

На правах рукописи



МИХЕЕВ Евгений Игоревич

**ПЕТРОЛОГИЯ И ГЕОХРОНОЛОГИЯ
МЕТАМОРФИЧЕСКИХ И ГРАНИТОИДНЫХ КОМПЛЕКСОВ
П-ОВА СВЯТОЙ НОС (ЗАБАЙКАЛЬЕ)**

Специальность 25.00.04 – Петрология и вулканология

АВТОРЕФЕРАТ диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Новосибирск, 2019

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского Отделения Российской Академии наук и Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»

Научный руководитель:

ВЛАДИМИРОВ Александр Геннадьевич, доктор геолого-минералогических наук, профессор, главный научный сотрудник Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск, главный научный сотрудник Новосибирского государственного университета

Официальные оппоненты:

МАКРЫГИНА Валентина Алексеевна, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, г. Иркутск

ДОНСКАЯ Татьяна Владимировна, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник Института земной коры СО РАН, г. Иркутск

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Геологический институт Сибирского отделения Российской академии наук, г. Улан-Удэ

Защита состоится 15 ноября 2019 г. в 13-00 на заседании диссертационного совета Д 003.067.03, созданного на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук, в конференц-зале.

Адрес 630090, г. Новосибирск, проспект академика Коптюга 3.

Факс: (383) 373-05-61; e-mail: turkina@igm.nsc.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИГМ СО РАН и на сайте <http://www.igm.nsc.ru> в разделе «Образование».

Автореферат разослан «01» октября 2019 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
доктор геол.-мин. наук

Туркина О.М.

Введение

Актуальность исследований. Для Центрально-Азиатского складчатого пояса ключевое значение имеют фанерозойские метаморфические комплексы гранулитовой и амфиболитовой фаций, изучение которых позволяет реконструировать геодинамические обстановки формирования, существовавшие в ходе аккреционно-коллизийных процессов и роста континентальной коры [Добрецов, 1981; Розен, Федоровский, 2001; Dobretsov et al., 2001; Владимиров и др., 2003, 2013; Condie, Aster, 2010; Ярмолюк и др., 2013; Xu et al., 2013; Condie, 2014; Крук, 2015; Травин, 2016а,б; Zheng et al., 2019]. Изучение проблем раннепалеозойского гранулитового и амфиболитового метаморфизма и ассоциирующего с ним ранне- и позднепалеозойского гранитоидного магматизма в юго-восточном обрамлении Сибирского кратона актуально для решения прикладных задач, связанных с геологическим картированием метаморфических и магматических комплексов.

Объектами исследования являются раннепалеозойские метаморфические комплексы п-ова Святой Нос и островов Чивыркуйского залива, а также пространственно связанные с ними ранне- и позднепалеозойские гранитоиды.

Цели и задачи исследования. Целью исследований является изучение метаморфизма и гранитоидного магматизма п-ова Святой Нос, их событийная корреляция с Ольхонским регионом.

Задачи исследований:

1. Характеристика метаморфических пород и гранитоидов п-ова Святой Нос на основе интерпретации геологических, минералого-петрографических, петрогеохимических и Sm-Nd изотопных данных.

2. Оценка возраста протолитов метаморфических пород, установление главных рубежей метаморфизма и гранитоидного магматизма, выделение этапов термической истории метаморфических и магматических пород п-ова Святой Нос на основе результатов радиологического датирования (U-Pb метод, цирконы, Ar-Ar метод, слюды, амфиболы).

3. Событийная корреляция главных рубежей проявления метаморфизма и гранитоидного магматизма п-ова Святой Нос (Забайкалье) и Ольхонского региона (Западное Прибайкалье).

Фактический материал и методы исследования. В основу работы положены материалы, полученные автором при проведении экспедиционных работ в 2009, 2013-2015 гг. – п-ов Святой Нос и восточное побережье оз. Байкал; 2010-2012, 2016 гг. – Приольхонье и о-в Ольхон. В разные годы автор участвовал в совместных полевых работах по теме диссертации в Западном Прибайкалье и Забайкалье с коллегами из ИГМ СО РАН, Новосибирск (А.Г. Владимиров, В.Г. Владимиров, И.Б. Корнева, И.В. Кармышева, А.Н. Пыряев., В.А. Пономарчук, В.В. Хлестов, Н.И. Волкова, Д.С. Юдин, А.В. Травин), ИГХ СО РАН, Иркутск (А.С. Мехоношин, А.А. Дорошков, Ю.П. Бенедюк), ГИН СО РАН, Улан-Удэ (Д.А. Орсов, А.А. Цыганков, Г.Б. Бурмакина, А.В. Малышев). В работе использованы геологические коллекции по Приольхонью, предоставленные научным руководителем – доктором геол.-мин наук А.Г. Владимировым, доктором геол.-мин.наук А.В. Травиным, кандидатами геол.-мин. наук

С.В. Хромых, Д.С. Юдиным, Н.И. Волковой, В.В. Хлестовым, (полевые сезоны 1993-2006 гг.).

Коллекция, использованная при выполнении работы, насчитывает 165 образцов. В ходе исследования для всех образцов были изучены петрографические шлифы, определены содержания петрогенных и рассеянных элементов. Также были определены концентрации петрогенных компонентов в породообразующих минералах метаморфических и магматических пород (62 анализа), изотопный состав неодима в породах (10 проб), получено 11 изотопных датировок U-Pb методом по цирконам и 23 - Ar-Ar методом по слюдам и амфиболам.

Содержания петрогенных компонентов определены методом РФА на спектрометре ARL-9900-XP в ЦКП МИИ ИГМ СО РАН, Новосибирск (аналитик Н.Г. Карманова), редких и редкоземельных элементов – методом ICP-MS на масс-спектрометре Finnigan Element в ЦКП МИИ ИГМ СО РАН, Новосибирск (аналитики И.В. Николаева, С.В. Палесский) и на масс-спектрометре Agilent 7500se в ЦКП Томского государственного университета, Томск. Определение состава породообразующих минералов проведено методом микрорентгеноспектрального анализа на анализаторе Camebax Micro в ЦКП МИИ ИГМ СО РАН, Новосибирск (аналитик Е.Н. Нигматулина). U-Pb геохронологические исследования выполнены методом TIMS на масс-спектрометре Finnigan MAT 262 (RPQ) в ГИ КНЦ РАН, Апатиты (аналитик Т.Б. Баянова), методом LA-SF-ICP-MS на масс-спектрометрах Element XR (Thermo Fisher Scientific, Германия) с системой пробоотбора лазерной абляции UP-213 (New Wave Research, США) в ГИН СО РАН, Улан-Удэ (аналитики В.Б. Хубанов, М.Д. Буянтуев) и ЦКП МИИ ИГМ СО РАН, Новосибирск (аналитики Д.В. Семенова, А.В. Карпов). Ar-Ar изотопно-геохронологические исследования проводились на масс-спектрометрах Micromass 5400 (Micromass Ltd.) и Argus (GV Instruments Ltd.) в ЦКП МИИ ИГМ СО РАН, Новосибирск (аналитики А.В. Травин, Д.С. Юдин, Д.А. Алексеев, Н.Г. Мурзинцев). Изотопный состав неодима анализировался на масс-спектрометре Finnigan MAT 262 (RPQ) в ГИ КНЦ РАН, Апатиты (аналитик Т.Б. Баянова). Обработка полученных геологических, геохимических и изотопно-геохронологических данных проводилась с использованием программ Microsoft Excel, CorelDraw, GCDKit, ArcMap, Isoplot, Glitter.

Защищаемые положения:

1. Метаморфические породы п-ова Святой Нос, представленные Bt-Cpx-Amp-Grt гнейсами, Bt-Amp гнейсами и амфиболитами, были сформированы в условиях высокотемпературной ступени амфиболитовой фации ($P = 6,2-7,2$ кбар, $T = 705-745^{\circ}\text{C}$). Возраст метаморфизма равен 455-445 млн лет (U-Pb, Zrn, TIMS). Составы протолитов отвечают магматическим породам известково-щелочной и субщелочной петрохимических серий. Возраст протолитов составляет 500-465 млн лет (U-Pb, Zrn, TIMS, LA-ICP-MS).

2. Гранитоидный магматизм п-ова Святой Нос отвечает двум этапам: 1) раннепалеозойский, в ходе которого были сформированы граниты I-типа (455-445 млн лет, геологические данные) и S-типа ($416 \pm 1,5$ млн лет, U-Pb, LA-ICP-MS); 2) позднепалеозойский (297-288 млн лет, U-Pb, LA-ICP-MS), с которым связано

формирование кварцевых монцонитов, сиенитов и субщелочных гранитоидов Святоносского массива и даек биотит-содержащих гранитов и лейкогранитов.

3. Раннепалеозойские метаморфические и гранитоидные комплексы п-ова Святой Нос и Ольхонского региона являются фрагментами единой аккреционно-коллизийной системы (Прибайкальский коллизийный метаморфический пояс). Они характеризуются близкой природой протолитов (вулканические, вулканогенно-осадочные и осадочные породы островных дуг, сопряженных с ними пред- и задуговых бассейнов) и временем проявления тектонотермальных событий в интервале 500-410 млн лет.

Научная новизна. Получены новые данные о геологической позиции, составе и возрасте метаморфических пород и гранитоидов п-ова Святой Нос. Приведена системная геохимическая характеристика метаморфических пород и гранитоидов (микроэлементный состав, метод ICP-MS). Получены новые Sm-Nd изотопные данные для гнейсов и амфиболитов п-ова Святой Нос. С использованием U-Pb (Zrn) и Ar-Ar (Amp, Bt, Ms) методов получены первые оценки возраста метаморфических пород и гранитоидов п-ова Святой Нос. На основе полученных данных выделены этапы метаморфизма и гранитоидного магматизма п-ова Святой Нос. Проведена сравнительная характеристика и событийная корреляция метаморфических и гранитоидных комплексов п-ова Святой Нос и Ольхонского региона.

Научная (теоретическая) значимость. Результаты исследований позволяют более полно охарактеризовать ранне- и позднепалеозойскую историю метаморфических и гранитоидных комплексов Западного Прибайкалья и Забайкалья, входящих в состав единого Прибайкальского коллизийного метаморфического пояса. Полученные результаты могут дополнить существующие геодинамические модели раннепалеозойских аккреционно-коллизийными событиями на юго-восточной окраине Сибирского кратона.

Практическая значимость. Результаты исследований метаморфических и гранитоидных комплексов Западного Прибайкалья и Забайкалья могут быть использованы при составлении геологических карт и легенд (Прибайкальская серия листов: N-48-XXIV, XXIX, XXX, N-49-II, VIII, XIV, XIX, XX), при проведении палеогеодинамических реконструкций южного обрамления Сибирского кратона для раннего палеозоя-мезозоя.

Соответствие результатов работы научным специальностям. Результаты работы соответствуют пунктам 1 (магматическая геология), 2 (магматическая петрология), 6 (метаморфизм) паспорта специальности 25.00.04.

Апробация работы и публикации. По теме диссертации опубликованы 32 работы, в том числе 6 статей в рецензируемых журналах из списка ВАК. Результаты исследований представлены в виде устных и стендовых докладов на 11 российских и международных конференциях в Новосибирске (2011, 2012, 2014, 2016, 2018 гг.), Иркутске (2012 г.), Улан-Удэ (2013 г.), Москве (2014 г.), Пекине (2015 г.), Томске (2017, 2018 гг.).

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения, изложена на 189 страницах, содержит 70 рисунков и 27 таблиц. Список литературы включает 143 наименования.

Благодарности. Автор выражает благодарность д.г.-м.н., профессору А.Г. Владимирову за руководство работой. За консультации и обсуждение различных аспектов работы, советы, замечания и комментарии автор благодарен докторам наук А.Э. Изоху, Н.Н. Круку, Ф.П. Леснову, С.Н. Рудневу, А.В. Травину, О.М. Туркиной, кандидатам наук А.В. Вишневному, В.Г. Владимирову, Н.И. Волковой, М.Л. Куйбиде, А.В. Куликовой, А.В. Лавренчуку, А.С. Мехоношину, Д.А. Орсоеву, В.П. Сухорукову, В.В. Хлестову, С.В. Хромых, Р.А. Шелепаеву. За техническую поддержку автор благодарен Т.В. Мирясовой, О.Ю. Дубровиной, А.В. Владимировой. Отдельная благодарность членам экипажей маломерных судов «Геолог» (к.т.н. А.В. Хромов, И.В. Громов, Г.Л. Задарновская) и «Гром» (С.Л. Черняк, Н.А. Астафьева) (г. Иркутск, пос. МРС) за проведение экспедиций по береговым обнажениям оз. Байкал и на п-ове Святой Нос в 2013-2015 гг. За короткое, но очень плодотворное сотрудничество автор благодарит профессора В.С. Федоровского (ГИН РАН, г. Москва). Выражается благодарность коллективам аналитических центров и лабораторий ГИН СО РАН, г. Улан-Удэ, ИГМ СО РАН, г. Новосибирск, ГИ КНЦ РАН, г. Апатиты, ТГУ, г. Томск. Автор благодарен своим друзьям-одногруппникам к.г.-м.н. Е.В. Ветрову, к.г.-м.н. П.Д. Котлеру, А.В. Медведю, Д.А. Немущенко, В.В. Никитиной, к.г.-м.н. И.А. Савинскому, С.В. Черниговскому за поддержку во время обучения на геолого-геофизическом факультете НГУ и весомый вклад в формирование личности автора. Всем вышеперечисленным, а также неупомянутым, но чувствующим свою причастность, автор выражает глубокую признательность.

Финансовая поддержка. Работа выполнена в рамках государственного задания ИГМ СО РАН, при поддержке Российского научного фонда (проект № 15-17-10010), Министерства науки и высшего образования РФ (проекты №№ 5.1688.2017/ПЧ, 14.Y26.31.0012), Российского фонда фундаментальных исследований (проекты №№ 12-05-31470, 14-05-00712, 14-05-00747, 15-05-10068).

Геологическое строение полуострова Святой Нос

Метаморфические комплексы п-ова Святой Нос и прилегающих территорий восточного берега оз. Байкал входят в состав Прибайкальского коллизионного метаморфического пояса [Донская и др., 2000; Рыцк и др., 2009]. На северо-западе исследуемые комплексы отделены акваторией оз. Байкал от структурно-вещественных комплексов Ольхонского метаморфического террейна и фундамента Сибирской платформы, на северо-востоке граничат с рифейским Байкало-Муйским островодужным террейном, на юго-востоке – с Баргузинским и Икатским террейнами, входящими в состав Баргузинского микроконтинента, и на юго-западе – с Хамар-Дабанским метаморфическим террейном [Беличенко и др., 2006] (рис. 1).

Метаморфические породы входят в состав святоносского и котерского комплексов (рис. 2). Они залегают в виде отдельных провесов кровли или ксеноблоков Ангаро-Витимского гранитоидного батолита. Уровень метаморфизма во всех случаях – не ниже амфиболитовой фации. Разрез святоносского комплекса представлен породами крестового и катковского подкомплексов. Крестовый подкомплекс сложен графитовыми мраморами с редкими прослоями гнейсов, сланцев и кварцитов. Катковский подкомплекс сложен биотит-амфиболовыми, биотитовыми амфиболовыми,

амфибол-гранат-биотитовыми, биотит-пироксеновыми, гранат-амфибол-пироксеновыми гнейсами, плагиогнейсами и сланцами, в подчиненном количестве – мраморами, амфиболитами. Тела мраморов в катковском подкомплексе достигают мощности 100-150 м и содержат многочисленные включения силикатных пород. В Приольхонье подобный тип структур назван мраморным меланжем [Федоровский и др., 1993, 2014; Скляр и др. 2013]. Породы катковского подкомплекса мигматизированы и прорваны телами гранитоидов, реже – дайками основных пород. Основным морфологическим типом мигматитов являются послынные (полосчатые) разности. Для пород святоносского комплекса устанавливается общее северо-восточное простирание [Цыренов, 1965; Давыдов, 1983]. Разрез котерского комплекса сложен биотит-амфиболовыми, биотитовыми, биотит-пироксеновыми гнейсами и сланцами, гранитогнейсами, графитовыми мраморами и редкими прослоями кварцитов и подразделяется на два подкомплекса: няндонинский, в котором преобладают силикатные породы, и баргузинский – с преобладанием карбонатных пород и подчиненным количеством гнейсов и сланцев [Зайцев, 1979; Давыдов, 1983]. Состав пород и геологическое строение котерского комплекса аналогичны с таковым для святоносского комплекса. Традиционно возраст святоносского и котерского комплексов считался докембрийским: архейским и верхнепротерозойским, соответственно [Салоп, 1964]. В ходе настоящей работы для пород святоносского комплекса на примере п-ова Святой Нос установлен раннепалеозойский возраст [Михеев и др., 2014].

Магматические образования имеют очень широкое развитие в исследуемом районе (85% территории). Почти полностью они представлены позднепалеозойскими (C_3 - P_1) гранитоидами, являющимися частью Ангаро-Витимского батолита и образующими сплошное поле, сложенное массивами штокообразной или неправильной формы [Литвиновский и др., 1993]. Разновидности пород представлены гранитами, лейкогранитами баргузинского комплекса, кварцевыми монцонитами, сиенитами чивыркуйского комплекса [Цыганков, 2014]. На п-ове Святой Нос указанные гранитоиды слагают одноименный Святоносский массив. К контактовым зонам Святоносского массива и вмещающих пород в районе руч. Маркова и мыса Рытого приурочены тела, сложенные андрадитовыми сиенитами (святоноситами) и сиенитами [Escola, 1921; Литвиновский, 1986].

Кроме того, магматические породы формируют многочисленные жилы и дайки, прорывающие непосредственно метаморфические породы. Эти тела разнообразны по своему составу: монцодиориты, диориты, сиениты, граниты, лейкограниты, плагиограниты и плагиолейкограниты, редко встречаются базитовые дайки.

Метаморфические комплексы п-ова Святой Нос

Изучены три главные группы пород, слагающие святоносский комплекс п-ова Святой Нос: 1) Vt - Cpx - Amf - Grt гнейсы, 2) амфиболиты и 3) Vt - и Vt - Amf гнейсы. Vt - Cpx - Amf - Grt гнейсы слагают северный блок метаморфических пород полуострова Святой Нос, амфиболиты и Vt - и Vt - Amf гнейсы – южный (см. рис. 2). Оценка PT -параметров метаморфизма Vt - Cpx - Amf - Grt гнейсов ($P = 6,2-7,2$ кбар, $T = 705-745$ °C) отвечает высокотемпературной ступени амфиболитовой фации [Михеев и др., 2014].

Другими авторами с помощью различных геотермобарометров получены оценки температур и давлений метаморфизма, отвечающие амфиболитовой и гранулитовой фациям: 1) $P = 8,5$ кбар, $T = 680-850$ °C [Макрыгина и др., 2008; Макрыгина, Антипин, 2018]; 2) $P = 7,5-10,5$ кбар, $T = 700-850$ °C [Лебедева и др., 2017].

Vt-Cpx-Amp-Grt гнейсы. По химическому составу они отвечают базальтам, андезибазальтам, андезитам и дацитам известково-щелочной серии (рис. 3) и согласуются с составами островодужных вулканитов [Фролова, Бурикова, 1997; Herrington et al., 2011]. Повышенные содержания CaO (7,5-10,5 мас. %) в средних и кислых разновидностях говорит о том, что их протолитами могли быть туффиты с повышенной карбонатной составляющей [Макрыгина и др., 2008; Макрыгина, Антипин, 2018]. По соотношениям индикаторных редких элементов Zr/TiO₂-Nb/Y [Winchester, Floyd, 1977] гнейсы соответствуют вулканитам нормальной щелочности (базальтам, андезитам, дацитам, риодацитам). В пользу вулканической природы протолита свидетельствуют содержащиеся в породе кристаллы циркона с магматической ростовой зональностью. Спектры распределения РЗЭ и мультиэлементные диаграммы согласуются со спектрами островодужных вулканитов (рис. 4, а). Спайдерграммы характеризуются надсубдукционными геохимическими метками в виде минимумов по Nb, Ti и максимумов по Sr (рис. 4, б). Слабоотрицательное значение $\epsilon Nd_{(500 \text{ млн лет})} = -1,7$ согласуется с изотопным составом островодужных вулканитов Индонезии и Юго-Восточного Вьетнама, для которых показано формирование из обогащенного мантийного источника с контаминацией коровым материалом [Whitford et al., 1981; Herrington et al., 2011; Владимиров и др., 2019, в печати].

Амфиболиты. Составы амфиболитов южной части п-ова Святой Нос согласуются с составами умеренно-щелочных базальтов (см. рис. 3, а) океанических островов [Фролова, Бурикова, 1997]. Для них характерны низкие содержания CaO, высокие – TiO₂, K₂O, Al₂O₃. Также характерны высокие содержания LILE, Zr, REE, близкие к OIB-базальтам (рис. 5, а-б). Обогащенный характер источника подчеркивается фракционированными спектрами распределения РЗЭ и значением $\epsilon Nd_{(500 \text{ млн лет})} = +1,7$. Характерны надсубдукционные метки в виде минимумов по Nb, Ti, максимуму по Sr, свидетельствующие о контаминации коровым материалом.

Vt- и Vt-Amp гнейсы. Протолитами биотитовых и биотит-амфиболовых гнейсов южной части п-ова Святой Нос могли служить вулканиты среднего и кислого состава (см. рис. 3, а-б). О магматическом генезисе протолита свидетельствуют содержащиеся в породе кристаллы циркона с магматической ростовой зональностью. По составу гнейсы сходны с островодужными вулканитами [Фролова, Бурикова, 1997]. Для них характерны низкие содержания Nb, Ta, высокие содержания Ba, Sr и фракционированные спектры РЗЭ (рис. 5, в-г), что сближает их с гранитами I-типа. Низкое отрицательное значение $\epsilon Nd_{(465 \text{ млн лет})} = -6,8$ говорит о значительном вкладе материала континентальной коры. Не исключено, что протолитами могли быть незрелые осадочные породы типа граувакк (CIA = 47,0-53,6).

Изученные метаморфические комплексы традиционно рассматривались как выступы докембрийского кристаллического фундамента [Салоп, 1964] и лишь в последнее время – в качестве раннепалеозойских образований, возникших в результате

аккреционно-коллизийных процессов [Зорин, 2009]. U-Pb методом (TIMS и LA-ICP-MS) по цирконам из гнейсов получены даты 495 ± 5 , $464 \pm 1,5$ и 450 ± 5 млн лет [Михеев и др., 2014]. Первые две датировки ($\text{C}_3\text{-O}_2$) получены по цирконам, характеризующимся осцилляторной зональностью, характерной для магматических цирконов, и, вероятно, отражают возраст магматического протолита. Датировка 450 ± 5 млн лет (O_3) получена по перекристаллизованным зернам циркона, характеризующимся однородной структурой и наиболее вероятно отражающим возраст метаморфизма святоносского комплекса.

Первое защищаемое положение. Метаморфические породы п-ова Святой Нос, представленные Bt-Cpx-Amp-Grt гнейсами, Bt-Amp гнейсами и амфиболитами, были сформированы в условиях высокотемпературной ступени амфиболитовой фации ($P = 6,2\text{-}7,2$ кбар, $T = 705\text{-}745^\circ\text{C}$). Возраст метаморфизма равен 455-445 млн лет (U-Pb, Zrn, TIMS). Составы протолитов отвечают магматическим породам известково-щелочной и субщелочной петрохимических серий. Возраст протолитов составляет 500-465 млн лет (U-Pb, Zrn, TIMS, LA-ICP-MS).

Гранитоидный магматизм п-ова Святой Нос

Характерной особенностью региона является широкое развитие кислых интрузий. Полученные геологические, геохимические и геохронологические данные позволяют выделить несколько типов гранитоидов, соответствующих следующим возрастным этапам: 455-445, $416 \pm 1,5$ и 297-288 млн лет.

1. *Субвертикальные жилы пегматоидных плагиогранитов северной части п-ова Святой Нос.* Плагиограниты характеризуются катакластическими структурами, неоднородными пегматоидными текстурами. Породы сложены кварцем (20-25 об. %), плагиоклазом (60-65 об. %), калиевым полевым шпатом (5-10 об. %). Характерно малое количество темноцветов в виде редких лейст биотита (0-1 об. %). Для плагиогранитов ($\text{SiO}_2 = 70,7$ мас. %) характерны высокие содержания CaO (3,4 мас. %), Na_2O (3,1 мас. %), Sr (386 г/т), низкие содержания Rb (61 г/т), Y (20 г/т) и умеренно низкие содержания K_2O (1,7 мас. %), фракционированные спектры РЗЭ ($(\text{La}/\text{Yb})_n = 193$). По классификации [Frost et al., 2001] они относятся к высокоглиноземистым магнезиальным кальциевым породам. Такие особенности состава позволяют рассматривать данные породы как гранитоиды низкокалиевого I-типа, что предполагает метабазитовый источник. Составы выплавки, близкие по содержаниям петрогенных компонентов к изученным гранитоидам, были получены в экспериментальных работах [Patino Douce, Beard, 1995] при плавлении синтетического кварцевого амфиболита. Составы плагиогранитов п-ова Святой Нос согласуются с составами плагиогранитов о-ва Ольхон [Антипин и др., 2014, 2018; Макрыгина, Антипин, 2018]. Изотопными методами возраст этих гранитоидов не установлен и принимается исходя из геологической позиции жил и по аналогии с другими подобными образованиями, встречающимися в складчатом обрамлении оз. Байкал в составе раннепалеозойских метаморфических комплексов. Например, для жил пегматоидных плагиогранитов, секущих сланцы черногневского комплекса в Забайкалье, установлен возраст $486,6 \pm 6,1$ млн лет (SHRIMP-II); близкое к нему значение ($462 \pm 8,1$ млн лет, SHRIMP-II) зафиксировано по циркону из

среднезернистого плагиогранита, развивающегося по сланцам черногравинского комплекса [Руденко и др., 2010]. Близкий возраст имеют синметаморфические жилы плагиогранитов ($488-477 \pm 2$ млн лет, TIMS) слюдянского комплекса на южном берегу оз. Байкал [Salnikova et al., 1998]. Широкое распространение плагиогранитов характерно также для Ольхонского метаморфического террейна: возраст многочисленных синметаморфических гранитоидных жил и даек укладывается в интервал 490-460 млн лет [Розен, Федоровский, 2001; Владимиров и др., 2004, 2008]. По аналогии с приведенными данными и предполагая, что жилы плагиогранитов п-ова Святой Нос являются синметаморфическими, можно принять их возраст в интервале 455-445 млн лет.

2. Полого залегающие дайки Grt-гранитов в северной части п-ова Святой Нос.

Граниты характеризуются катакластическими структурами, неоднородными пегматоидными текстурами. Породы сложены кварцем (20-25 об. %), калиевым полевым шпатом (55-60 об. %), плагиоклазом (5-10 об. %), редкими лейстами биотита (0-1 об. %). Для Grt-гранитов характерно неоднородное распределение граната с содержанием – 5-7 об. %. По минеральному и петрогеохимическому составу они соответствуют гранитам S-типа (высокоглиноземистые гранатосодержащие лейкограниты). Для гранитоидов такого состава наиболее вероятным является метаграувакковый источник – близкие по составу выплавки получены в экспериментальных работах по частичному плавлению метаграувакк [Vielzeuf, Montel, 1994; Montel, Vielzeuf, 1997]. Для Grt-гранитов установлен раннедевонский возраст $416 \pm 1,5$ млн лет (Zrn, LA-ICP-MS).

3. Главный объем гранитоидов п-ова Святой Нос представлен позднепалеозойскими кварцевыми монцонитами, сиенитами ($\text{SiO}_2 = 60,5-63,7$ мас. %, $\text{CaO} = 3,4-4,00$ мас. %, $\text{Na}_2\text{O} = 4,1-5,2$ мас. %, $\text{K}_2\text{O} = 3,7-5,5$ мас. %, ASI = 0,85-0,97, $\Sigma\text{PЗЭ} = 159-209$ г/т, $(\text{La}/\text{Yb})_n = 24-43$) и субщелочными гранитоидами ($\text{SiO}_2 = 67,1-73,4$ мас. %, $\text{CaO} = 1,2-2,3$ мас. %, $\text{Na}_2\text{O} = 3,4-4,5$ мас. %, $\text{K}_2\text{O} = 4,0-5,0$ мас. %, ASI = 0,97-1,08, $\Sigma\text{PЗЭ} = 103-239$ г/т, $(\text{La}/\text{Yb})_n = 36-57$) Святоносского массива и дайками биотитсодержащих гранитов и лейкогранитов ($\text{SiO}_2 = 72,05-74,65$ мас. %, $\text{CaO} = 0,74-1,66$ мас. %, $\text{Na}_2\text{O} = 3,08-4,52$ мас. %, $\text{K}_2\text{O} = 3,09-6,40$ мас. %, ASI = 0,98-1,13, $\Sigma\text{PЗЭ} = 36-260$ г/т, $(\text{La}/\text{Yb})_n = 12-57$), секущими породы массива и метаморфическую толщу в южной части п-ова Святой Нос. Породы имеют гнейсовидные текстуры и от мелкозернистых до среднезернистых либо порфиroidные структуры. Граниты сложены кварцем (30-35 об. %), калиевым полевым шпатом (50-60 об. %), плагиоклазом (5-15 об. %), биотитом (3-10 об. %), редко встречается мусковит (0-3 об. %) и амфибол (0-1 об. %). Кварцевые монцониты и сиениты сложены кварцем (5-15 об. %), плагиоклазом 40-50 об. %, калиевым полевым шпатом (35-45 об. %), амфиболом (5-15 об. %), биотитом (5-10 об. %). В порфиroidных разновидностях вкрапленники представлены калиевым полевым шпатом с размером зерен от 5 мм до 2 см. Составы пород согласуются с составами гранитоидов чивыркуйского, баргузинского и зазинского комплексов Ангаро-Витимского батолита [Цыганков, 2014]. Для баргузинских гранитоидов предполагается метатерригенный (коровый) источник, для кварцевых монцонитов и сиенитов чивыркуйского комплекса – смешанный мантийно-коровый источник, поздние дайки гранитов и лейкогранитов являются результатом

фракционной кристаллизации кварцево-монцитного состава [Цыганков, 2014]. Возраст Святоносского массива отвечает интервалу 297-288 млн лет (U-Pb, Zrn, LA-ICP-MS), что позволяет рассматривать его как часть позднепалеозойской крупной изверженной гранитоидной провинции (Ангаро-Витимский батолит) [Цыганков, 2014].

Второе защищаемое положение. *Гранитоидный магматизм п-ова Святой Нос отвечает двум этапам: 1) раннепалеозойский, в ходе которого были сформированы граниты I-типа (455-445 млн лет, геологические данные) и S-типа (416±1,5 млн лет, U-Pb, LA-ICP-MS); 2) позднепалеозойский (297-288 млн лет, U-Pb, LA-ICP-MS), с которым связано формирование кварцевых монцитов, сиенитов и субщелочных гранитоидов Святоносского массива и даек биотит-содержащих гранитов и лейкогранитов.*

Метаморфизм и гранитоидный магматизм Ольхонского региона

На современном эрозионном срезе Ольхонского региона обнажены метаморфические и магматические комплексы, глубина формирования которых отвечает уровням средней и нижней земной коры [Федоровский, 2004]. Уровень метаморфизма варьирует от эпидот-амфиболитовой до гранулитовой фации включительно, при этом наблюдается снижение PT-параметров метаморфизма в направлении с северо-запада на юго-восток. Вещественный состав метавулканических и метаосадочных толщ региона, представленных гнейсами и кристаллическими сланцами, амфиболитами, мраморами и кварцитами, отвечает их формированию в условиях задугового бассейна, островной дуги и преддугового бассейна [Макрыгина и др., 2007; Макрыгина, Антипин, 2018]. Многочисленные сдвиговые пластины, определяющие геологическую структуру Ольхонского региона, объединены в несколько тектонических зон, различающихся по составу слагающих их метаморфических и магматических пород, а также по степени метаморфизма [Федоровский и др., 2011; Донская и др., 2013]. В данной главе на основе опубликованных данных, дополненных новыми авторскими данными, рассматриваются метаморфические и гранитоидные комплексы следующих тектонических зон: 1) Чернорудская гранулитовая зона, 2) мегазона Анга-Сатюрты амфиболитовой фации метаморфизма на примере входящих в ее состав зон Нутгей и Прибрежная. Приводится обобщение данных по составу и возрасту метаморфических пород и гранитоидов с целью проведения событийной корреляции с метаморфическими комплексами и гранитоидами п-ова Святой Нос.

1. Чернорудская зона является наиболее глубокой в аккреционно-коллизонной системе ранних палеозоид Ольхонского террейна и характеризуется максимальной степенью метаморфизма. Возраст метаморфизма гранулитовой фации в Чернорудской зоне может быть принят в интервале 530-490 млн лет, возраст протолита – в интервале 635-610 млн лет [Gladkochub et al., 2008; Волкова и др., 2010; Гладкочуб и др., 2010; Владимиров и др., 2011, 2017]. Широкое распространение здесь имеют синметаморфические гранитоиды, представленные тремя типами: 1) синметаморфические интрузивные тела, параавтохтонные дайки и жилы, сложенные лейкократовыми гиперстеновыми плагиогранитами; 2) жилы и дайки ультракалийевых лейкогранитов; 3) субсогласные с метаморфическими породами жилы и дайки калий-

натровых биотит±мусковитовых лейкогранитов (шаранурский гранит-лейкогранитный комплекс). Геохимические данные и модельные численные расчеты свидетельствуют, что гиперстеновые плагиограниты были сформированы за счет метабазитовых субстратов – двупироксеновых ортогнейсов Чернорудской зоны, биотитовые калий-натровые лейкограниты – за счет плавления метапелитовых субстратов. Возраст гранитов первого типа – 500-490 млн лет, гранитов второго и третьего типов – 475-460 млн лет совпадает с временем метаморфизма гранулитовой и амфиболитовой фации, соответственно [Хромых, 2006; Владимиров и др., 2017].

2. Метаморфические породы амфиболитовой фации в зоне Нутгей образуют крупную правосдвиговую сигмоиду. Они отличаются пестрым литологическим составом (амфиболиты, кварциты, мраморы, мраморные меланжи). На примере данного участка В.С. Федоровским впервые обнаружены пакеты складок покровного типа, а также синкинематические (синпокровные) граниты, отвечающие этапу покровных деформаций. Возраст синпокровных гранитов находится в интервале от 490 до 480 млн лет [Михеев и др., 2017].

3. Структура Прибрежной зоны представлена сложным переплетением многочисленных сдвиговых пластин, образованных гранитогнейсами, мигматитами, амфиболитами, кварцитами, мраморами [Федоровский, Скляр, 2010]. Уровень метаморфизма Прибрежной зоны отвечает амфиболитовой фации. Составы амфиболитов Прибрежной зоны согласуются с составами основных метавулканитов Ольхонского региона [Макрыгина и др., 1992], отвечая толеитовым базальтам N-MORB типа. Характерной особенностью в геологическом строении Прибрежной зоны является наличие крупных гранитоидных массивов: Тутаийский и Южно-Ольхонский [Донская и др., 2013]. Метаморфические породы и породы гранитоидных массивов прорываются жилами пегматоидных лейкогранитов.

Обобщение многочисленных опубликованных и авторских данных позволяет реконструировать следующую последовательность геологических событий для метаморфических комплексов гранулитовой и амфиболитовой фаций Ольхонского метаморфического террейна.

Первый этап (500-480 млн лет) – метаморфизм гранулитовой фации, деформации покровного типа, синметаморфический гранитоидный магматизм, представленный автохтонными гранитоидами в мигматизированных толщах, жилами и дайками гиперстеновых плагиогранитов, реликтами лейкогранитов в складках покровного генезиса зоны Нутгей, гранитоидами массивов Тутаи, Южно-Ольхонский Прибрежной зоны;

Второй этап (475-460 млн лет) – метаморфизм амфиболитовой фации, который сопровождался наибольшим объемом гранитоидного магматизма, представленного гранитоидами шаранурского комплекса (Шаранурский гранито-гнейсовый купол, жилы и дайки лейкогранитов зон Чернорудской и Анга-Сатюрты) [Владимиров и др., 2004; Макрыгина и др., 2014; Антипин и др., 2014, 2018; Макрыгина, Антипин, 2018].

Третий этап (450-390 млн лет) – характеризуется отсутствием магматизма и отражает динамику тектонического экспонирования глубинных геологических комплексов, термическая история которых фиксируется по возрасту закрытия K-Ar

изотопных систем амфибола и слюд на соответствующих глубинах [Травин и др., 2009; Травин, 2016а, б].

Событийная корреляция метаморфических и гранитоидных комплексов п-ова Святой Нос (Забайкалье) и Ольхонского региона (Западное Прибайкалье)

Географическая сопряженность районов и схожесть геологического строения послужили основанием для корреляции, опираясь на геологические, петрографические, геохимические, изотопные и геохронологические данные. Для метаморфических толщ Забайкалья (п-ов Святой Нос, о-ва Чивыркуйского залива) и Западного Прибайкалья (Ольхонский регион) устанавливается общее северо-восточное простирание геологических структур. Характерным структурным индикатором, отражающим наличие сдвиговых деформаций, являются зоны мраморного меланжа (мраморно-силикатные смеси) в обоих регионах. Сходство метаморфических пород северной части п-ова Святой Нос и Чернорудской зоны Ольхонского метаморфического террейна показано в работах В.А. Макрыгиной с соавторами [2004, 2007, 2008, 2018].

В строении тектонических зон Ольхонского региона участвуют очень пестрые по составу породы, в связи с чем не имеет смысла сопоставлять метаморфические комплексы п-ова Святой Нос с какой-либо конкретной тектонической зоной Ольхонского региона, а логичнее проводить сопоставление по группам пород. В разрезе метаморфических толщ п-ова Святой Нос, островов Чивыркуйского залива и восточного берега оз. Байкал широко представлены метамагматические породы, среди которых выделены три группы: 1) амфиболиты (метабазальты); 2) Cpx-Amp-Grt-Vt гнейсы (метавулканиты, $\text{CaO} > 5$ мас. %); 3) $\text{Vt}\pm\text{Amp}$ гнейсы (метавулканиты/метаграувакки, $\text{CaO} < 5$ мас. %).

Амфиболиты Общей особенностью амфиболитов п-ова Святой Нос является их принадлежность к субщелочному ряду и сходство с ОИВ-базальтами. В Ольхонском регионе амфиболиты участвуют в строении зон Анга-Сатюргы, Прибрежной, Ангинской и в составе комплекса Орсо. В отличие от амфиболитов п-ова Святой Нос для Ольхонского террейна, кроме Ангинской зоны, характерны амфиболиты толеитового состава с РЗЭ-спектрами близкими к базальтам типа N-MORB. В строении Ангинской зоны участвуют амфиболиты известково-щелочной, субщелочной и щелочной серий [Макрыгина и др., 1992; Makrygina, Petrova, 1998; Donskaya et al., 2017], что сближает их с изученными амфиболитами и гнейсами п-ова Святой Нос. Известково-щелочные амфиболиты Ангинской зоны (пластина Цаган-Заба) характеризуются обогащением легкими РЗЭ и по содержанию лантаноидов близки к известково-щелочным базальтам. Субщелочные и щелочные амфиболиты Ангинской зоны, так же как и субщелочные амфиболиты п-ова Святой Нос, характеризуются распределением РЗЭ подобным базальтам ОИВ. Отличительной особенностью в составе щелочных-субщелочных амфиболитов Ангинской зоны является повышенное содержание TiO_2 (2,0 – 4,3 мас. %), Fe_2O_3 (10 – 14 мас. %), P_2O_5 (0,5 – 1,4 мас. %) и пониженные содержания MgO (2,5 – 5,5 мас. %) [Макрыгина и др., 1992]. В редкоэлементном составе всех без исключения амфиболитов присутствуют надсубдукционные метки, т.е. отрицательные аномалии по Nb, P, Ti и положительные аномалии по Sr.

Srx-Amp-Grt-Bt гнейсы (метавулканииты, $CaO > 5$ мас. %) входят в состав метаморфических толщ северной части п-ова Святой Нос и о-вов Чивыркуйского залива. Протолитом гнейсов являются вулканииты известково-щелочной (от базальтов до дацитов) серии и согласуются с составами магматических пород островодужных обстановок [Фролова, Бурикова, 1997]. В Ольхонском регионе основные и средние гнейсы имеют наибольшее распространение в пределах Чернорудской гранулитовой зоны (Приольхонье, п-ов Хадарта и мыс Хобой). Для гнейсов Чернорудской зоны Западного Прибайкалья является обычной двупироксеновая ассоциация. В минеральном составе гнейсов, представленных в изученных опорных обнажениях п-ова Святой Нос и о-вов Чивыркуйского залива, ортопироксен не был обнаружен. Хотя локально его наличие в ассоциации с клинопироксеном установлено другими исследователями на примере замковых частей изоклинальных складок метаморфической толщи о-ва Лохматый (другое название острова – Кылытгей) в Чивыркуйском заливе [Лебедева и др., 2017]. Основные гнейсы Ольхонского региона, в отличие от таковых п-ова Святой Нос, в большей мере отвечают толеитовой серии с РЗЭ спектрами близкими к E-MORB [Макрыгина и др., 1992; Гладкочуб и др., 2010]. Средние и кислые разновидности гнейсов соответствуют известково-щелочной серии со спектрами РЗЭ, близкими к островодужным вулканиитам [Владимиров и др., 2017] и согласуются с составами гнейсов п-ова Святой Нос.

В целом для основных и средних метавулканиитов п-ова Святой Нос характерна более высокая щелочность, в строении Ольхонского региона существенную роль играют породы толеитовой серии (рис. 6, а-б). Геодинамические диаграммы [Pearce, Cann, 1973; Pearce, 1982] (рис. 6, в-г) показывают, что составы основных метавулканиитов п-ова Святой Нос отвечают полю островодужных базальтов и за счет повышенных содержаний Zr – полю внутриплитных пород, для пород Ольхонского региона характерен более пестрый состав, отвечающий полям MORB, островодужных толеитов и также известково-щелочных базальтов. Sm-Nd изотопные данные согласуются с геохимическими. Амфиболиты п-ова Святой Нос ($\epsilon Nd_{(500)} = +1,7$) характеризуются более обогащенным источником по сравнению с амфиболитами (метагабброидами и метабазальтами) Ольхонского террейна ($\epsilon Nd_{(500)} = +3,1...+7,8$). Изотопные данные для *Srx-Amp* гнейсов северной части п-ова Святой Нос ($\epsilon Nd_{(500)} = -1,7$, $T_{DM} = 1,4$ млрд лет) показывают формирование из более обогащенного источника по сравнению с гнейсами Чернорудской гранулитовой зоны ($\epsilon Nd_{(630)} = +3,61...+3,79$, $T_{DM} = 1211-1079$ млн лет). Полученные данные показывают, что метавулканические породы обоих регионов формировались из разнообразных источников, но для пород п-ова Святой Нос характерно участие относительно более обогащенных мантийных источников и больший вклад материала континентальной коры. Эти данные согласуются с данными [Макрыгина и др., 2010], где на основе Sm-Nd изотопных данных показано различие источников для метамагматических пород Ангинской зоны Ольхонского региона и таланчанского метаморфического комплекса Забайкалья.

Bt±Amp гнейсы южной части п-ова Святой Нос по составу отвечают средним и кислым вулканическим породам нормального ряда щелочности и согласуются по химическому составу с *Bt*- и *Bt-Grt* гнейсами в Ольхонском регионе, распространенными главным образом в пределах зон Анга-Сатюрты и Прибрежной.

Протолитами данных пород являются кислые вулканиты, либо незрелые осадочные породы типа граувакк. Изотопные данные для кислых $Vt \pm Amp$ гнейсов п-ова Святой Нос ($\epsilon Nd_{(470)} = -6,8$, $T_{DM-2st} = 1,7$ млрд лет) также согласуются с составом гнейсов, гранитогнейсов и гранитов зоны Анга-Сатюрты ($\epsilon Nd_{(470)} = -9,48 \dots -3,67$, $T_{DM-2st} = 1,9-1,4$ млрд лет).

Модельные возрасты гнейсов п-ова Святой Нос (1,5-1,4 млрд лет) указывают на вклад рифейского корового материала, что согласуется с данными о смешанном источнике, включающем материал ювенильной каледонской коры и протерозойской коры Баргузинского микроконтинента [Коваленко др., 1996, 1999, 2003; Kovalenko et al., 2004; Гладкочуб и др., 2010; Макрыгина и др., 2010; Donskaya et al., 2017]. С другой стороны, Sm-Nd модельные возрасты свидетельствуют о том, что в формировании протолитов изученных метаморфических толщ Забайкалья не участвовали архейские геологические комплексы Сибирского кратона, что характерно для пород гранитогнейсовых куполов зоны Анга-Сатюрты Ольхонского террейна [Владимиров и др., 2008].

На основе U-Pb датировок по циркону для геологических комплексов п-ова Святой Нос на раннепалеозойское время устанавливается возраст протолита метавулканитов в интервале от 500 до 465 млн лет и последующего метаморфизма (перекристаллизованные однородные кристаллы циркона) – 450 ± 5 млн лет. Возрастному рубежу пика метаморфизма, вероятно, соответствовал гранитоидный магматизм, представленный жилами пегматоидных плагиогранитов северной части п-ова Святой Нос. Эти события совпадают с этапами метаморфизма и магматизма в Ольхонском регионе, фиксируемыми U-Pb изотопными системами по циркону (рис. 7). Следующий возрастной этап связан с формированием даек Grt-гранитов п-ова Святой Нос – 416 ± 2 млн лет (U-Pb, Zrn). Данный рубеж совпадает с тектонотермальными метаморфическими событиями в Ольхонском регионе, фиксируемыми только на основе K-Ar изотопных систем слюд и амфиболов.

Следующий этап эндогенной активности на п-ове Святой-Нос проявляется в позднем палеозое и связан с формированием гранитоидов Святоносского массива – 297-288 млн лет (U-Pb, Zrn и Ar-Ar, Amp). На основе Ar-Ar датировок по амфиболу и биотиту из гнейсов и позднепалеозойских гранитоидов п-ова Святой Нос устанавливается позднепалеозойская-мезозойская история геологических толщ Забайкалья, которую можно разделить на следующие этапы: 257-243, 220-214 и 185-167 млн лет. Эти этапы коррелируют с позднепалеозойским-мезозойским рифтообразованием и магматизмом в Центрально-Азиатском складчатом поясе [Ярмолюк и др., 2013; Складчиков и др., 1997; Donskaya et al., 2008; Mazukabzov et al., 2011; Donskaya, Mazukabzov, 2014; Донская, и др., 2016]. Позднепалеозойские-мезозойские этапы в Ольхонском террейне не фиксируются (см. рис. 7).

Третье защищаемое положение: *Раннепалеозойские метаморфические и гранитоидные комплексы п-ова Святой Нос и Ольхонского региона являются фрагментами единой аккреционно-коллизийной системы (Прибайкальский коллизийный метаморфический пояс). Они характеризуются близкой природой протолитов (вулканические, вулканогенно-осадочные и осадочные породы*

островных дуг, сопряженных с ними пред- и задуговых бассейнов) и временем проявления тектонотермальных событий в интервале 500-410 млн лет.

Заключение

В диссертационной работе приведены результаты геологических, изотопно-геохимических и геохронологических исследований метаморфических пород и гранитоидов п-ова Святой Нос и островов Чивыркуйского залива (Забайкалье). Проведен их сравнительный анализ с породами Ольхонского метаморфического террейна (Западное Прибайкалье).

Метаморфические комплексы п-ова Святой Нос, о-вов Чивыркуйского залива являются фрагментом Прибайкальского коллизионного метаморфического пояса. Возраст метаморфизма святоносского комплекса оценен в 455-445 млн лет. Уровень метаморфизма, определенный по Sprx-Amp-Grt-Bt гнейсам, отвечает высокотемпературной ступени амфиболитовой фации ($P = 6,2-7,2$ кбар, $T = 705-745^\circ\text{C}$). Составы протолитов (500-464 млн лет) гнейсов и амфиболитов отвечают магматическим породам известково-щелочной и субщелочной серий, реже встречаются толеитовые разновидности. Сравнение геохимических и Sm-Nd изотопных данных для метавулканических пород п-ова Святой Нос и Ольхонского региона показывают, что породы обоих регионов формировались из разнообразных источников, но для пород п-ова Святой Нос характерно участие относительно более обогащенных мантийных источников и большой вклад материала континентальной коры. Протерозойские модельные возрасты для пород п-ова Святой Нос (1,5-1,4 млрд лет) свидетельствуют о том, что в формировании протолитов изученных метаморфических толщ Забайкалья не участвовали архейские геологические комплексы Сибирского кратона, что характерно для Ольхонского террейна.

Выделяется два этапа гранитоидного магматизма на п-ове Святой Нос: 1) раннепалеозойский, в ходе которого формировались граниты I-типа (455-445 млн лет) и S-типа ($416 \pm 1,5$ млн лет); 2) позднепалеозойский (297-288 млн лет), с которым связано формирование больших объемов субщелочных гранитоидов баргузинского комплекса, кварцевых монцитонитов и сиенитов чивыркуйского комплекса и поздних даек биотитсодержащих гранитов и лейкогранитов.

Геологические события раннепалеозойского этапа отражают формирование метаморфических комплексов п-ова Святой Нос и Ольхонского региона в пределах одной аккреционно-коллизионной системы Прибайкалья-Забайкалья (Прибайкальский коллизионный метаморфический комплекс), что подтверждается U-Pb датировками по циркону. Очевидное различие наблюдается на позднепалеозойском-мезозойском этапе, который не фиксируется никакими изотопными системами для Ольхонского метаморфического террейна, а для пород п-ова Святой Нос очевидно проявлен и коррелирует с этапами масштабного преобразования литосферы в Забайкалье.

Основные публикации по теме диссертации

Статьи в рецензируемых журналах

1. Владимиров А.Г., Владимиров В.Г., Волкова Н.И., Мехоношин А.С., Бабин Г.А., Травин А.В., Колотилина Т.Б., Хромых С.В. Юдин Д.С., Кармышева И.В.,

Корнева И.Б., **Михеев Е.И.** Роль плюм-тектоники и сдвигово-раздвиговых деформаций литосферы в эволюции ранних каледонид Центральной Азии // Известия Сибирского отделения Секция наук о Земле РАЕН. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2011. – № 1 (38). С 105-119.

2. Мехоношин А.С., Владимиров А.Г., Владимиров В.Г., Волкова Н.И., Колотилина Т.Б., **Михеев Е.И.**, Травин А.В., Юдин Д.С., Хлестов В.В., Хромых С.В. Реститовые гипербазиты в коллизионной системе ранних каледонид Западного Прибайкалья // Геология и геофизика - 2013. - Т. 54. - № 10. - С. 1562-1582.

3. **Михеев Е.И.**, Владимиров А.Г., Волкова Н.И., Баянова Т.Б., Травин А.В., Юдин Д.С., Мехоношин А.С., Орсов Д.А. Термохронология гранулитов п-ова Святой Нос (Забайкалье) // Доклады Академии наук. - 2014. – Т. 455. - № 3. – С. 317-322.

4. **Михеев Е.И.**, Владимиров А.Г., Федоровский В.С., Баянова Т.Б., Мазукабзов А.М., Травин А.В., Волкова Н.И., Хромых С.В., Хлестов В.В., Тишин П.А. Возраст синпокровных гранитов в аккреционно-коллизионной системе каледонид Западного Прибайкалья // Доклады Академии наук. – 2017. – том 472. - № 5. – с. 1–7.

5. Владимиров А.Г., Мехоношин А.С., Хромых С.В., **Михеев Е.И.**, Травин А.В., Волкова Н.И., Колотилина Т.Б., Давыденко Ю.А., Бородин Е.В., Хлестов В.В. Динамика мантийно-корового взаимодействия на глубинных уровнях коллизионных орогенов (на примере Ольхонского региона, Западное Прибайкалье) // Геодинамика и тектонофизика. 2017. Т. 8. № 2. С. 223–268.

6. Травин А.В., Владимиров А.Г., Цыганков А.А., Ханчук А.И., Эрнст Р., Мурзинцев Н.Г., **Михеев Е.И.**, Хубанов В.Б. Геодинамика и термохронология Ангаро-Витимского гранитоидного батолита, Забайкалье, Россия // Доклады Академии наук. – 2019, в печати.

Тезисы докладов на российских и международных конференциях

1. **Михеев Е.И.**, Владимиров А.Г., Волкова Н.И., Баянова Т.Б., Травин А.В., Юдин Д.С., Мехоношин А.С., Орсов Д.А. Изотопное датирование (U-Pb, Ar-Ar) и геодинамическая интерпретация гранулитов п-ова Святой Нос, Забайкалье // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту): Материалы совещания (г. Иркутск, 17-20 окт. 2012 г.). Вып. 10. – Иркутск: ИЗК СО РАН, 2012. – Т. 2. – С. 23-24.

2. **Михеев Е.И.**, Владимиров А.Г., Федоровский В.С., Баянова Т.Б., Хлестов В.В. Возраст синпокровных гранитов в аккреционно-коллизионной системе ранних каледонид Западного Прибайкалья // Тектоника складчатых поясов Евразии: сходство, различие, характерные черты новейшего горообразования, региональные обобщения. Материалы XLVI Тектонического совещания Том II. М.: ГЕОС, 2014. - С. 8-12.

3. **Михеев Е.И.** Синметаморфические граниты в коллизионной системе ранних каледонид Прибайкалья // Граниты и эволюция Земли: граниты и континентальная кора: Материалы II международной геологической конференции, 17-20 августа 2014 г., Новосибирск, Россия. – Новосибирск: Издательство СО РАН, 2014. – С. 142-144.

4. **Mikheev E.I.** Correlation of the Paleozoic igneous and metamorphic complexes of Transbaikalia // Abstracts of First China-Russian International Meeting on the Central

Asian Orogenic Belt and IGCP 592 Workshop. Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences. 23-25 September, 2015, Conference in Beijing & 25-28 field excursion in Inner Mongolia, China. - P. 56-58.

5. **Mikheev E.I.** Correlation of granitoids and metamorphic complexes of an Early Paleozoic collisional system of Transbaikalia // 8th International Siberian early career geoscientists conference. Proceedings of the conference. 13-24 June 2016 (Novosibirsk, Russia). p. 53-54.

6. **Михеев Е.И.**, Владимиров А.Г., Травин А.В., Хубанов В.Б. Палеозойские гранитоиды Байкальской складчатой области (на примере п-ова Святой Нос) // Петрология магматических и метаморфических комплексов. Вып. 9. Материалы IX Всероссийской петрографической конференции с международным участием. – Томск: Изд-во Томского ЦНТИ. 2017. – 316-321 с.

7. **Михеев Е.И.**, Владимиров А.Г., Травин А.В., Волкова Н.И., Хлестов В.В. Метаморфические комплексы п-ова Святой Нос и Восточного побережья оз. Байкал (Забайкалье): геохимия, возраст, Sm-Nd изотопные данные // Материалы X Всероссийской петрографической конференции с международным участием «Петрология магматических и метаморфических комплексов». Томск (27 ноября – 30 ноября) 2018. С. 253-257.

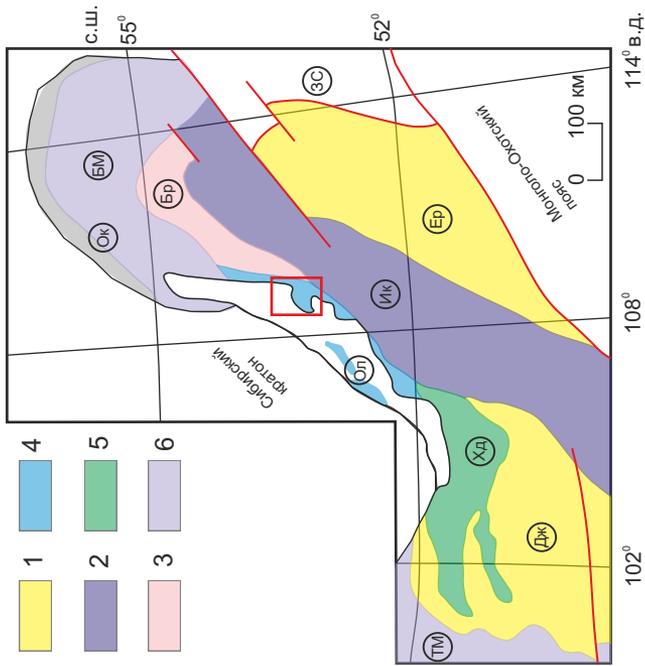


Рис. 1. Схема террейнов в южном обрамлении Сибирского кратона, из работы [Беличенко, Гелетий, Бараш, 2006], с изменениями. 1-5 – террейны раннепалеозойские: 1 – островодужные, 2 – турбидитовый, 3-5 – метаморфические (Прибайкальский коллизонный метаморфический пояс); 6 – террейны рифейские. Террейны: Дж – Джидинский, Ер – Еравнинский, Ик – Икатский, Бр – Баргузинский, Ол – Ольхонский, Хд – Хамардабанский, ТМ – Тувино-Монгольский, БМ – Байкало-Муйский, Ок – Олоkitский, ЗС – Западно-Становой. Красной рамкой показано положение п-ова Святой Нос.

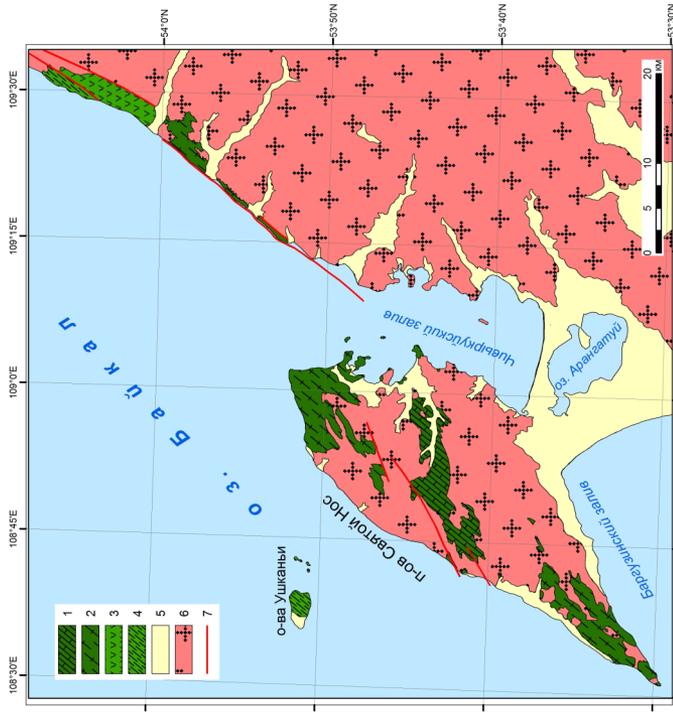


Рис. 2. Схема геологического строения п-ова Святой Нос. Составлена на основе геологических карт масштаба 1:200 000 (листы N-49-XIV, XIX, XX) [Цыренов, 1965; Зайцев, 1979; Давыдов, 1983]. 1-2 – святоносский комплекс: 1 – крестовый подкомплекс (графитовые мраморы с прослоями кварцитов, кристаллические сланцы и гнейсов), 2 – катковский подкомплекс (кристаллические сланцы и гнейсы, амфиболиты с прослоями мраморов); 3-4 – котерский комплекс: 3 – няндонинский подкомплекс (гнейсы, кристаллические сланцы с прослоями мраморов), 4 – баргузинский подкомплекс (мраморы с прослоями гнейсов, сланцев и кварцитов); 5 – неоген-четвертичные отложения; 6 – позднепалеозойские гранитоиды (С₃-Р₁), нерасчлененные; 7 – разломы.

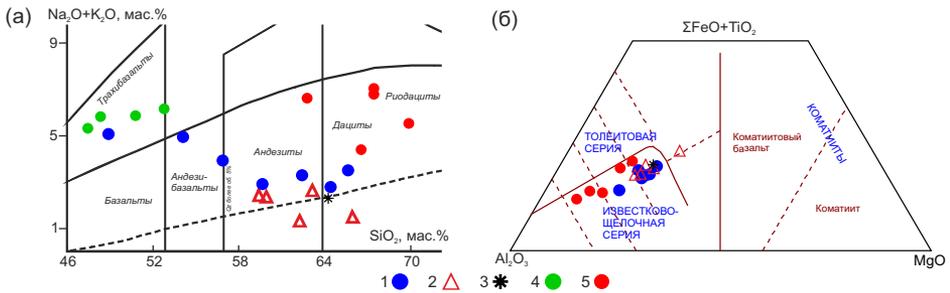


Рис. 3. Положение точек составов гнейсов и амфиболитов п-ова Святой Нос и о-ва Лохматый на TAS-диаграмме [Магматические..., 1983] (а) и диаграмме (Fe+Ti)-Mg-Al [Jensen, 1996] (б). 1-3 - Bt-Cpx-Amp-Grt гнейсы; 1 – мыс Фертик; 2 – мыс Онгоконский; 3 – о-в Лохматый; 4 - амфиболиты; 5 - Bt и Bt-Amp гнейсы.

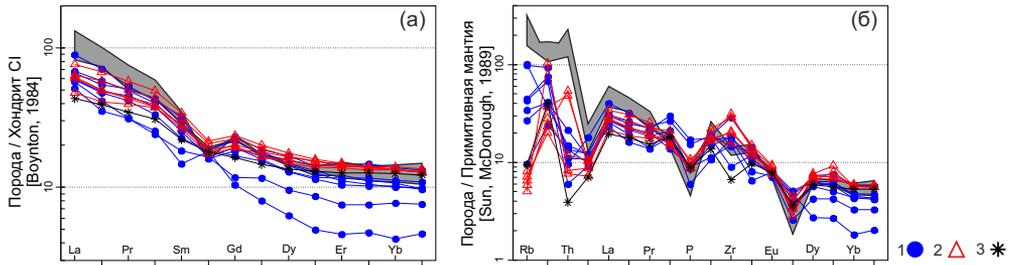


Рис. 4. Положение точек составов Bt-Cpx-Amp-Grt гнейсов северной части п-ова Святой Нос и о-ва Лохматый на спектрах распределения РЗЭ (а) и мультиэлементных спектрах (б). 1 – мыс Фертик; 2 – мыс Онгоконский; 3 – о-в Лохматый. Серым фоном показаны составы вулканитов островной дуги Банда, Индонезия [Herrington, et al., 2011].

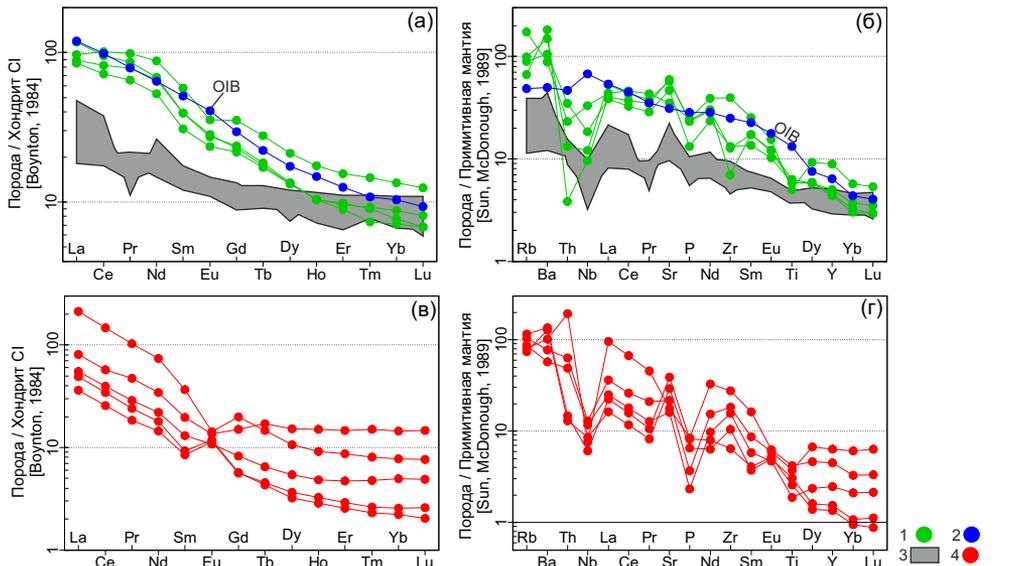


Рис. 5. Положение точек составов метаморфических пород южной части п-ова Святой Нос на спектрах распределения РЗЭ (а, в) и мультиэлементных спектрах (б, г). 1 – амфиболиты; 2 – средний состав базальтов OIB по [Sun, McDonough, 1989]; 3 – известково-щелочные базальты островных дуг по [Kelemen et al., 2003]; 4 – гнейсы.

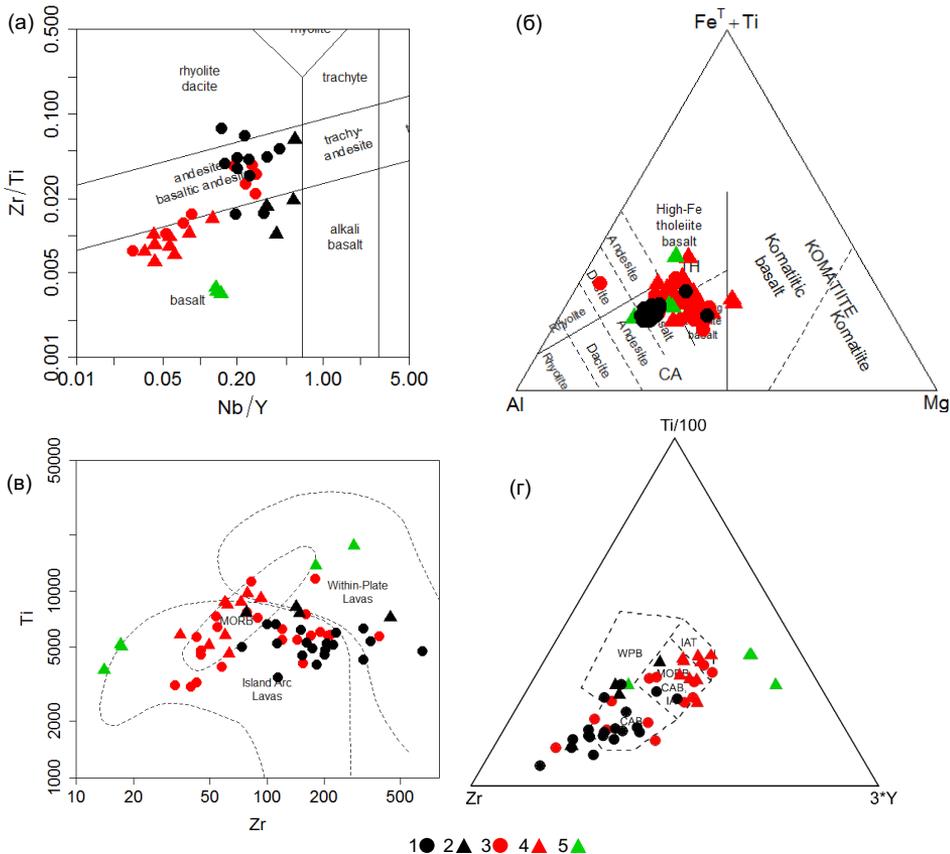


Рис. 6. Сравнение составов метабазитов п-ова Святой Нос и Ольхонского региона на диаграммах: (а) Nb/Y-Zr-Ti [Winchester, Floyd, 1976; Pearce, 1996], (б) Al-Fe+Ti-Mg [Jensen, 1976], (в) Zr-Ti [Pearce, 1982], (г) Zr-Ti $100-3^*Y$ [Pearce, Cann, 1973]. 1-2 - п-ов Святой Нос: 1 - Срх-Амп-Грт-Bt гнейсы, 2 - амфиболиты; 3-4 - Ольхонский регион, кроме Ангинской зоны: 3 - основные гнейсы, 4 - амфиболиты; 5 - амфиболиты Ангинской зоны Ольхонского региона. Исползованы данные [Макрыгина и др., 1992, 2008; Макрыгина, Petrova, 1998; Гладкочуб и др., 2010; Donskaya et al., 2017; Владимиров и др., 2017].

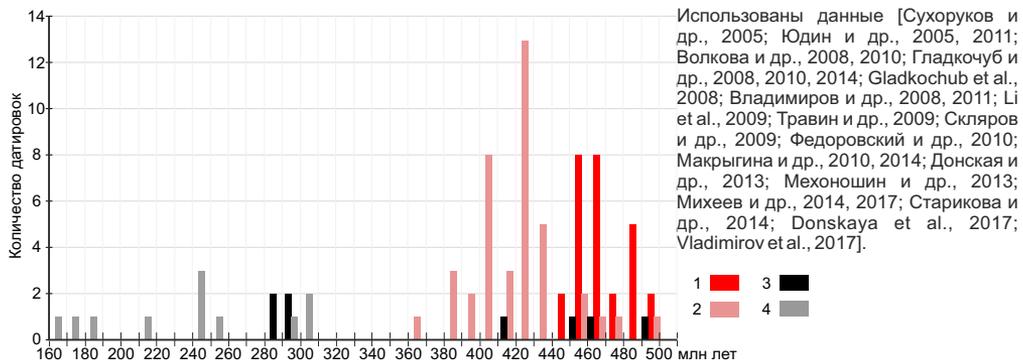


Рис. 7. Гистограмма распределения U-Pb (Zrn) и Ar-Ar (Amp, Bt, Ms) датировок для метаморфических и магматических пород Ольхонского региона и п-ова Святой Нос. 1-2 - Ольхонский регион: 1 - U-Pb, 2 - Ar-Ar; 3-4 - п-ов Святой Нос: 3 - U-Pb, 4 - Ar-Ar.