

На правах рукописи

**Латышев Антон Валерьевич**

**«Палеомагнетизм траппов Сибирской платформы: оценка длительности и интенсивности магматизма на примере Норильского района и Ангаро-Тасеевской впадины».**

Специальность 25.00.01 – общая и региональная геология

**Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук**

Москва, 2013

Работа выполнена на кафедре региональной геологии и истории Земли геологического факультета Московского Государственного Университета имени М.В. Ломоносова и в лаборатории Главного геомагнитного поля и петромагнетизма Института физики Земли имени О.Ю. Шмидта РАН.

**Научные руководители:**

доктор геол.-мин. наук Александр Вениаминович Тевелев, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова;

кандидат физ.-мат. наук. Владимир Эммануилович Павлов, институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН

**Официальные оппоненты:**

доктор геол.-мин. наук Михаил Львович Баженов (Геологический институт РАН);

доктор геол.-мин. наук Петр Андреевич Чехович (Музей Землеведения МГУ).

**Ведущая организация:**

Всероссийский нефтяной научно-исследовательский геолого-разведочный институт (г. Санкт-Петербург)

Защита состоится: 29 ноября 2013 г. в 14:30 на заседании диссертационного совета Д.501.001.39 при Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова по адресу: 119234, Москва, Ленинские горы, МГУ, геологический факультет, ауд. 415.

С диссертацией можно ознакомиться в читальном зале Научной библиотеки Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, в Отделе диссертаций Фундаментальной библиотеки по адресу: Ломоносовский проспект, 27.

Автореферат разослан 28 октября 2013 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета

доктор геол.–мин. наук, профессор



А.Г. Рябухин

## Введение

**Актуальность исследований.** Сибирская трапповая провинция считается крупнейшей областью проявления внутриплитного базальтового магматизма в фанерозе. Объем продуктов вулканической активности по современным оценкам составляет 2-5 млн. км<sup>3</sup> (Васильев и др., 2000; Fedorenko et al., 1996). Длительность основной фазы траппового магматизма согласно изотопным датировкам не превышала 1-2 млн. лет (Kamo et al., 2003; Renne, Basu, 1991).

В настоящий момент интерес к Сибирским траппам связан как с проблемой механизмов формирования крупных магматических провинций (LIP), так и с происхождением медно-никелевых и платиновых месторождений, приуроченных к расслоенным интрузивам трапповой формации (Норильский район). Для понимания роли первичного магматического расплава в формировании руд особое значение имеет проблема соотношения интрузивов с эффузивной трапповой толщей. Несмотря на наличие схемы интрузивных образований, возраст, последовательность внедрения интрузивов и их взаимоотношения с туфо-лавовой толщей остаются дискуссионными.

Для континентальных вулканических провинций особенно актуальна проблема корреляции разрезов. Стратиграфические, палеонтологические и геохимические методы не обеспечивают надежного сопоставления разных районов Сибирской трапповой провинции. Если учитывать длительность основной фазы магматизма на Сибирской платформе (1-2 млн. лет), изотопные методы также не достигают необходимой для детальной корреляции точности. Для траппов Норильского района ситуация усугубляется тем, что единственная уран-свинцовая датировка (Kamo et al., 1996) получена по интрузиву Норильск-1, корреляция которого с туфо-лавовой толщей является дискуссионной. В связи с этим представляется перспективным использование палеомагнитного метода в комплексе со всеми вышеперечисленными для сопоставления разных районов Сибирской трапповой провинции и корреляции эффузивных и интрузивных продуктов магматизма.

В настоящее время интерес к Сибирским траппам связан с выявлением возможной причинно-следственной связи между извержением огромных объемов вулканического материала и катастрофическим массовым вымиранием видов на границе перми и триаса (Courtillot, Olson, 2007). Если принять во внимание вышеуказанные оценки объема продуктов вулканизма и длительности вулканической активности, то в случае равномерного формирования траппов средняя скорость извержений не превышала 5 км<sup>3</sup> в год. Эта величина сопоставима с объемами базальтов, формирующихся в настоящее время ежегодно в срединно-океанических хребтах (Davies, 1999) и, очевидно, является недостаточной, чтобы вызвать биосферную катастрофу. Однако в последнее время на примере Деканских траппов было показано, что трапповый вулканизм мог протекать в виде коротких интенсивных вспышек, разделенных более длительными периодами покоя (Chenet et al., 2008). В случае кратковременных интенсивных пульсов магматизма катастрофические последствия для окружающей среды являются более вероятными. Поэтому вопрос, происходило ли формирование Сибирских траппов равномерно или в виде коротких мощных пульсов вулканической ак-

тивности представляется критическим для установления возможности их связи с пермо-триасовой биосферной катастрофой.

При выделении пульсов вулканической активности в этой работе использовался палеомагнитный метод, который позволяет рассматривать вулканогенные разрезы в более детальном временном масштабе, чем обеспечивают изотопно-геохронологические методы.

До последнего момента надежные и детальные палеомагнитные данные были получены только по Норильскому району (Lind et al., 1994; Heunemann et al., 2004; Gurevitch et al., 2004). В результате этих исследований были составлены магнитостратиграфические схемы туфо-лавовой толщи, а также выделены интервалы разреза, соответствующие инверсионному и экскурсионному состоянию геомагнитного поля (Heunemann et al., 2004; Gurevitch et al., 2004). Однако использование ограниченной магнитной чистки (Lind et al., 1994) и расхождения в магнитостратиграфических схемах разных авторов требуют дополнительных палеомагнитных исследований на других разрезах Норильского района и убедительных доказательств первичности намагниченности.

Нужно отметить, что возможное подтверждение существования инверсионного и экскурсионного интервалов в разрезе траппов Норильского района предоставляет существенные временные ограничения на формирование соответствующей части разреза, поскольку длительность инверсии геомагнитного поля вместе со следующим за ней экскурсом оценивается в 1-10 тыс. лет (Valet et al., 2012; Merrill et al., 1998).

**Цели и задачи исследований.** Основные цели работы – это получение временных ограничений на длительность траппового магматизма на Сибирской платформе и установление характера (равномерного или пульсового) магматической активности. Для этого были решены следующие задачи:

1. Выделение пульсов вулканической активности в разрезе туфо-лавовой толщи Норильского района.
2. Подтверждение записи инверсии геомагнитного поля в траппах Норильского района.
3. Оценка интенсивности траппового магматизма в Ангаро-Тасеевской впадине.
4. Корреляция траппов Ангаро-Тасеевской впадины с лавовыми разрезами Норильского и Маймеча-Котуйского районов.
5. Возрастная корреляция интрузивов норильского типа с эффузивным трапповым разрезом Норильского региона.
6. Обоснование первичности остаточной намагниченности в траппах Норильского и Маймеча-Котуйского районов.

**Научная новизна.** Получены детальные палеомагнитные данные по траппам Норильского района и Ангаро-Тасеевской впадины. Впервые установлен пульсационный характер трапповой вулканической активности в Норильском районе и получены временные ограничения на формирование разреза вулканитов.

В Ангаро-Тасеевской впадине выделены три кратких интенсивных магматических события, имевших место на фоне длительной вялотекущей магматической ак-

тивности. Предложены варианты корреляции крупных долеритовых силлов Ангаро-Тасеевской впадины с эффузивными разрезами траппов. Получены надежные обоснования первичности остаточной намагниченности в вулканогенных свитах Норильского и Маймеча-Котуйского районов.

### **Защищаемые положения**

1. Формирование туфо-лавовой толщи Норильского района происходило в виде чередования кратких интенсивных вспышек вулканической активности (вулканических пульсов) и более длительных периодов покоя. Длительность активного вулканизма в Норильском районе не превышала 11 тысяч лет без учета периодов покоя.

2. На примере нескольких пространственно удаленных разрезов показано, что разрезе траппов Норильского района присутствует запись инверсии геомагнитного поля и последующего экскурса. Согласно современным оценкам длительности инверсий, до одной трети разреза туфо-лавовой толщи сформировалась не более чем за 10 тысяч лет.

3. В истории траппового магматизма в Ангаро-Тасеевской впадине имели место три кратких и очень интенсивных магматических события, выраженные в формировании трех мощных долеритовых силлов и извержении комагматичных им туфов. Длительность каждого события не превышала 10-100 тыс. лет.

4. Совокупность палеомагнитных и геохронологических данных указывает на синхронность формирования крупного Толстомысовского силла и капаевской свиты, их раннетриасовый возраст и наиболее вероятную корреляцию с моронговско-мокулаевским уровнем в Норильском районе, а также арыджангской свитой в Маймеча-Котуйском районе. Таким образом, наиболее мощный пик магматической активности в Ангаро-Тасеевской впадине происходил одновременно с основной фазой вулканизма на севере Сибирской платформы. С этим же уровнем может быть сопоставлено время формирования интрузивов Норильского типа. Это позволяет считать U-Pb датировку  $251,2 \pm 0,3$  млн. лет (Kamo et al., 1996), полученную по интрузиву Норильск-1, соответствующей моронговско-мокулаевскому уровню.

**Практическая и теоретическая значимость.** Полученные данные подтверждают эффективность палеомагнитного метода при оценке длительности и интенсивности трапповых провинций, а также для внутрирегиональных и межрегиональных корреляций в континентальных трапповых провинциях. На примере Ангаро-Тасеевской впадины и Норильского района показано, что формирование траппов Сибирской платформы происходило в виде чередования кратких интенсивных вспышек магматической активности с более длительными периодами покоя. Корреляция интрузивов норильского типа с туфо-лавовой толщей позволяет привязать к эффузивному разрезу уран-свинцовую датировку (Kamo et al., 1996), а также имеет большое значение для понимания природы рудоносных тел, связанных с интрузивами норильского типа.

**Фактический материал.** Материал для данной работы был отобран в ходе полевых сезонов 2008-2012 годов в составе полевых отрядов ИФЗ РАН под руководством В.Э. Павлова и ГЕОХИ РАН под руководством Н.А. Криволуцкой. Было про-

ведено детальное палеомагнитное опробование вулканогенных разрезов р. Котуй и Маймеча (Маймеча-Котуйский район), разрезов Сундук, Ергалах, Мокулай и Талнах, а также интрузива Норильск-2 (Норильский район), туфов капаевской свиты, Толстомысовского, Тулунского и Падунского силлов, а также мелких интрузивных тел в среднем течении р. Ангары. Проведено петрографическое описание вулканитов Маймеча-Котуйского района, магнитоминералогические исследования вулканитов Маймеча-Котуйского и Норильского районов, палеомагнитные исследования лав, туфов и интрузивов Норильского района и Ангаро-Тасеевской впадины. Число образцов, подвергшихся палеомагнитным исследованиям, превысило 1350. Также при анализе палеомагнитных данных использовались результаты исследований (Heunemann et al., 2004; Gurevitch et al., 2004) разрезов Листвянка–Икон–Абагалах (Норильский район).

**Апробация работы.** Основные результаты работы были представлены на международной конференции IUGG 2011 General Assembly (Мельбурн, 2011), IV Всероссийской молодежной конференции "Минералы: строение, свойства, методы исследования" (Екатеринбург, 2012), международной школе-конференции «2-е Гординские чтения» (Москва, 2012), конференциях молодых учёных и аспирантов ИФЗ РАН (Москва, 2012 и 2013), конференции «Современное состояние наук о Земле» (Москва, 2011), семинаре «Палеомагнетизм и магнетизм горных пород» (Борок, 2011).

**Публикации.** По теме диссертации автором лично и в соавторстве опубликованы 27 печатных работ, в том числе 5 статей в реферируемых журналах, рекомендованных ВАК, и 22 тезиса докладов и материалов российских и международных конференций.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит введения, 7 глав и заключения. Объем работы составляет 105 страниц машинописного текста, она включает 32 рисунка и 5 таблиц. В библиографическом списке 121 работа.

**Благодарности.** Работа выполнена в лаборатории Главного геомагнитного поля и петромагнетизма ИФЗ РАН и на кафедре региональной геологии и истории Земли геологического факультета МГУ. Автор искренне благодарит В.Э. Павлова, под чьим руководством была выполнена данная работа, за возможность заниматься интересными научными проблемами и всестороннюю помощь и Ал.В. Тевелева, осуществлявшего руководство работой на геологическом факультете, за постоянное внимание и поддержку. Отдельную благодарность автор выражает Р.В. Веселовскому и А.М. Фетисовой за плодотворную совместную деятельность, Д.И. Панову за постоянный интерес к моей работе и ценные советы, Н.В. Лубниной за подробные комментарии, которые позволили существенно улучшить работу, А.М. Никишину за предоставленную возможность работать на кафедре региональной геологии и истории Земли и всем, кто оказывал мне помощь в написании диссертации и участвовал в работе: В.А. Цельмовичу, Г.П. Маркову, Н.А. Криволицкой, Г.В. Жидкову, А.В. Иванову, В.В. Щербаковой, П.Ю. Плечову, В.А. Радько. Автор признателен коллегам из ИФЗ РАН и МГУ за сотрудничество, консультации и поддержку.

## **Глава 1. Геологическая изученность Сибирской трапповой провинции**

В главе кратко рассмотрена история исследования траппов Сибирской плат-

формы и современное состояние изученности.

## Глава 2. Методика исследований

**Палеомагнитный метод.** Детальному палеомагнитному опробованию подверглись вулканогенные разрезы Норильского и Маймеча-Котуйского районов, а также туфы капаевской свиты в Ангаро-Тасеевской впадине, Толстомысовский, Тулунский, Падунский силлы и мелкие интрузивные тела Ангаро-Тасеевской впадины и интрузив Норильск-2 (Норильский район). В непрерывных лавовых разрезах из каждого лавового потока отбиралось 5–20 образцов, ориентированных с помощью горного компаса с контролем возможного влияния сильномагнитных пород на магнитную стрелку компаса. В Ангаро-Тасеевской впадине из-за отсутствия непрерывного вулканогенного разреза образцы отбирались в отдельных сайтах (всего более 60 сайтов). Лабораторные палеомагнитные исследования проводились в Петромагнитной лаборатории геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, и в лаборатории Главного геомагнитного поля и петромагнетизма ИФЗ РАН в соответствии со стандартной методикой (Zijderveld, 1967; Храмов и др., 1982; Шипунов, 1999). Все образцы были подвергнуты детальной температурной магнитной чистке, которая в большинстве случаев выполнялась до 580-640°C. Число шагов чистки составляло 12-18. Для размагничивания образцов использовались немагнитные печи с величиной некомпенсированного поля не более 5-10 нТ. Измерения остаточной намагниченности образцов производились на спин-магнитометрах JR-6 (AGICO). Обработка измерений остаточной намагниченности выполнялась при помощи пакета программ Энкина (Enkin, 1994) и Remasoft (Chadima et al., 2006), использующих при выделении компонент намагниченности метод PCA (Kirschvink, 1980). Расчет параметров вековых вариаций производился с использованием пакета программ Токс (Tauxe, 2010). Распределение палеомагнитных направлений по дирекционным группам в Ангаро-Тасеевской впадине осуществлялось с использованием теста обращения по (McFadden, McElhinny, 1990). При вычислении угловых расстояний между палеомагнитными полюсами учитывались неопределенности по модели (DeBicche and Watson, 1995).

Методика выделения вулканических пульсов в Норильской туфо-лавовой толще аналогична представленной в работе (Chenet et al., 2008). Метод основан на современных оценках скорости вековых вариаций геомагнитного поля – 2° за 100 лет (Gallet et al., 2002) и точности палеомагнитных определений – 4-6°. Принимая во внимание эти оценки, лавовые потоки, сформировавшиеся в течение времени, не превышающего 300-400 лет, будут иметь статистически неразличимые направления. При выделении вулканических пульсов в первую очередь сравнивались палеомагнитные направления каждой последовательной пары потоков. Пары потоков со статистически неразличимыми направлениями объединялись в дирекционные группы. Затем средние направления полученных дирекционных групп сравнивались со смежными потоками. В том случае, если угловая разница между ними оказывалась статистически незначимой, поток включался в дирекционную группу. Затем процедура повторялась для следующего потока. В результате весь разрез оказывался представлен как после-

довательность дирекционных групп, соответствующих пульсам вулканической активности, и индивидуальных, не вошедших в дирекционные группы направлений, соответствующих единичным извержениям. Длительность единичного извержения согласно работе (Chenet et al., 2008) принималась не превышающей 100 лет, продолжительность вулканического пульса – не более 300-400 лет.

### **Глава 3. Геологическое строение Сибирской трапповой провинции**

Сибирская провинция считается крупнейшей континентальной платобазальтовой провинцией фанерозоя. Она включает траппы непосредственно на Сибирской платформе, в Таймырской складчатой области, в Печорском и Кузнецком бассейнах, Западно-Сибирскую, Южно-Карскую и Пясино-Хатангскую рифтовые системы, дайковые рои Казахстана, вулканы Вилуйского бассейна и Верхоянской складчатой системы (Никишин, 2002). Развитие вулканических провинций во всех этих регионах происходило в конце перми – начале триаса. На Сибирской платформе трапповая формация распространена главным образом в Тунгусской синеклизе. Центральная часть синеклизы сложена лавами, по периферии распространена туфогенная толща, сформировавшаяся в начальные стадии вулканической активности. Вокруг всей площади распространения продуктов вулканической активности расположены обширные поля выходов мощных долеритовых силлов.

На Сибирской платформе выделяются несколько районов трапповой провинции, отличающихся по составу вулкаников, их мощности и тектоническому строению территории: Норильский, Маймеч-Котуйский, Тунгусский, Путоранский. На юге Сибирской платформы, в Ангаро-Тасеевской впадине трапповая формация представлена долеритовыми силлами большой мощности и площади распространения. Суммарная мощность вулкаников достигает в Норильском и Маймеч-Котуйском районах 3,5 км. Современные изотопные датировки указывают, что длительность основной фазы вулканической активности не превышала 1-2 млн. лет (Kamo et al., 2003).

### **Глава 4. Геологическое строение и петрография щелочных пород Маймеч-Котуйского района**

Маймеч-Котуйский район расположен в северной части Сибирской платформы на границе с Енисей-Хатангской впадиной, к северо-востоку от Норильска и к северо-западу от Анабарского щита. Характерной особенностью Маймеч-Котуйского района является преобладание щелочных пород над толеитовыми базальтами.

Была проведена петрографическая характеристика вулканогенных свит Маймеч-Котуйского района и установлена стратиграфическая принадлежность опорных разрезов в долинах р. Котуй и Маймеч. Детальные петрографические исследования лавовых потоков позволили установить, что в разрезе р. Котуй присутствуют только вулканики арыджангской и онкучакской свит и отсутствуют более молодые лавы щелочного и субщелочного состава. Таким образом, единственным стратиграфическим подразделением, распространенным по всей территории Маймеч-Котуйского района, является онкучакская свита, сложенная толеитовыми базальтами и долеритами, аналогичными основной массе вулкаников Сибирской провинции. Продукты щелочного и ультраосновного вулканизма в Маймеч-Котуйском районе приурочены к двум от-



дельным вулканическим центрам: в бассейне р. Котуй, где распространены лавы арыджангской свиты, и в долине Маймечи, где расположен наиболее полный разрез вулканитов тыванкитской, дельканской и маймечинской свит.

### **Глава 5. Магнитная минералогия траппов Норильского и Маймеча-Котуйского районов**

При проведении палеомагнитных исследований немаловажное значение имеет доказательство того, что вектор остаточной намагниченности отвечает времени формирования пород, то есть подтверждение первичности намагниченности. Для обоснования возможности использования палеомагнитных данных по вулканитам Норильского и Маймеча-Котуйского районов были проведены магнитоминералогические исследования образцов из 9 вулканогенных свит.

В базальтах онкучакской свиты, распространенной в Маймеча-Котуйском районе, при термомагнитном и микрозондовом анализе были установлены магнитоминералогические различия в разновозрастных и идентичных по петрографическому составу породах в разрезах р. Котуй и Маймеча. В базальтоидах онкучакской свиты р. Котуй основным носителем намагниченности является титаномагнетит с температурами Кюри 250-400°C, образующий мелкие скелетные кристаллы размером 1-5 мкм, гомогенные и неизменные (рис. 1А). Дендритная форма кристаллов указывает на быструю кристаллизацию при остывании лавового потока, а гомогенность и отсутствие вторичных изменений являются аргументами в пользу первичности намагниченности. В лавах р. Маймеча при температурной чистке и чистке переменным полем были выявлены антиподальные компоненты намагниченности, присутствие которых дало основания предположить эффект частичного самообращения остаточной намагниченности. Это было подтверждено экспериментами по созданию парциальной термоостаточной намагниченности (Марков и др., 2010). При термомагнитном анализе было установлено, что основным носителем намагниченности является минерал с температурами Кюри 570-590°C (магнетит или очень низкотитанистый титаномагнетит). Различающиеся минеральные фазы, ответственные за антиподальные компоненты намагниченности не были обнаружены. Возможно, это связано с близостью точек Кюри магнитных минералов, чье взаимодействие обеспечивает наличие частичного самообращения. Микрозондовый анализ показал, что рудные минералы представлены мелкими (1-10 микрон) и крупными (30-100 микрон) дендритными кристаллами титаномагнетита и магнетита. В крупных кристаллах часто встречаются структуры, характерные для однофазного окисления, иногда даже в мелких дендритах наблюдаются неоднородности; в некоторых образцах встречаются вторичные прожилки и микрозернистые массы магнетита или гематита. Характерной особенностью образцов маймечинского разреза является повышенное содержание марганца в титаномагнетитах.

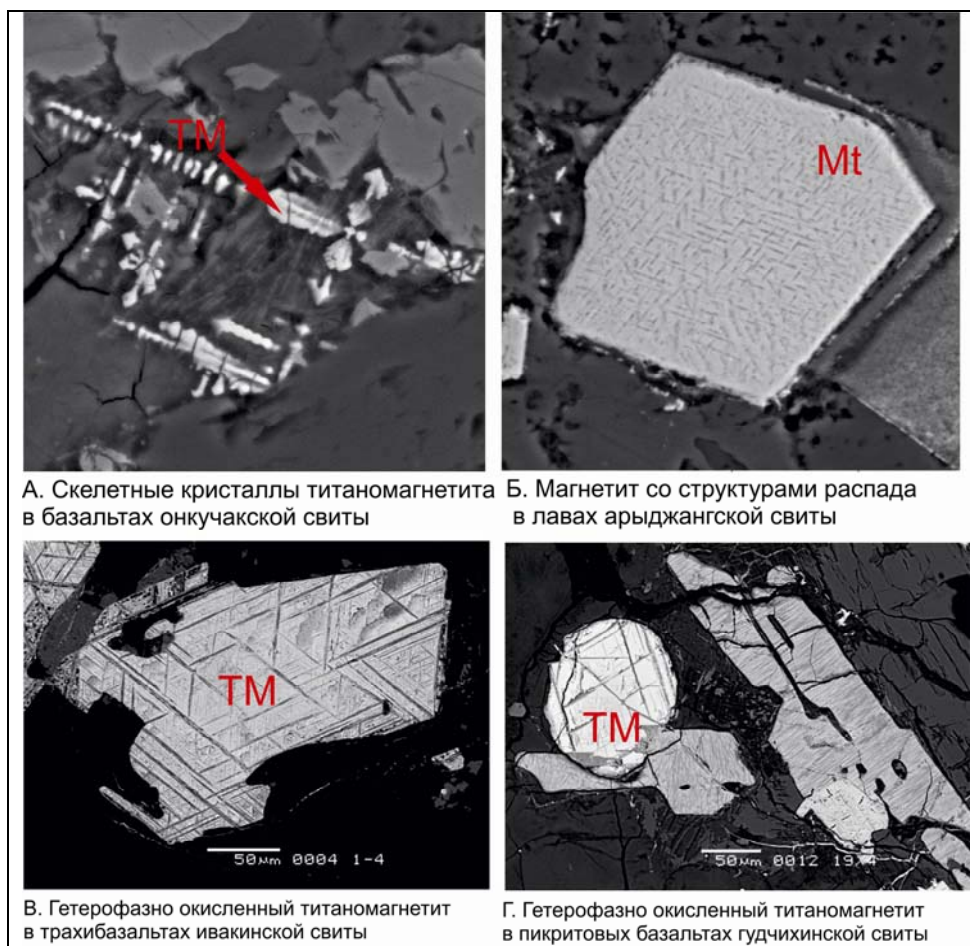


Рис. 1. Магнитная минералогия лав Норильского и Маймеча-Котуйского районов

На основании микронзондовых исследований можно предположить несколько объяснений наблюдаемому эффекту частичного самообращения: спинодальный распад титаномангнетитов, который не обнаруживается на зонде из-за очень мелкого размера структур, вариации состава примесей (марганец), создающие две фазы с незначительно отличающимися точками Кюри, и однофазное окисление титаномангнетитов

(по механизму, описанному в работе (Krasa et al., 2005)).

В щелочных вулканитах ариджангской и дельканской свит, распространенных в Маймеча-Котуйском районе, термомагнитный анализ выявил три основные магнитные фазы: магнетит с температурами Кюри 570-590°C (присутствует практически повсеместно), низкотитанистый титаномангнетит с температурами Кюри 480-550°C (распространен в ариджангской свите) и, возможно, частично окисленный магнетит с температурами Кюри 600-620°C (распространен в дельканской свите). Микронзондовые исследования подтвердили наличие первично магматических титаномангнетита и магнетита (рис. 1Б). Часто встречаются также структуры гетерофазного высокотемпературного окисления, которое происходит, как правило, при остывании лавового потока. В ряде потоков широко распространены вторичные изменения. Наиболее распространенные из них – однофазное окисление, новообразование магнетита по пириту. Наличие гетерофазно окисленных и неизмененных магнитных минералов является доводом в пользу первичности намагниченности, однако широкое развитие вторичных изменений может быть ответственным за довольно низкое качество палеомагнитной записи в ариджангской и дельканской свитах.

В Норильском районе были исследованы вулканиты 6 свит: ивакинской, сыверминской, гудчихинской, хаканчанской, туклонской, надеждынской. Термомагнитный анализ показывает, что преобладающей является магнитная фаза с температурами

Кюри 570-600°C, хотя разные свиты отличаются особенностями температурных кривых. Микронзондовые исследования выявили наличие гомогенных зерен титаномагнетита и магнетита, а также гетерофазно окисленного титаномагнетита (рис. 1В, 1Г). Во многих образцах широко проявлены вторичные изменения. Наиболее распространенные из них – развитие вторичного магнетита или гематита в виде прожилков по трещинам или кайм вокруг зерен толщиной менее 1 микрона, окисление пирита в магнетит (хаканчанская свита), мартитизация магнетита, однофазное окисление титаномагнетита (ивакинская свита). Наличие неизмененных и гетерофазно окисленных зерен магнитных минералов во многих потоках может служить аргументом в пользу первичности намагниченности, однако разнообразные и широко проявленные вторичные изменения вынуждают использовать магнитоминералогические доказательства в комплексе с другими: положительный тест складки в моронговской свите, положительный тест контакта в ивакинской и сыверминской свитах.

Таким образом, было показано повсеместное присутствие в вулканогенных свитах Норильского и Маймеча-Котуйского района первично магматических магнитных минералов, что является важным аргументом в пользу первичности остаточной намагниченности в породах изученных свит.

#### **Глава 6. Результаты исследований траппов Норильского района**

Норильский район Сибирской трапповой провинции находится в северо-западной части Сибирской платформы близ границ с Западно-Сибирской плитой и Енисей-Хатангским прогибом. Пермо-триасовые вулканогенные образования залегают с размывом на среднекаменноугольной–позднепермской тунгусской серии, сложенной угленосными песчаниками. Вулканогенная толща включает 11 свит общей мощностью до 3,5 км. В разрезе резко преобладают лавы базальтового состава, в подчиненных количествах присутствуют трахибазальты, пикритовые базальты и мафические туфы. Интрузивные образования представлены субпластовыми телами (силлами) и дайками разнообразного состава, относящимися к 11 плутоническим и гипабиссальным комплексам. Несмотря на наличие разработанной схемы интрузивных образований, возраст, последовательность внедрения интрузивов и их взаимоотношения с туфо-лаваовой толщей остаются дискуссионными. Наибольшее внимание при этом уделяется интрузивам норильского и нижнеталнахского типов норильского комплекса в связи с приуроченной к этим интрузивам медно-никелевой и платиноидной минерализацией. Согласно различным представлениям, расслоенные интрузивы норильского типа комагматичны моронговской – мокулаевской свитам (Радько, 1991; Naldrett et al., 1995), гудчихинской свите (Золотухин и др., 1986) или вообще не связаны с эффузивным магматизмом (Czamanske et al., 1994; Latypov, 2002). В связи с этим вопрос о соотношении единственной уран-свинцовой датировки по Норильскому району, полученный по интрузиву Норильск-1 ( $251,2 \pm 0,3$  млн. лет – Kamo et al., 1996), с туфо-лаваовой толщей остается дискуссионным.

Результаты палеомагнитных исследований позволяют уверенно выделить в разрезе туфо-лаваовой толщи интервал обратной полярности, включающий ивакинскую свиту, и интервал прямой полярности, включающий все изученные вышележа-

щие свиты. Полученные по разрезам Талнах и Мокулай данные не подтверждают гипотезу о существовании интервала прямой полярности в нижней части ивакинской свиты и интервала обратной полярности в моронговской свите (Lind et al., 1994).

В разрезах Сундук и Ергалах, содержащих значительную часть туфо-лавовой толщи Норильского района, в соответствии с методикой (Chenet et al., 2008) были выделены дирекционные группы, включающие несколько смежных лавовых потоков со статистически неразличимыми палеомагнитными направлениями, и индивидуальные направления потоков, значимо отличающиеся от смежных. Всего в разрезе Сундук выделено 9 дирекционных групп и 6 индивидуальных направлений, в разрезе Ергалах – 4 дирекционные группы и 3 индивидуальных направления (рис. 2). Аналогичная процедура выделения вулканических пульсов была проведена для разрезов Листвянка, Икон и Абагалах, палеомагнитные направления по потокам для которых были получены Хейнеманном и др. (Heunemann et al., 2004). Разрезы Листвянка, Икон и Абагалах содержат в общей сложности 76 лавовых потоков, представляющих 10 из 11 вулканогенных свит Норильского района, за исключением самой молодой самоедской свиты. В суммарном разрезе Листвянка – Икон – Абагалах было выделено всего 23 дирекционные группы и 12 индивидуальных направлений (рис. 2). Таким образом, пульсационный характер трапповой вулканической активности подтвержден на примере нескольких удаленных друг от друга разрезов.

Принимая во внимание указанные выше оценки длительности формирования вулканических пульсов, соответствующих дирекционным группам, и одиночных извержений, соответствующих индивидуальным направлениям, можно оценить время формирования всего Норильского разреза (за исключением самоедской свиты) как не превышающее 11 тысяч лет без учета периодов покоя между пульсами вулканической активности. Поскольку перерывы между вспышками вулканизма могли иметь существенно большую длительность, чем периоды активности, реальное время формирования туфо-лавовой толщи могло быть многократно больше. Однако отсутствие, за редким исключением, указывает на то, что длительных в геологическом смысле перерывов между вулканическими пульсами не было.

Также интересен тот факт, что в ряде случаев потоки из разных свит попадают в одну дирекционную группу. Так, в разрезе Сундук пульс P5 включает потоки толеитовых базальтов сыверминской свиты и пикритовых базальтов гудчихинской свиты; пульс P7 – 6 потоков базальтов туклонской свиты, включая расслоенный покров базальтов (C30), и поток порфировых базальтов надеждинской свиты. Это указывает на быструю (в течение 300-400 лет) резкую смену состава продуктов вулканизма.

Особенности палеомагнитной записи, указывающие на присутствие инверсионного и экскурсионного интервалов, аналогичных таковым в разрезах Листвянка – Икон (Heunemann et al., 2004), были обнаружены в разрезах Сундук и Ергалах.

Аномальные палеомагнитные направления, характеризующиеся пониженными наклонениями и отличающиеся от «нормальных» направлений в тех же разрезах, составляют всю сыверминскую свиту и значительные части гудчихинской и надеждинской свит (рис. 3).

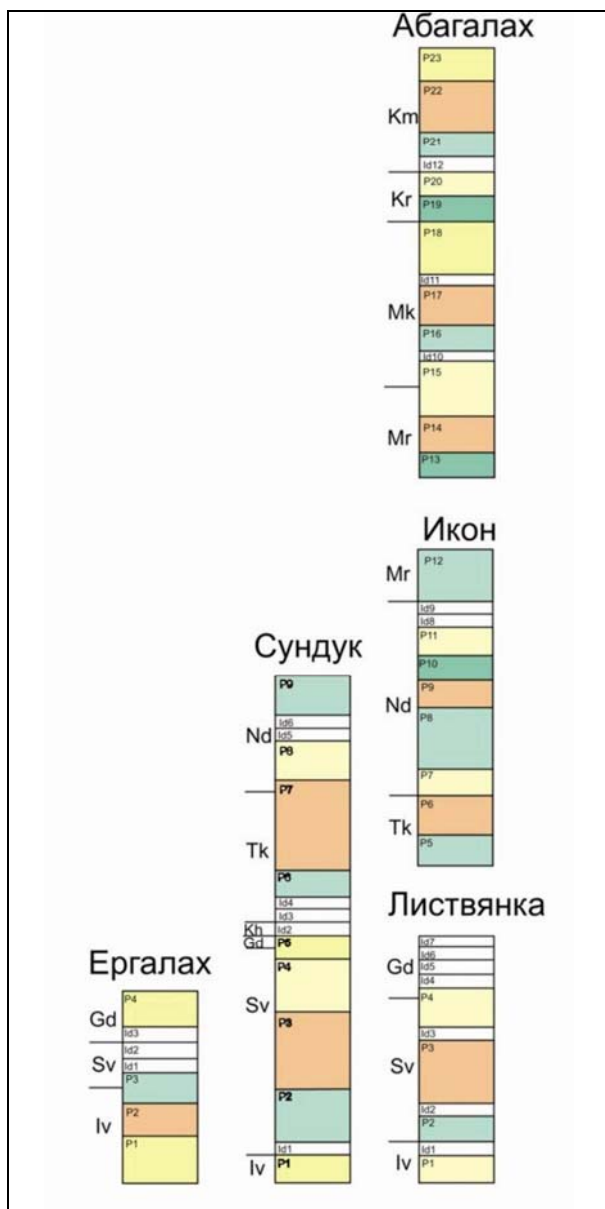


Рис. 2. Вулканические пульсы в трапповых разрезах Норильского района. P – пульсы; Id – индивидуальные направления

В разрезе Сундук снизу вверх выделяются интервал обратной полярности (ивакинская свита), инверсионный интервал (верхний поток ивакинской свиты, сыверминская и гудчихинская свиты), интервал кратковременной стабилизации геомагнитного поля (хаканчанская, туклонская свиты и нижний поток надеждинской свиты), выделяемый с меньшей степенью достоверности экскурсионный интервал (5 потоков надеждинской свиты) и интервал стабильного геомагнитного поля прямой полярности (4 потока надеждинской свиты). В разрезе Ергалах нижние 5 потоков ивакинской свиты входят в интервал обратной полярности. Далее следуют 2 потока, отнесенные к ивакинской и сыверминской свитам, которые перемангничены интрузивом Норильск-2. Выше залегают 2 потока сыверминской свиты и поток гудчихинской свиты, образующие инверсионный интервал. Завершают разрез 2 потока гудчихинской свиты, объединенные в 1 пульс и отнесенные к интервалу стабилизации геомагнитного поля между инверсией и экскурсом.

Учитывая, что инверсионный интервал разреза характеризуется пониженными наклонениями по сравнению с вышележащими породами, можно обнаружить его в палеомагнитных данных по скважинам (Gurevitch et al., 2004; Михальцов и др., 2012).

В скважинах CD28 и XC59, пробуренных в пределах Хараелахской мульды сквозь туфо-лавовую толщу, средние наклонения для сыверминской и гудчихинской свиты близки к таковым, рассчитанным для инверсионного интервала, и заметно меньше, чем средние наклонения в вышележащих свитах.

Таким образом, инверсионный интервал прослеживается на территории минимум трех мульд Норильского района – Имангдинской (Сундук), Норильской (Ергалах) и Хараелахской (Листвянка, Талнах и скважины); экскурсионный – на территории Иконской (Икон) и Имангдинской (Сундук) мульд. Инверсионный интервал включает полный разрез сыверминской свиты и нижнюю часть гудчихинской свиты (в разрезе Сундук и скважинах CD28 и XC59 – всю гудчихинскую свиту). Также палеомагнитная запись разреза Сундук указывает на возможность начала инверсии в ивакинское время, поскольку верхний поток ивакинской свиты намагничен в прямой

полярности и входит в инверсионный интервал. Экскурсионный интервал в разрезе Икон охватывает верхнюю часть туклонской свиты и нижнюю часть надеждинской свиты; в разрезе Сундук прослеживается только в нижней части надеждинской свиты (рис. 3). Такое различие можно объяснить тем, что смена состава лав происходила в разных мульдах Норильского района в разное время.

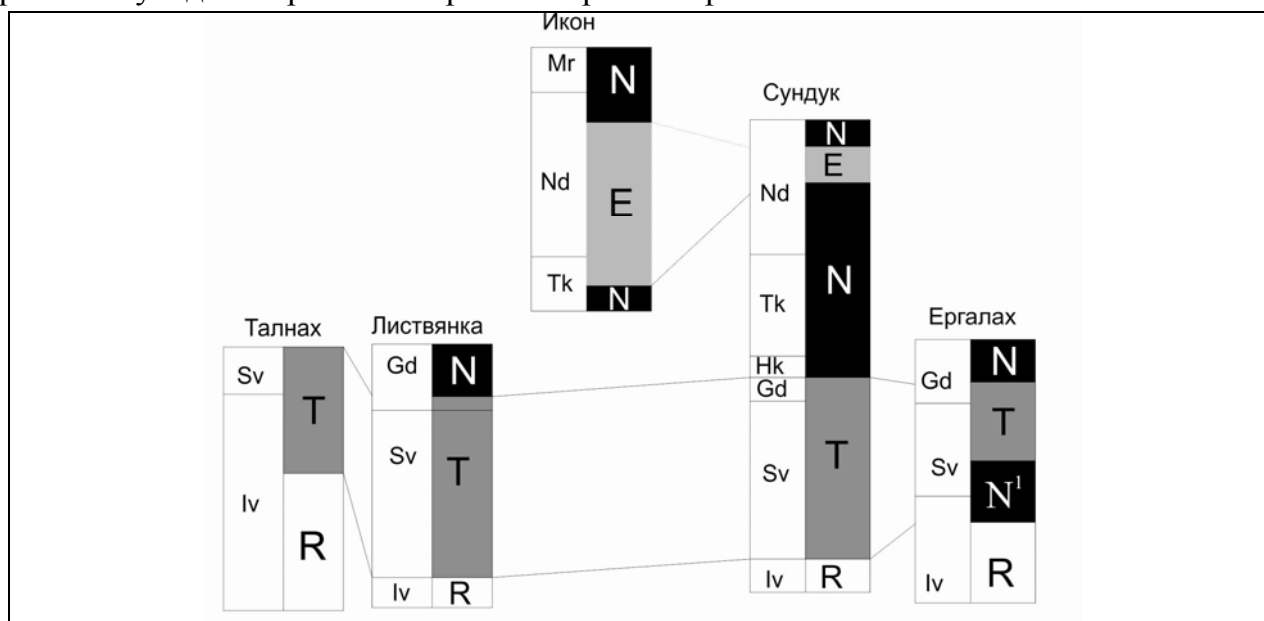


Рис. 3. Инверсионный и экскурсионный интервалы в трапповых разрезях Норильского района. R – зона обратной полярности; N – зона прямой полярности; T – инверсионный интервал; E – экскурсионный интервал; 1 – потоки, перемагниченные интрузивом Норильск-2; свиты: Iv – ивакинская; Sv – сыверминская; Gd – гудчихинская; Hk – хаканчанская; Tk – туклонская; Nd – надеждинская

Полученные палеомагнитные данные свидетельствуют, что значительная часть разреза траппов Норильского района (550 м по мощности в разрезе Сундук и до 1,5 км, если учитывать максимальную мощность свит) сформировалась в течение инверсии и следующего за ней экскурса. В работах (Merrill et al., 1998; Valet et al., 2012) постинверсионный экскурс рассматривается как типичный элемент инверсии (“rebound effect”), обусловленный тем, что при быстрой смене полюсов магнитный полюс проходит точку своего конечного положения, отклоняясь от нее на угол до 90°, после чего возвращается в стабильное положение. Продолжительность инверсии геомагнитного поля оценивается разными авторами как не превышающая 10 тыс. лет (Merrill et al., 1998; Tauxe, 2005; Valet et al., 2012). Это накладывает на длительность формирования данной части разреза временные ограничения нового масштаба, не достижимого геологическими и изотопными методами.

Во время формирования всего переходного интервала туфо-лавого разреза, включающего запись инверсии, экскурса и периода стабилизации геомагнитного поля между ними, произошла резкая смена геохимии вулканитов между гудчихинской и хаканчанской свитами. Вариант, в котором экскурс рассматривается как часть инверсии, а не самостоятельный эпизод, представляет собой дополнительный пример быстрого изменения состава вулканитов в течение времени, не превышающего 10 тыс. лет.

Палеомагнитные направления, полученные по интрузиву Норильск-2 и двум потокам, прорванным этим интрузивом, являются статистически неразличимыми и

отличаются от смежных потоков. Это свидетельствует о перемагничивании потоков при внедрении интрузива и позволяет вычислить среднее направление для более точной оценки направления геомагнитного поля в момент формирования интрузива Норильск-2. Сравнение палеомагнитных направлений интрузива Норильск-2 и вулканических пульсов разреза Листвянка – Икон – Абагалах (рис. 4) выявило только один лавовый поток, для которого направления являются статистически неразличимыми (Id4), и два уровня, для которых палеомагнитные направления близки (Id12 и P15). Однако направления Id4 и Id12 получены по единичным лавовым потокам, поэтому их совпадение с направлениями интрузива может быть случайным. Направление вулканического пульса P15 получено по 4 последовательным лавовым потокам верхней части моронговской – нижней части мокулаевской свиты, поэтому совпадение направлений пульса P15 и интрузива Норильск-2 с большей долей вероятности можно считать неслучайным. В этом случае возраст интрузива Норильск-2 и других интрузивов норильского типа близок к моронговско-мокулаевскому уровню в соответствии с представлениями (Радько, 1991; Fedorenko, 1994; Naldrett et al., 1995), а датировка  $251,2 \pm 0,3$  млн. лет, полученная по интрузиву Норильск-1, также относящемуся к норильскому типу, характеризует возраст границы моронговской и мокулаевской свит.

Результаты палеомагнитных исследований траппов Норильского района позволяют выдвинуть следующие защищаемые положения:

*Формирование туфо-лавовой толщи Норильского района происходило в виде чередования кратких интенсивных вспышек вулканической активности (вулканических пульсов) и более длительных периодов покоя. Длительность активного вулканизма в Норильском районе не превышала 11 тысяч лет без учета периодов покоя.*

*На примере нескольких пространственно удаленных разрезов показано, что разрезе траппов Норильского района присутствует запись инверсии геомагнитного поля и последующего экскурса. Согласно современным оценкам длительности инверсий, до одной трети разреза туфо-лавовой толщи сформировалась не более чем за 10 тысяч лет.*

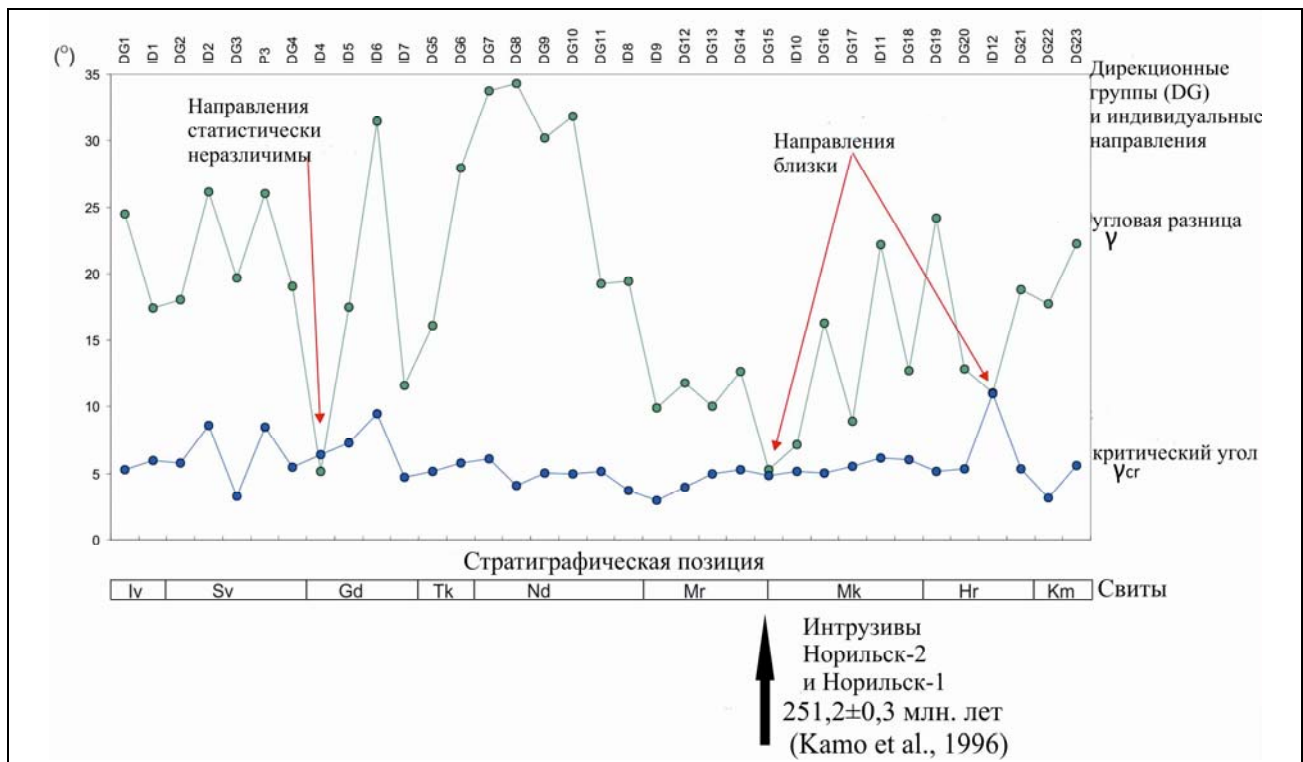


Рис. 4. Сравнение палеомагнитных направлений интрузива Норильск-2 с туфо-лавовой толщей Норильского района

## Глава 7. Результаты исследований траппов Ангаро-Тасеевской впадины

В южной части Сибирской платформы пермо-триасовые траппы распространены на территории Ангаро-Тасеевской впадины и Иркутского амфитеатра. К северу расположен пологий борт Тунгусской синеклизы, где продукты пермо-триасового вулканизма представлены туфами, туффитами и туфопесчаниками, отражающими начальные стадии магматической активности (Домышев, 1974). Южная краевая часть распространения вулканогенно-осадочной толщи Тунгусской синеклизы расположена в бассейне среднего течения р. Ангары. Туфогенные отложения здесь представлены базальтовыми туфами, туффитами и вулканогенно-осадочными породами (туфопесчаниками и туфоалевролитами), на основании состава палинокомплексов выделены в самостоятельную капаевскую свиту корвунчанской серии (Наумов, Анкудинова, 1995). Возраст туфогенных отложений района р. Ангары согласно Государственным геологическим картам масштаба 1:200 000 (Объяснительная..., 1980; Объяснительная..., 1967) устанавливался по аналогии с корвунчанской свитой в центральной части Тунгусской синеклизы как раннетриасовый. С другой стороны, в работе (Наумов, Анкудинова, 1995) по палинокомплексам возраст капаевской свиты был определен как татарский век поздней перми, в отличие от раннетриасовой корвунчанской свиты центральной части Тунгусской синеклизы.

По периферии зоны распространения вулканогенной толщи Тунгусской синеклизы протягивается обширная зона распространения долеритовых силлов, которые выходят на поверхность главным образом на окраинах Ангаро-Тасеевской впадины (рис. 5). На основании полевых наблюдений и анализа данных скважин выделяют 6 крупных силлов, внедренных в различные горизонты палеозойских отложений (Феок-



тистов, 1976): Усольский, Зяряский, Тулунский, Толстомысовский, Падунский, Чуно-Бирюсинский. Мощность силлов достигает 200-250 м, а протяженность с запада на восток – 200-300 км (Феоктистов, 1978).

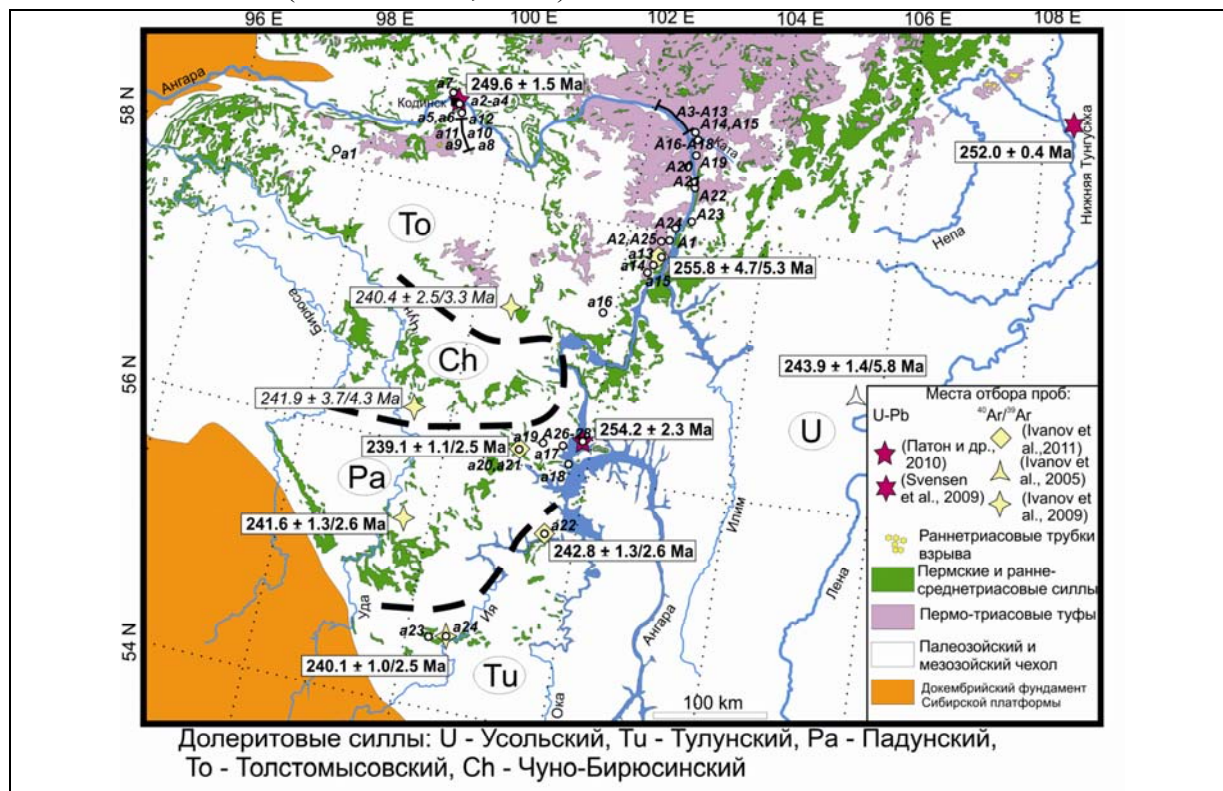


Рис. 5. Геологическая схема Ангаро-Тасеевской впадины и южной части Тунгусской синеклизы (по Ivanov et al., 2013; Феоктистов, 1976)

Данные о возрасте силлов противоречивы. Непосредственные секущие контакты между разными силлами и другие геологические свидетельства возрастных соотношений неизвестны. В настоящее время для силлов в Ангаро-Тасеевской впадине получен ряд радиологических определений  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  и U-Pb методами. Анализ распределения возрастов позволил авторам работы (Ivanov et al., 2013) выделить два этапа интрузивного магматизма в Ангаро-Тасеевской впадине: 1) конец перми – начало раннего триаса (255-249 млн. лет) и 2) конец раннего триаса – средний триас (244-239 млн. лет). Нужно отметить, что для Падунского, Толстомысовского и Усольского силлов получены определения изотопного возраста, соответствующие как первому, так и второму этапу. Интересно, что все датировки, полученные U-Pb методом, укладываются в диапазон 254-249 млн. лет, в то время как большая часть  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  определений – в диапазон 244-239 млн. лет, за исключением единственного возраста, полученного по Толстомысовскому силлу –  $255,8 \pm 4,7/5,3$  млн. лет (Ivanov et al., 2011).

Образцы ордовикских отложений, отобранные в районе г. Кодинск в двух сайтах примерно в 0,5 и 1,5 км от силла, несут высокотемпературную компоненту с направлениями, близкими к ожидаемым для ордовика Сибирской платформы (Павлов и др., 2012) и отличными от направлений трапповой компоненты. Также присутствует низкотемпературная компонента, которая в сайте, ближнем к контакту с силлом, имеет трапповые направления, а в удаленном от контакта сайте имеет направления, близкие к современным. Такое соотношение компонент намагниченности отвечает поло-

жительному результату теста контакта и определенно указывает на отсутствие регионального перемагничивания на исследуемой территории. Также об этом говорит отсутствие следов трапповой компоненты в разрезе ордовикских отложений на р. Рожкова, расположенном в пределах области распространения Толстомысовского силла (Павлов и др., 2012).

Анализ распределения средних палеомагнитных направлений по сайтам позволяет выделить три представительные группы сайтов со статистически различными направлениями, а также несколько отдельных сайтов с направлениями, значительно отличающимися от смежных сайтов. В первую группу вошли сайты, отобранные из Толстомысовского силла в районе г. Кодинск, в долине р. Ангары от г. Усть-Илимск до устья р. Каты, а также из туфов капаевской свиты и прорывающих их мелких даек в районе устья р. Каты (всего 36 сайтов, расположенных вдоль р. Ангары; расстояние между крайними сайтами превышает 200 км). Вторая группа сайтов соответствует Падунскому силлу и включает 6 сайтов в районе г. Братск и пос. Вихоревка. Третья группа (10 сайтов в районе г. Тулун и с. Ключи-Булак) соответствует Тулунскому силлу. Все образцы из первой группы («Толстомысовский силл») намагничены в прямой полярности, из второй и третьей групп (Падунский и Тулунский силлы) – в обратной полярности. Разная полярность пород Толстомысовского и Падунского силлов противоречит существующим представлениям об одновременности их формирования (Феоктистов, 1978).

Средние полюсы, рассчитанные для Тулунского и Падунского силлов и для Толстомысовского силла вместе с туфами капаевской свиты и мелкими дайками в районе устья р. Каты, значительно различаются, а их овалы доверия не перекрываются (рис. 6А). Этот факт демонстрирует, что три выделенных группы сайтов соответствуют трем разновременным магматическим событиям, приведшим к внедрению крупных долеритовых силлов, а в случае группы 1 – внедрению Толстомысовского силла и извержению туфов капаевской свиты. Существует вероятность перемагничивания вмещающих пород, включая туфы капаевской свиты, при внедрении мощного Толстомысовского силла, однако отсутствие трапповых направлений в ордовикских отложениях сайта аб и разреза р. Рожкова (Павлов и др., 2012) свидетельствует о том, что регионального прогресса территории, который необходим для полного перемагничивания туфов на опробованной площади (около 2000 км<sup>2</sup>), не было.

Полученные значения разброса виртуальных геомагнитных полюсов, рассчитанных для образующих группы сайтов, для всех трех групп заметно ниже величины вековых вариаций согласно модели (Tauxe and Kent, 2004) (рис. 7). Это свидетельствует о том, что формирование Толстомысовского, Падунского и Тулунского силлов происходило в течение времени, недостаточного для осреднения вековых вариаций, то есть не превышающего 10-100 тыс. лет (Tauxe, 2010). Кроме того, в случае осреднения вековых вариаций при формировании любого из силлов закономерно было бы ожидать совпадения среднего полюса этого силла с палеомагнитным полюсом Сибирской платформы для рубежа перми и триаса. Отличие средних полюсов для Тулунского и Толстомысовского силлов от пермо-триасового палеомагнитного траппо-

вого полюса NMK Сибирской платформы на границе перми и триаса (Pavlov et al., 2011) является дополнительным указанием на отсутствие осреднения вековых вариаций в этих силлах (рис. 6А).

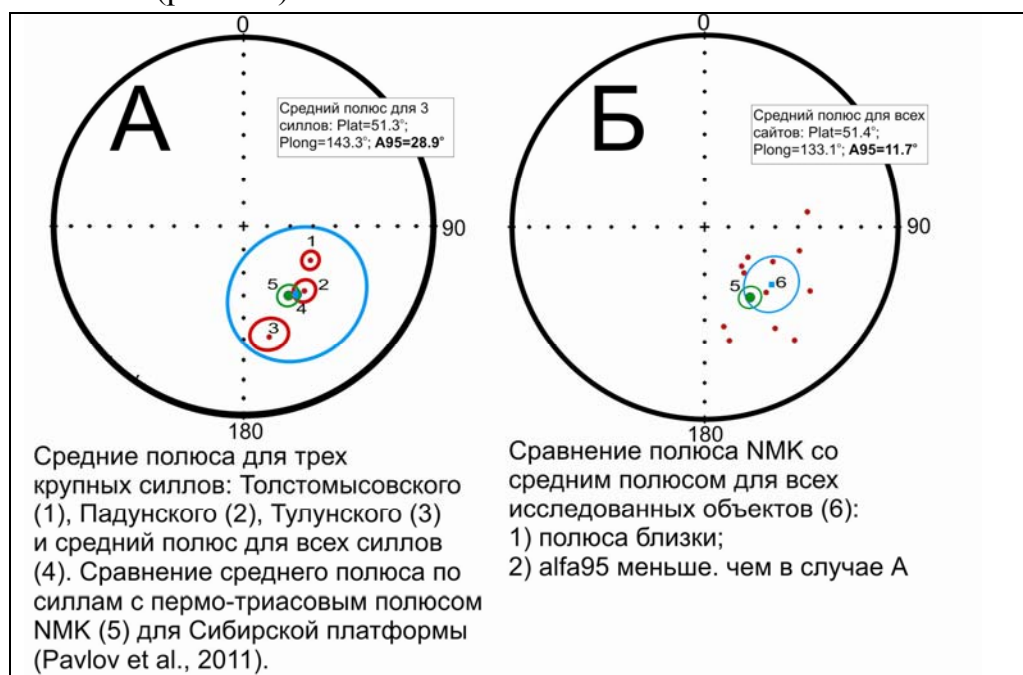


Рис. 6. Средние полюса для трех силлов и их сравнение с палеомагнитным полюсом NMK для Сибирской платформы

Отметим, что овалы доверия для полюсов Падунского силла и ожидаемого для Сибирской платформы перекрываются, чего, однако, недостаточно, для того, чтобы считать, что в намагниченности пород Падунского силла вариации усреднены.

Средний полюс, рассчитанный по трем силлам, близок к полюсу NMK для Сибирской платформы (Pavlov et al., 2011), при этом овал доверия  $\alpha_{95}$  слишком велик ( $29,3^\circ$ ) для того, чтобы этот полюс можно было использовать, например, для палеотектонических реконструкций. При расчете среднего полюса по трем силлам и сайтам с индивидуальными направлениями, не входящим в выделенные дирекционные группы (с одинаковым весом всех объектов), овалы доверия полюса NMK и полученного полюса перекрываются (рис. 6Б). При этом  $\alpha_{95}$  для рассчитанного полюса заметно меньше ( $10,7^\circ$ ), чем в предыдущем случае, а разброс виртуальных геомагнитных полюсов S согласуется с моделью (Tauxe and Kent, 2004). Последнее является аргументом в пользу осреднения вековых вариаций в течение временного интервала, охватывающего формирование всех исследованных интрузивных тел и туфовых пачек. Это дает нам основания предполагать, что три крупных и кратковременных магматических события, выраженные в формировании долеритовых силлов, произошли на фоне более длительной вялотекущей магматической активности, приведшей к формированию магматических объектов с индивидуальными палеомагнитными направлениями. Эти объекты могут представлять собой мелкие интрузивные тела, ошибочно отнесенные к Толстомысовскому или Падунскому силлам. Кроме того, помимо туфогенной толщи, сформировавшейся одновременно с Толстомысовским силлом, в районе р. Ангары в меньших количествах присутствуют продукты извержений, происходивших

несинхронно с основным пиком вулканизма (туфы в долине р. Бадармы, сайт a14).

Ряд сайтов был опробован в точках отбора проб на геохронологическое датирование (рис. 5). Полученные результаты позволяют проверить предложенное на основании датировок изотопного возраста в работе (Ivanov et al., 2013) выделение двух пиков магматической активности с учетом палеомагнитных данных. Так, образцы из сайтов a22 и a24 (Тулунский силл) демонстрируют очень близкие палеомагнитные направления, что свидетельствует о синхронности формирования долеритов в этих точках. Это не противоречит имеющимся  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  определениям возраста из этих сайтов, доверительные интервалы которых перекрываются:  $242,8 \pm 1,3/2,6$  млн. лет (Ivanov et al., 2013) и  $240,1 \pm 1,0/2,5$  млн. лет (Ivanov et al., 2009) соответственно.

Сайты a7 и a13, лежащие в пределах Толстомысовского силла, также имеют близкие палеомагнитные направления и датировки изотопного возраста с перекрывающимися доверительными интервалами:  $249,6 \pm 1,5$  млн. лет (Патон и др., 2010) и  $255,8 \pm 4,7/5,3$  млн. лет (Ivanov et al., 2011) соответственно. К этой же дирекционной группе принадлежат туфогенные образования капаевской свиты и мелкие субвулканические тела, вероятно, комагматичные им, демонстрирующие близкие палеомагнитные направления. При этом позднепермский возраст капаевской свиты, полученный на основании анализа палинокомплексов (Наумов, Анкудинова, 1995), вступает в противоречие с датировкой  $249,6 \pm 1,5$  млн. лет (Патон и др., 2010), более молодой, чем граница перми и триаса  $252,6 \pm 0,2$  млн. лет (Metcalfе, Isozaki, 2009). Учитывая противоречивость палеонтологических и геохронологических данных, можно установить диапазон времени магматического события, соответствующего выделенной дирекционной группе 1 (Толстомысовский силл), как конец поздней перми – начало раннего триаса, при этом длительность самого события не превышала 10-100 тыс. лет (отсутствие осреднения вековых вариаций). Нужно отметить, что для Толстомысовского силла также существует  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  определение, дающее среднетриасовый возраст  $240,4 \pm 2,5/3,3$  млн. лет (Ivanov et al., 2009). Один из возможных вариантов объяснения этого факта – ошибочное отнесение датированных пород к Толстомысовскому силлу.

По Падунскому силлу получены палеомагнитные результаты из точек с существенно различающимися изотопными возрастами:  $254,2 \pm 2,3$  млн. лет (Патон и др., 2010; сайт A26-A28; U-Pb метод),  $251,564 \pm 0,058$  млн. лет (S. Burgess, персональное сообщение; сайт A26-A28; U-Pb метод) и  $239,1 \pm 1,1/2,5$  млн. лет (Ivanov et al., 2011; сайт a21;  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  метод). Тем не менее, средние палеомагнитные направления в соответствующих сайтах статистически неразличимы, что указывает на их одновозрастность. Это можно объяснить двумя способами: 1) как минимум одна из имеющихся датировок не отражает времени формирования силла или 2) породы из сайта A26-A28 с позднепермским возрастом были перемагничены при внедрении более молодых среднетриасовых долеритов (сайт a21), для чего необходим прогрев до температуры более  $600^\circ\text{C}$ .

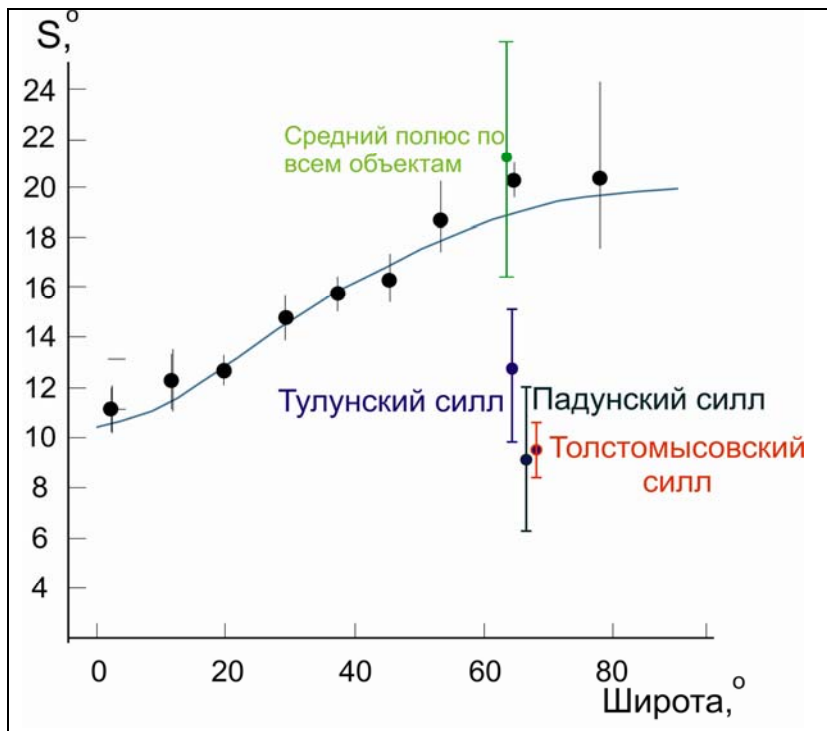


Рис. 7. Разброс виртуальных геомагнитных полюсов для Падунского, Тулунского, Толстомысовского силлов и среднего полюса по всем объектам. Зависимость разброса VGP от широты согласно модели (McElhinny and McFadden, 1997; Tauxe and Kent, 2004)

С целью корреляции магматических событий в Ангаро-Тасеевской впадине и на севере Сибирской платформы было проведено сравнение средних полюсов, рассчитанных для Толстомысовского, Падунского и Тулунского силлов, с полюсами, рассчитанными для вулканических пульсов лавовых разрезов Норильского и Маймеча-Котуйского районов (Павлов и др., 2011). Расчет угловой разницы показал, что средний полюс для Толстомысовского силла оказался статистически неразличим с полюсами трех вулканических пульсов из лавового разреза р. Котуй (P4, P8, P9 из арыджангской свиты). Во всем лавовом разрезе Норильска (Сундук – Икон – Абагалах) Толстомысовский силл имеет незначимую угловую разницу только с пульсом P13, включающим лавовые потоки моронговской свиты. Близость полюсов указывает на возможность синхронного формирования Толстомысовского силла с любым из вышеупомянутых вулканических пульсов, однако следует учитывать вероятность попадания полюса в одно и то же место в разное время. Тем не менее, U-Pb возраст, полученный по Толстомысовскому силлу ( $249,6 \pm 1,5$  млн. лет – Патон и др., 2010) перекрывается с датировкой по интрузиву Норильск-1, считающемуся одновозрастным моронговской свите ( $251,2 \pm 0,3$  млн. лет, U-Pb метод – Kamo et al., 1996) и близок к датировке по арыджангской свите ( $251,7 \pm 0,4$  млн. лет, U-Pb метод – Kamo et al., 2003), что свидетельствует о близости времени их формирования. Кроме того, согласно предлагаемой в работе (Фетисова и др., 2013) схеме корреляции эффузивных траппов Маймеча-Котуйского и Норильского районов арыджангская свита сопоставляется с моронговско-мокулаевским уровнем. Все это является аргументами в пользу сопоставления Толстомысовского силла и комагматичной ему капаевской свиты с моронговской свитой в норильском разрезе и арыджангской свитой в котуйском разрезе, а также раннетриасового возраста капаевской свиты и Толстомысовского силла.

Падунский силл имеет статистически неразличимые полюсы с двумя вулканическими пульсами в разрезе р. Котуй (P11 и P14 в онкучакской свите). Существующая U-Pb датировка по Падунскому силлу (Патон и др., 2010) с учетом доверительных интервалов попадает в диапазон между U-Pb возрастными по арыджангской и делькан-

ской свитам Маймеча-Котуйского района (Kato et al., 2003) и, следовательно, не противоречит возможной одновозрастности Падунского силла и онкучакской свиты. С другой стороны, если учитывать возможность совпадения разновременных полюсов, близость полюсов Падунского силла и пульсов онкучакской свиты может носить и случайный характер. Следовательно, наши данные не позволяют полностью исключить возможность среднетриасового возраста Падунского силла, установленного  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  датировками (Ivanov et al., 2009).

Результаты палеомагнитных исследований в совокупности с имеющимися геологическими, геохронологическими и палеонтологическими данными позволяют выдвинуть следующие защищаемые положения:

*В истории траппового магматизма в Ангаро-Тасеевской впадине имели место три кратких и очень интенсивных магматических события, выраженные в формировании трех мощных долеритовых силлов и извержении комагматических им туфов. Длительность каждого события не превышала 10-100 тыс. лет.*

*Совокупность палеомагнитных и геохронологических данных указывает на синхронность формирования Толстомысовского силла и капаевской свиты, их раннетриасовый возраст и наиболее вероятную корреляцию с моронговско-мокулаевским уровнем в Норильском районе, а также арыджангской свитой в Маймеча-Котуйском районе. Таким образом, наиболее мощный пик магматической активности в Ангаро-Тасеевской впадине происходил одновременно с основной фазой вулканизма на севере Сибирской платформы. С этим же уровнем может быть сопоставлено время формирования интрузивов Норильского типа. Это позволяет считать U-Pb датировку  $251,2 \pm 0,3$  млн. лет (Kato et al., 1996), полученную по интрузиву Норильск-1, соответствующей моронговско-мокулаевскому уровню.*

### **Заключение**

Результаты проведенных исследований позволяют установить, что трапповый магматизм на Сибирской платформе имел пульсационный характер. Формирование туфо-лавовой толщи Норильского района происходило в виде чередования кратких интенсивных пульсов вулканической активности и более длительных периодов покоя, при этом излияние значительной части разреза вулканитов (сыверминская – середина надеждинской свиты) произошло не более чем за 10 тысяч лет.

В Ангаро-Тасеевской впадине на фоне вялотекущей магматической деятельности имели место по меньшей мере три мощных магматических события, приведшие к внедрению трех крупных долеритовых силлов. Наиболее мощная вспышка магматизма, приведшая к формированию Толстомысовского силла и туфогенной капаевской свиты, произошла синхронно с основной фазой вулканической активности на севере Сибирской платформы, во время извержения моронговской - мокулаевской свит в Норильском районе и арыджангской свиты в Маймеча-Котуйском районе. В это же время сформировались рудоносные интрузивы норильского типа.

Показано повсеместное присутствие в вулканогенных свитах Норильского и Маймеча-Котуйского района первично магматических магнитных минералов, что является важным аргументом в пользу первичности остаточной намагниченности в по-

родах изученных свит. Установлено, что в вулканогенном разрезе р. Котуй присутствуют только лавы арыджангской и онкучакской свит и отсутствуют более молодые вулканиты щелочного и ультраосновного состава.

Попадание смежных потоков из разных свит туфо-лавовой толщи Норильского района в один пульс свидетельствует о возможности быстрой (в пределах сотен лет) смены петрографических и геохимических характеристик вулканитов. На это же указывает попадание в инверсионно-экскурсионный интервал разреза верхней границы гудчихинской свиты, где происходит резкая смена геохимических особенностей лав Норильского района.

#### Список работ, опубликованных по теме диссертации

##### Статьи в журналах, рекомендованных ВАК

1. Павлов В.Э., Флуто Ф., Веселовский Р.В., Фетисова А.М., **Латышев А.В.** Вековые вариации геомагнитного поля и вулканические пульсы в пермо-триасовых траппах Норильской и Маймеча-Котуйской провинций // Физика Земли, 2011, №5. с. 35-50.

2. Веселовский Р.В., Константинов К.М., **Латышев А.В.**, Фетисова А.М. Палеомагнетизм субвулканических траппов севера Сибирской платформы – некоторые геологические и методические следствия // Физика Земли, 2012, № 9–10, с. 74–87

3. Фетисова А.М., Веселовский Р.В., **Латышев А.В.**, Радько В.А., Павлов В.Э. Магнитная стратиграфия пермо-триасовых траппов долины реки Котуй в свете новых палеомагнитных данных // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2013 – в печати.

4. **Латышев А.В.**, Веселовский Р.В., Иванов А.В., Фетисова А.М., Павлов В.Э. Свидетельства кратких интенсивных пиков магматической активности на юге Сибирской платформы (Ангаро-Тасеевская впадина) на основании результатов палеомагнитных исследований // Физика Земли. 2013, №6. С. 77–90.

5. Щербакова В.В., Жидков Г.В., **Латышев А.В.**, Щербаков В.П. Оценка вариаций палеонапряженности по Сибирским траппам Маймеча-Котуйской и Норильской провинций // Физика Земли, 2013, №4. С. 43-60.

##### Тезисы и материалы конференций

1. **Латышев А.В.**, Марков Г.П., Павлов В.Э., Цельмович В.А. Магнитная минералогия пермо-триасовых вулканических пород Маймеча-Котуйской провинции (север Сибирской платформы). Мат-лы конференции «Современное состояние наук о Земле». 2011.

2. Black B.A., Elkins-Tanton L.T., Weiss B.P., Veselovskiy R., **Latyshev A.**, Pavlov V. Paleomagnetic Estimation of Emplacement Temperatures of Voluminous Siberian Traps Volcaniclastic Deposits. EGU General Assembly. 2011.

3. **Latyshev A.**, Veselovskiy R., Pavlov V., Black B. Paleomagnetic investigation of tuffs from Angara region of Siberian Trap province: estimation of emplacement temperatures and intensity of volcanic activity. IUGG 2011 General Assembly.

4. Veselovskiy R., **Latyshev A.**, Fetisova A., Pavlov V. Low amplitude of geomagnetic secular variations recorded in traps of the Southern Siberian platform – very fast emplacement or regional remagnetization? AGU General Assembly, 2011.

5. Марков Г.П., **Латышев А.В.**, Грибов С.К., Павлов В.Э. Предварительные результаты исследования самообращения остаточной намагниченности горных пород - Мат-лы международной школы-семинара "Проблемы палеомагнетизма и магнетизма горных пород". - СПб, изд-во "СОЛО", 2010.

6. **Латышев А.В.**, Марков Г.П., Павлов В.Э., Цельмович В.А. Магнитная минералогия пермо-триасовых вулканических пород Маймеча-Котуйской трапповой провинции (север Сибирской платформы). Там же.

7. Щербакова В.В., Щербаков В.П., Жидков Г.В., **Латышев А.В.** Определение палеонапряженности по Сибирским траппам Маймеча-Котуйской провинции. Там же.

8. **Latyshev A.V.**, Markov G.P., Tselmovich V.A. Magnetic mineralogy of the Onkuchaksky suite,

- Maymecha-Kotuy region of the Siberian platform. - тезисы конференции "Problems of GEOCOSMOS", 2010.
9. Веселовский Р.В., Константинов К.М., **Латышев А.В.**, Фетисова А.М. Оценка продолжительности формирования пермо-триасовых траппов севера Сибирской платформы палеомагнитным методом. – Мат-лы семинара «Палеомагнетизм и магнетизм горных пород», 2011.
10. Фетисова А.М., Павлов В.Э., Веселовский Р.В., **Латышев А.В.** Магнитостратиграфия пермо-триасовых траппов Маймеча-Котуйского района. Там же.
11. Щербакова В.В., Жидков Г.В., **Латышев А.В.**, Виноградов Ю.К. Об оценке вариаций палеонапряженности по Сибирским траппам Маймеча-Котуйской провинции (предварительный анализ результатов). Там же.
12. **Латышев А.В.** Веселовский Р.В., Фетисова А.М., Павлов В.Э. Результаты палеомагнитных исследований траппов юга Тунгусской синеклизы (р. Ангара): свидетельство интенсивной магматической активности. – Тез. конференции молодых учёных и аспирантов ИФЗ РАН, 2012.
13. **Латышев А.В.**, Цельмович В.А., Марков Г.П. Магнитная минералогия пермо-триасовых вулканических пород Норильского и Маймеча-Котуйского районов (Сибирская трапповая провинция). – Мат-лы IV Всероссийской молодежной научной конференции "Минералы: строение, свойства, методы исследования", Екатеринбург, 2012.
14. **Латышев А.В.**, Павлов В.Э., Веселовский Р.В., Фетисова А.М. Оценка длительности и интенсивности формирования эффузивных траппов Норильского района по палеомагнитным данным. - материалы международной школы-конференции «2-е Гординские чтения», Москва, 2012.
15. Щербакова В.В., Щербаков В.П., **Латышев А.В.**, Жидков Г.В., Виноградов Ю.К. Об оценке вариаций палеонапряженности по сибирским траппам Маймеча-Котуйской провинции (предварительный анализ). – Мат-лы международной школы-семинара по проблемам палеомагнетизма и магнетизма горных пород – СПб, 2012.
16. Фетисова А.М., Веселовский Р.В., **Латышев А.В.**, Павлов В.Э. Магнитостратиграфия траппов северной Сибири (Норильская и Маймеча-Котуйская провинции). Там же.
17. Pavlov V.E., Veselovskiy R.V., Khokhlov A., **Latyshev A.V.**, Fluteau F. Refined permo-triassic paleomagnetic pole for the Siberian platform and geomagnetic secular variations at the Paleozoic-Mesozoic boundary as recorded in volcanic traps key sections of northern Siberia. Abstract GP11A-0999, 2011, AGU, San Francisco, Calif.
18. **Латышев А.В.**, Веселовский Р.В., Фетисова А.М., Павлов В.Э. Результаты палеомагнитных исследований траппов Норильского района и Ангаро-Тасеевской впадины. – Материалы Всероссийской молодежной научно-практической конференции «Науки о Земле. Современное состояние». Геологический полигон «Шира», Хакасия, 2013.
19. **Латышев А.В.**, Веселовский Р.В., Фетисова А.М., Павлов В.Э. Результаты палеомагнитных исследований траппов Норильского района и бассейна р. Ангары (Сибирская платформа): свидетельства пульсационного характера магматизма. – Тез. конф. мол. учёных и аспирантов ИФЗ РАН, 2013.
20. Фетисова А.М., Веселовский Р.В., **Латышев А.В.**, Павлов В.Э. Корреляция лавовых толщ норильского и маймеча-котуйского районов Сибирской платформы // в сборнике Мат-лы III Международной конф. мол. ученых памяти ак. А.П.Карпинского. 2013 г. СПб. ВСЕГЕИ. С. 119–123.
21. Pavlov V., **Latyshev A.**, Veselovsky R., Fetisova A., Fluteau F. Secular Variations of the Geomagnetic Field at the Permo-Triassic Boundary and Time Constraints on Intensity of Magmatic and Volcanic Activity During the Formation of the South Siberian Traps. Materials of the Partnership Conference Geophysical observatories, multifunctional GIS and data mining. 30 September - 3 October 2013. Kaluga.
22. Pavlov V., **Latyshev A.**, Veselovsky R., Fetisova A., Fluteau F. Permo-triassic paleosecular variations and their bearing on estimation of duration of the Siberian trap emplacement. International workshop on paleomagnetism and rock magnetism. 7-12 October 2013, Kazan. Kazan (Volga region) Federal University. Book of abstracts. P.48.