

Отзыв официального оппонента
на диссертацию *Красоткиной Анны Олеговны* «**Изотопно-геохимические особенности и возраст акцессорных минералов рудопроявления Ичетью и Пижемского месторождения (Средний Тиман)**», представленную на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.09 – Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых

Диссертация А.О. Красоткиной посвящена изучению акцессорных минералов двух перспективных рудных объектов Среднего Тимана, для которых остаются неясными многие генетические аспекты, а именно возраст оруденения, источник вещества, механизм транспортировки и накопления. Используемые диссертантом современные локальные методы исследования вещества позволили существенно обогатить имеющиеся данные по составу и возрасту акцессорной минерализации, а всесторонний анализ полученной информации с привлечением значительного количества литературных данных, выявить важные с генетической точки зрения изотопно-геохимические особенности оруденения.

Актуальность работы обусловлена высокими перспективами объектов на ценное сырье и, соответственно, необходимостью глубокого анализа всех аспектов их строения и состава для выявления источников рудного вещества, разработки модели генезиса и в конечном итоге уточнения поисковых критериев и оценки возможных перспектив территории на подобные рудные скопления. Фактическим материалом, предоставленным диссертанту исследователем этих объектов А.Б. Макеевым, послужила серия шлихов, полученных после промывки проб рыхлых и дробленых коренных пород в период поисковых работ на месторождениях. Всего проанализированы акцессорные минералы из 4 шлиховых концентратов и 24 шлиховых проб рудных объектов и проба детритовых цирконов из подстилающих пород. В работе использован широкий спектр современных локальных методов, включая растровую электронную микроскопию и микроанализ, ионный микрозонд (метод SIMS), лазерную абляцию (LA-ICP-MS), изотопную

N 234-10
от 20.09.2018

геохронологию (методы TIMS, SHRIMP-II, LA-ICP-MS), катодную люминесценцию, рамановскую спектроскопию и др. Исследования проведены в ведущих научных центрах, полученная аналитическая база содержит несколько сотен анализов минералов. Научная новизна и практическая значимость работы заключаются во впервые полученных минералогическим и геохимическим и геохронологическим данным по акцессорным минералам и их генетической интерпретации. Результаты исследований отражены в 19 публикациях, в т.ч. 5 статьях в журналах из перечня ВАК, и апробированы на нескольких российских и международных конференциях.

Диссертация состоит из введения, 4 глав и заключения, содержит 216 страниц, 85 рисунков, 26 таблиц, список литературы включает 181 источник.

Во *Введении* постулируется актуальность работы, ее цели и задачи, характеризуется фактический материал и методы исследования, приводятся защищаемые положения, обосновываются научная новизна и практическая значимость, содержатся данные по структуре и объему работы, ее апробации, выражаются благодарности коллегам. Замечание касается не совсем понятной методики пробоотбора: исходные породы описываются как рыхлые или сцементированные, соответственно возникает вопрос были ли они измельчены перед промывкой. Этот аспект важен для анализа выводов, построенных на анализе морфологии и степени износа изученных минералов.

Глава 1. *Геологические предпосылки постановки изотопно-геохимических работ* содержит 6 подглав, в которых последовательно обсуждаются геологическое строение района, изученность, проблемы стратиграфии девонских толщ, геологическое строение Пижемского месторождения и проявления Ичетью и характеристика мест опробования. Глава составлена на основе литературных данных и материалов полевого изучения А.Б. Макеева. В целом глава написана достаточно обстоятельно и дает представление о строении объектов и конкретных участков опробования, однако имеется и ряд замечаний:

1. Приведена устаревшая обзорная геологическая карта района (рис. 1.3, 1961 г.), на которой отсутствует свитное деление, что не позволяет «привязать» к ней карты более крупных масштабов, а также не включен район распространения позднерифейских четласских щелочно-ультраосновных интрузивов и сопряженных с ними полей щелочных метасоматитов с серией редкометалльно-редкоземельных месторождений, что не удобно в контексте обсуждения их как возможного источника вещества исследуемых объектов. На данную территорию подготовлена современная карта масштаба 1:1 000 000 (лист Q-39 (2015)).

2. Рис. 1.4 (Геологическая карта района Пижемского месторождения) не соответствует указанному масштабу и абсолютно не читается.

3. Малоручейская свита, вмещающая рудные Ti-пласты Пижемского проявления, принимается автором с возрастом PR₂ (стр. 16), однако здесь же и далее многократно по тексту описывается ее залегание со стратиграфическим несогласием на верхнепротерозойских (рифейских) глинистых сланцах лунвожской свиты с их обломками в базальном горизонте. Это же показано на рис. 1.5, где автором внесена правка, касающаяся возраста исследуемых пород. Но как возможно залегание более древних толщ на более молодых, да еще и с признаками размыва в основании? Из материалов главы не понятно на чем основано принятие автором среднепротерозойского возраста малоручейской свиты.

4. В главе не приведена большая часть фактов о геологическом строении Пижемского месторождения и пласта Ичетью, которые используются как аргументы при рассмотрении флюидизатной модели генезиса рудоносных толщ (глава 4).

Глава 2. *Методы исследования* содержит подробное описание приборной базы, способов пробоподготовки и аналитических процедур для всех использованных в работе методов исследования. Замечаний нет.

Глава 3. *Изотопно-геохимическое исследование акцессорных минералов проявления Ичетью и Пижемского месторождения*

представлена в трех подглавах (циркон, рутил, монацит), в которых последовательно разбираются общие вопросы геохимии указанных минералов, описывается изученный материал и приводятся результаты исследований, их анализ и интерпретация. На материалах этой главы базируется аргументация защищаемых положений. В целом глава оставляет очень благоприятное впечатление. Она написана хорошим грамотным языком, логично построена, содержит тщательно выстроенное последовательное изложение результатов с приведением (в приложениях) всего объема аналитического материала, подробное обсуждение полученных данных с использованием большого числа литературных источников, хорошо иллюстрирована разнообразными графиками, отражающими полученные результаты, и диаграммами, используемыми для генетической интерпретации установленных особенностей состава минералов.

В разделах, посвященных исследованию циркона и монацита, аргументация сложившихся у автора выводов практически не вызывает вопросов и замечаний, за исключением того, что по мнению оппонента, диссертант необоснованно переносит выводы об условиях формирования и преобразования изученных минералов на генезис рудного скопления, поскольку убедительной аргументации аутигенного их происхождения или преобразования *in situ* не приводится. Более подробно это замечание рассмотрим ниже. Общая рекомендация касается представления результатов факторного анализа, а именно отображать в формульном виде структуру факторов (факторные нагрузки) и приводить корреляционные матрицы.

Замечания к разделу, посвященному изотопно-геохимическому исследованию *рутила* проявления Ичетью, носят принципиальный характер. Во втором защищаемом положении утверждается, что установлено «...замещение высокониибиевого рутила ниобиевым и умеренно ниобиевым, вплоть до образования чистого рутила...». Аргументация этого тезиса не совсем понятна. Согласно приводимым анализам (табл. 3.2.1), исследовался рутил из 6 проб, при этом высокониибиевые разности установлены в зернах

рутила только двух проб (SM215 и PM201), анализы «чистого» рутила в этих пробах единичны. В этих же пробах закономерно фиксируются другие ниобиевые фазы (колумбит, пирохлор). Умеренно ниобиевый рутил кроме указанных проб отмечен еще только в одном анализе из пробы PM202 (5,1% Nb_2O_5). Большинство же проб содержит умеренно ниобиевый (до 3,7% Nb_2O_5) и чистый рутил. Откуда представление о постепенном замещении? На приводимых BSE-фото (рис. 3.2.3-3.2.5) только одно зерно (SM215/6) демонстрирует описываемые взаимоотношения (развитие «чистого» рутила по трещинке в высокониобиевом), тогда как остальные показывают не закономерные «срастания» или даже отражают обратный процесс (например SM215/9) или ростовую зональность (PM201/2 и SM215/5). Полученные датировки показывают более древний возраст (около 1980 млн. лет) высокониобиевого рутила пробы SM215, остальные продатированные рутилы относятся к популяции умеренно ниобиевых и чистых рутилов и имеют разброс значений от близких к 1800-1850 млн. лет до около 580 млн. лет. Кроме этих данных, диссертантом проанализировано поведение других примесных элементов, установлены корреляционные связи, в частности обогащение высокониобиевых разностей, по сравнению с чистым рутилом, элементной ассоциацией Ag, Fe, Th, Mn. На основании перечисленных аргументов, автор делает вывод: «Гидротермальная переработка высокониобиевого рутила ... приводит к существенному выносу Nb вплоть до ... значений, не превышающих 1 мас.% [оксида]» (стр. 104). На взгляд оппонента, рассмотренные особенности не подтверждают ни наличие процесса гидротермального преобразования рутила (по всей выборке), ни его химической направленности. Более логично объяснение, что разные по составу зерна рутила имеют различные по возрасту и составу коренные источники. Также не правомочен вывод по данному разделу, что коренным источником титановых минералов в проявлении Ичетью были титаносные песчаники малоручейской свиты Пижемского месторождения (стр. 104), основанный на сходстве ассоциаций титановых минералов в этих объектах

(ильменит, Fe-рутил, псевдорутил, лейкоксен). Во-первых, это исключительно типичная ассоциация Ti-содержащих россыпей, а во-вторых, идентичность минерального состава акцессорных фаз может интерпретироваться и как единый коренной источник указанных объектов. Отметим также, что несколькими страницами ранее на основании низкого содержания Ta в рутиле Ичетью, автор исключает из рассмотрения возможных коренных источников рутила гранитоиды и постулирует (без каких-либо аргументов), что «Наиболее вероятный источник поступления рутила в проявление Ичетью – лампрофиры Четласского Камня» (стр. 89).

Замечание к разделу *Монацит* касается не корректного использования автором термина «аутигенный». Общепринятое его значение «образованный на месте обнаружения». Автор же вероятно использует его как синоним терминам гидротермальный или гидротермально-преобразованный. Во всяком случае, при таком «прочтении» авторского значения, снимается путаница и противоречия, которыми грешат генетические рассуждения автора здесь и в других разделах работы. Иллюстрацией этого является обсуждение генетических аспектов монацита, приводимое на стр. 120-121, вывод из которого звучит: «...анализ данных монацита из типичных россыпей свидетельствует о невозможности формирования скоплений монацита в проявлении Ичетью как перемещенной россыпи, а предполагает его аутигенный генезис». Но здесь же и в третьем защищаемом положении обоснованы установленные автором значения этапа кристаллизации монацита порядка 1000-1100 млн. лет и его перекристаллизации в период 600-700 млн. лет, что близко и к установленному по другим минералам возрасту этапа гидротермального преобразования. Т.е. основным генетическим выводом работы является установление процесса гидротермального преобразования изученных минералов в позднем рифее. В то же время возраст залежи Ичетью автором принимается в диапазоне позднего девона, т.е. около 370-350 млн. лет (глава 4). Соответственно образование и преобразование минералов происходило до их консолидации в рудоносном пласте. Почему тогда

повсеместно утверждается об аутигенном образовании или преобразовании *in situ* акцессорных минералов залежи?

Глава 4. *Обзор гипотез о происхождении проявления Ичетью и Пижемского месторождения* содержит две подглавы: собственно *Обзор существующих концепций генезиса проявления Ичетью и Пижемского месторождения* и *Изотопно-геохимическая характеристика циркона из подстилающих глинистых сланцев лунвожской свиты*. Последняя на взгляд оппонента была бы более уместна в разделе, посвященном исследованию циркона главы 3. В ней приводятся результаты датирования и геохимического изучения детритных цирконов из верхнерифейских глинистых сланцев, подстилающих изученные рудоносные толщи, проводится сопоставление полученных характеристик с таковыми для цирконов Пижемского месторождения, проявления Ичетью и лампрофиров Четласского Камня. На основании анализа этого материала подтверждается высказанное ранее А.Б. Макеевым предположение о вероятном лампрофировом источнике части рудного вещества изученных объектов. На материалах этой подглавы основана часть первого защищаемого положения. В целом подглава не вызывает замечаний за исключением ряда моментов, в которых автор пытается разъяснить механизмы формирования рудных скоплений вертикальной поставкой вещества. Однако эти рассуждения не базируются на данных диссертанта и не влияют на вывод, сформулированный в защищаемом положении. Также имеется возражение против категоричных заявлений автора «в сланцах отсутствуют..» в отношении геохимических и возрастных типов изученного циркона, из следовало бы заменить на более корректное «не установлены».

В *Обзоре существующих концепций генезиса* последовательно излагаются постулаты схемы кор выветривания, палеороссыпной и гидротермальной (точнее флюидизатной) моделей образования рудных объектов, из которых диссертант принимает наиболее спорную и противоречивую на взгляд оппонента флюидизатную (туффизитовую) модель.

Критике этой гипотезы можно было бы посвятить отдельный многостраничный труд, но остановимся лишь на замечаниях к авторским дополнениям данной модели.

1. Первое замечание можно проиллюстрировать выводом со стр. 135 «Результаты определения возраста циркона из глинистых сланцев [риффея] с широкими вариациями значений от позднего протерозоя до раннего архея при отсутствии фанерозойских значений свидетельствуют в пользу вертикального восходящего движения материала при формировании пласта Ичетью» (пункт 7 из перечня аргументов в пользу «внедренной» природы пласта Ичетью). Диссертант здесь и в других генетических рассуждениях упорно настаивает на том, что материал из более древних (глубоко залегающих в районе месторождения) пород мог поступать в область рудонакопления только посредством вертикального подъема, как будто материнские породы не могли быть выведены на девонскую (не современную!) поверхность за счет тектоники и, соответственно, разрушаясь в период перерыва осадконакопления (V-D), поставлять дезинтегрированный материал латеральным путем.

2. Второе замечание касается многократно повторяющихся неверных тезисов типа «Возраст Пижемского месторождения, как было показано нашими изотопными исследованиями, значительно древнее – рифейский (около 600 млн. лет)» (стр. 136). Еще раз отметим, что в диссертации обосновывается возраст кристаллизации или перекристаллизации ряда минералов, а не месторождения, при этом аутигенное их образование или преобразование *in situ* по сути даже не рассматривается, да и не предполагается, т.к. по принятой автором генетической схеме рудный материал был извлечен из подстилающих пород на пути движения флюидизатного потока. Так что возраст месторождений может быть оценен только геологическими критериями, или какими-то другими способами, известными авторам данной концепции.

3. Как аргумент против россыпной гипотезы выдвигается факт наличия лейкоксена (хрупкого минерала) и игольчатых форм «новообразованного» рутила проявления Ичетью (стр. 132-133). Но лейкоксен является типичным минералом Ti и Ti-Zr россыпей, где образуется, в том числе *in situ*, за счет разрушения титановых фаз. Что же касается игольчатых форм, они могли поступить в пласт конгломератов в составе гальки, соответственно не претерпеть механического воздействия при переносе, а впоследствии обломок породы мог быть разрушен на месте, в ходе экзогенных или наложенных эндогенных воздействий, либо при дроблении пробы. Собственно поддерживаемая диссертантом флюидизатная модель так же не предполагает сохранения хрупких форм при становлении залежи.

В *Заключении* кратко сформулированы основные результаты исследования. Кроме уже высказанных замечаний к ряду выводов диссертанта, нареканий к разделу нет.

Резюмируя вышесказанное, следует отметить, что представленная диссертационная работа является результатом всестороннего и весьма глубокого минералого-геохимического исследования. Получен новый высококачественный фактический материал по составу и возрасту акцессорных минералов, сам по себе являющийся значительным вкладом в фундаментальные вопросы минералогии и геохимии этих фаз, заключающимся в выявлении особых геохимических разновидностей, нетипичных изоморфных схем, редких включений и новообразований в исследованных минералах, особенностей поведения в них U-Pb и U-Th изотопных систем. Выявленные типоморфные особенности акцессорной минерализации позволили автору обосновать единый источник вещества двух исследованных рудных объектов. Важнейшим генетическим выводом исследования является установление общего для всех минералов этапа гидротермального преобразования с возрастом около 580 млн. лет, близким к возрасту акцессорной минерализации Новобобровского редкометалльно-Th-REE-месторождения и синхронным с периодом становления четласских

щелочно-ультраосновных интрузивов – возможных источников рудного вещества изученных объектов. Несмотря на имеющиеся у оппонента возражения к принятому механизму формирования залежей, данный вывод представляется крайне важным для воссоздания генезиса месторождений. Защищаемые положения в целом хорошо обоснованы, кроме первой части второго защищаемого положения, которая, на взгляд оппонента, требует дополнительной аргументации. Текст автореферата соответствует основному содержанию диссертации.

Работа Красоткиной Анны Олеговны «Изотопно-геохимические особенности и возраст акцессорных минералов рудопроявления Ичетью и Пижемского месторождения (Средний Тиман)», представленная на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.09 – Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых, соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения искомой степени.

Ведущий научный сотрудник отдела региональной геологии и полезных ископаемых Урала и Западной Сибири Федерального государственного бюджетного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский геологический институт имени А.П. Карпинского», кандидат геолого-минералогических наук по специальностям 25.00.05 – Минералогия, кристаллография; 25.00.11 – Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения

199106, г. Санкт-Петербург, Средний пр., 74
тел.: (812) 328-92-70, +7 (911) 730-41-89
e-mail: Elena_Starikova@vsegei.ru



Старикова Елена Вячеславовна

