоматическая система отличается от аналогичных систем Горного Алтая своей открытостью в режиме по фтору. Высокая фтороносность магматогенных флюидов заключительных фаз в дайковых образованиях, штоках лейкогранитов, которая выявляется в белокурихинских дериватах, свойственна открытым системам по фтору в ходе дифференциации магматического очага. В ходе эволюции магматической системы его концентрации поддерживались потоком богатого фтором трансмагматического флюида, особенно при формировании лейкогранитов, для которых подтверждается астеносферный источник. Высокая фтороносность магматогенных флюидов определяла специфические особенности кристаллизационной и эманационной дифференциации, что было особенно важно для поздних фаз становления массивов и пегматитов, для которых выявляется фракционирование элементов (редких земель с проявлением тетрадного эффекта, рудных компонентов – вольфрама, молибдена, тантала, ниобия, бериллия, висмута, серебра и других). Эти особенности формирования массивов реализовались в формировании бериллоносных пегматитовых (Курановское), пегматитовых тантал-ниобиевых (проявление ручья Слепого, Даниловское), вольфрам-молибденовых скарновых (Щемиловское месторождение) и оловоносных скарновых месторождений (Западный и Восточный Карагу), жильных вольфрам-молибденовых (Батунковское, Дмитриевское, Осокинское, Верхне-Белокурихинское, Токаревское), жильных золото-сульфидно-кварцевых проявлений (Атбаша), вольфрам-золоторудных скарновых (Атуркольское, Саратанское), кварцево-грейзеновых вольфрам-молибденовых (Казандинское, Осиновское) месторождений и проявлений.

Выявленные закономерности образования и размещения оруденения интрузий белокурихинского комплекса позволили уточнить комплексные прогнозно-поисковые критерии оруденения. *Геологическими и петрологическими критериями* рудоносности для всех типов оруденения является приуроченность рудных узлов и полей к зонам пересечения глубинных региональных разломов, которые служили проводниками глубинных флюидопотоков и заключительных фаз внедрения – лейкогранитов и лейкогранитов с флюоритом, которые образовали штоки и рои даек, локализующиеся в апикальных осложняющих поднятиях. Редкометалльное оруденение имеет наиболее тесную пространственную и парагенетическую связь с заключительными фазами внедрения.

*Минералого-геохимическими критериями* рудоносности могут служить минералы-концентраторы фтора, бора и редких элементов (W, Mo, Be, Ta, Nb, Li, Sn), прежде всего флюорита, который довольно часто встречается на месторождениях разных типов белокурихинского комплекса. Кроме того, показателем высокой флюидонасыщенности при образовании пород являются повышенные концентрации фтора (более 4%) в биотите пород заключительных фаз – лейкогранитов и лейкогранитов с флюоритом. Из геохимических критериев особо стоит отметить заметное увеличение редкометалльного индекса от монцогаббро к лейкогранитам с флюоритом.

Таким образом, мантийно-коровое взаимодействие, ярко проявившееся на заключительных фазах внедрения при формировании лейкогранитов Белокурихинского комплекса в обстановке повышенной флюидонасыщенности при высоких содержаниях фтора, создало благоприятные условия для генерации не только вольфрам-молибденового, но и для редкометалльного и комплексного золото-редкометалльного оруденения. Благодаря наименьшему эрозионному срезу и близости к шовной зоне наибольшей продуктивностью обладает Белокурихинский редкометалльно-вольфрамовый рудный узел, основой которого являются Белокурихинский и Осокинский массивы, в частности Щемиловский участок с бериллий-молибден-вольфрамовым оруденением, приуроченный к кровле Осокинского гранитного массива, сложенной вулканогенно-осадочными и карбонатными образованиями девона и прорванной дайкообразными апофизами лейкогранитов с флюоритом.

## **СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

### **Монография**

1. Гусев А.И. Петрология и рудоносность белокурихинского комплекса Алтая: монография / А.И. Гусев, Н.И. Гусев, **Е.М. Табакаева**. – Бийск: БПГУ им. В.М. Шукшина, 2008. – 195 с.

### **Статьи в ведущих рецензируемых научных изданиях**

2. Гусев А.И. Геология, петрология и рудоносность Белокурихинского плутона Горного Алтая / А.И. Гусев, Е.А. Дзагоева, **Е.М. Табакаева** // Отечественная геология. – 2008. – № 4. – С. 25-33.

3. **Табакаева Е.М.** Рудоносность гранитоидов белокурихинского комплекса Алтая //Разведка и охрана недр. – 2010. – № 6. – С.16-21.

### **Материалы, опубликованные в трудах международных и всероссийских научных конференций**

4. **Табакаева Е.М.** Гора Церковка как петрографический памятник природы (Белокурихинский массив Горного Алтая) // Алтай: экология и природопользование: труды V российско-монгольской научной конференции молодых ученых и студентов (Бийск, 22 апреля 2006 г.) / Бийский пед. гос. ун-т им. В.М. Шукшина; отв. ред. В.М. Важов. – Бийск: БПГУ им. В.М. Шукшина, 2006. – С. 150-156.

5. **Табакаева Е.М.** Петрология гранитоидов горы Церковки (Белокурихинский массив Горного Алтая) // Проблемы геологии и освоения недр: материалы XI международного симпозиума им. акад. М.А.Усова (Томск, 9-14 апреля 2007 г.). – Томск, 2007. – С. 97-99.

6. **Табакаева Е.М.** Геохимия и экология горы Церковки // Алтай: экология и природопользование: труды VI российско-монгольской научной конференции молодых ученых и студентов (Бийск, 22 апреля 2007 г.) / Бийский пед. гос. ун-т им. В.М. Шукшина; отв. ред. В.М. Важов. – Бийск: БПГУ им. В.М. Шукшина, 2007. – С. 147-150.

7. **Табакаева Е.М.** Магматизм и оруденение Белокурихинского массива // Алтай: экология и природопользование: труды VII российско-монгольской научной конференции молодых ученых и студентов (Бийск, 22 апреля 2008 г.) / Бийский пед. гос. ун-т им. В.М. Шукшина; отв. ред. В.М. Важов. – Бийск: БПГУ им. В.М. Шукшина, 2008. – С. 207-211.

8. **Табакаева Е.М.** Петрология белокурихинского комплекса Алтая // Материалы I Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов,

посвящённой памяти академика А.П. Карпинского (Санкт-Петербург, 24-27 февраля 2009 г.). – СПб.: ВСЕГЕИ, 2009. – С. 300-303.

9. **Табакаева Е.М.** Петрология, флюидный режим и геохимические особенности белокурихинского комплекса // Петрология магматических и метаморфических комплексов. Вып.7. Материалы Всероссийской петрографической конференции (Томск, 25-28 ноября 2009 г.). – Томск: ЦНТИ, 2009. – С. 290-295.

10. **Табакаева Е.М.** Критерии рудоносности интрузий белокурихинского комплекса (Горный Алтай) // Современные проблемы геологии и разведки полезных ископаемых. Материалы международной конференции, посвященной 80-летию основания в Томском политехническом университете первой в азиатской части России кафедры «Разведочное дело» (Томск, 5-8 октября 2010 г.). – Томск, 2010. – С. 286-290.

11. **Табакаева Е.М.** Состав рудообразующих флюидов месторождений белокурихинского комплекса Алтая // Материалы II Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов памяти академика А.П. Карпинского (Санкт-Петербург, 8-11 февраля 2011 г.). – СПб.: ВСЕГЕИ, 2011. – С. 170-174.

#### Другие издания

12. Гусев Н.И. Тип высоко-Ва-Sr гранитоидов Горного Алтая и Салаира / Н.И. Гусев, А.И. Гусев, **Е.М. Табакаева** // Известия Бийского отделения Русского географического общества. Вып. 28. – Бийск: БПГУ им. В.М. Шукшина, 2007. – С. 10-14.

13. **Табакаева Е.М.** Пегматиты белокурихинского комплекса и их рудоносность // Известия Бийского отделения Русского географического общества. Вып.30. – Бийск: БПГУ им. В.М. Шукшина, 2009. – С. 69-72.

14. **Табакаева Е.М.** Флюидный режим гранитоидов белокурихинского комплекса Алтая // Современные проблемы науки и образования. – М.: РАЕ, 2009. – №3. – Ч. 2. – С. 15-16.

15. **Табакаева Е.М.** Петрологические и геохимические показатели редкометалльной рудоносности интрузий белокурихинского комплекса, Горный Алтай // Металлогения древних и современных океанов – 2010. Рудоносность рифтовых и островодужных структур. Материалы XVI научной молодёжной школы (Миасс, 18-23 апреля 2010 г.). – Миасс: ИМин УрО РАН, 2010. – С. 197-200.

16. **Табакаева Е.М.** Белокурихинский комплекс Алтая: состав и геодинамическая позиция // Природные ресурсы Горного Алтая: геология, геофизика, гидрогеология, геоэкология, минеральные и водные ресурсы. – Горно-Алтайск. – 2010. – №1. – С. 62-71.

17. **Tabakaeva E.M.** Fluid regime of granitoids of the belokurikhinsky complex (Altai Mountains) // European Journal of Natural History. – №5. – 2009. – P.100-101.