

УДК [551.7:552.4](571.66)

Светлой памяти
Михаила Михайловича Лебедева,
нашего учителя и коллеги, посвящаем

МЕТАМОРФИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ СРЕДИННОКАМЧАТСКОГО КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО МАССИВА: ИЗОТОПНО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ВОЗРАСТ

© 2015 г. И. А. Тарарин, З. Г. Бадрединов

Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, г. Владивосток

e-mail: itararin@mail.ru, badre9@mail.ru

Поступила в редакцию 20.12.2013 г., получена после доработки 19.02.2014 г.

Проведен детальный анализ изотопно-геохронологических и изотопно-геохимических данных, полученных в последнее время разными исследователями, в том числе авторами настоящей работы, для метаморфических образований Срединного хребта Камчатки, формировавшихся в пределах мелового окраинно-континентального осадочного бассейна. Сделан вывод об одновозрастности всех метаморфических комплексов, которые представляют собой не стратифицированные во времени образования, а последовательность метаморфических фаций от наиболее высокотемпературных в ядре метаморфической зоны до низкотемпературных на ее флангах, что обусловлено процессами метаморфизма, гранитизации и формирования гранитогнейсовых куполов около 52 млн лет назад. Эти процессы привели к резкому воздыманию центральных частей метаморфической зоны хребта, их интенсивной эрозии, обусловив повсеместные тектонические взаимоотношения между глубоко- и слабометаморфизованными образованиями.

Ключевые слова: стратиграфия, метаморфические комплексы, U-Pb (SHRIMP) возраст, окраинно-континентальный осадочный бассейн, Срединный хребет, Камчатка.

DOI: 10.7868/S0869592X15020064

ВВЕДЕНИЕ

В течение более чем столетнего периода геологических исследований Камчатки была разработана схема стратиграфии немых в палеонтологическом отношении метаморфических толщ Срединнокамчатского кристаллического массива, намечены фации и этапы метаморфических преобразований исходных отложений, установлена перспективность магматических комплексов на промышленную медно-никелевую (с платинидами) и золотую минерализацию. Однако новые данные об абсолютном возрасте метаморфизма и возрасте протолитов метаморфических пород, а также исследования по геохимии изотопов Nd, Sr и Pb позволяют пересмотреть сложившуюся за многие годы исследований схему стратиграфического расчленения метаморфизованных вулканогенно-осадочных отложений Срединного хребта Камчатки и предложить новую модель истории геологического развития этого региона, приняв за основу стратиграфическую схему, разработанную

более сорока лет назад камчатским геологом Михаилом Михайловичем Лебедевым (Лебедев, 1967; Лебедев, Бондаренко, 1962; Lebedev et al., 1967).

РАЗВИТИЕ МЕТАМОРФИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ И ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ОБ ИХ СТРОЕНИИ

В центральной части Срединного хребта Камчатки широким развитием пользуются метаморфические образования, которые различными исследователями датируются от докембрия до позднего мела. Детальный обзор существующих стратиграфических схем этих образований приведен М.С. Марковым (Марков, 1975), позднее А.И. Ханчуком (Ханчук, 1985) и Дж. Хоуриганом и др. (Hourigan et al., 2009). Несмотря на различия этих стратиграфических схем, в современной стратиграфии хребта в основном были сохранены привычные названия серий и свит и их последовательность (Государственная..., 2006), принятые в ранних стратиграфических схемах (Геология...,

1964). Основой для стратиграфического расчленения метаморфических толщ Срединнокамчатского массива служили их относительное положение в разрезе и степень метаморфизма. Исторически сложилось, что наиболее метаморфизованные породы, объединенные в колпаковскую серию и обнажающиеся в центральной (осевой) части метаморфической зоны хребта, отнесли к наиболее древним образованиям, возраст которых оценивался докембрием (Геология..., 1964; Марченко, 1975; Ханчук, 1985; Шульдинер и др., 1987). М.М. Лебедевым (Лебедев, 1967; Лебедев, Бондаренко, 1962) была предложена схема, согласно которой метаморфические породы Срединного хребта Камчатки рассматривались как разновозрастные позднемеловые образования, испытавшие зональный метаморфизм в позднемеловое время. Но эта точка зрения не получила поддержки из-за недостатка абсолютных датировок метаморфических пород.

Колпаковская серия. Метаморфические породы этой серии мощностью более 3 км, приуроченные к основанию разреза метаморфических образований Срединного хребта (Геология..., 1964; Государственная..., 2006; Карта..., 1999; Соловьев, 2008; Тарарин, 2008; Ханчук, 1985; Hourigan et al., 2009), протягиваются субмеридиональной полосой в осевой зоне хребта шириной от 20 до 35 км на расстояние около 160 км от вулкана Хангар на севере до бассейна р. Правый Кихчик на юге. В нижних частях разреза серии мощностью около 2000 м преобладают мигматизированные кианит-гранат-биотитовые (\pm ставролит \pm мусковит) и гранат-биотит-мусковитовые (\pm ставролит) плагиогнейсы и мигматиты (рис. 1), содержащие разбужденные тела амфиболитов, гранатовых амфиболитов, клинопироксен-амфиболовых кристаллических сланцев мощностью от первых до 100 и более метров и реже будины ультраосновных метавулканитов и известково-силикатных пород размером от первых сантиметров до первых метров.

Средняя часть разреза серии мощностью около 0.9 км сложена биотитовыми и гранат-биотитовыми плагиогнейсами (рис. 1), степень гранитизации и мигматизации которых несколько ниже, чем в основании разреза.

Верхняя часть разреза колпаковской серии мощностью более 0.7 км обнажается только в северной части метаморфической зоны на правобережье истоков р. Золотая и на левобережье р. Средняя Андриановка (рис. 1) и представлена чередованием мигматизированных амфиболитов, гранатовых амфиболитов, клинопироксен-амфиболовых (нередко с гранатом) основных кристаллических сланцев, гранат-биотит-амфиболовых, гранат-биотитовых и кианит-гранат-биотитовых плагиогнейсов и гранатсодержащих кварцитов.

Петрологические исследования метаморфических пород колпаковской серии свидетельствуют, что их исходные породы были регионально метаморфизованы в раннем эоцене (52 ± 2 млн лет назад; Соловьев, 2008; Hourigan et al., 2009) в условиях кианит-силлиманитовой субфации глубинности амфиболитовой фации при температуре $560-660^\circ\text{C}$ и давлении $P_s = 5.9-6.9$ кбар, что обусловило широкое развитие кианита в исходных высокоглиноземистых породах (Тарарин, 1988, 2008). Интенсивная гранитизация и мигматизация плагиогнейсов, сопровождавшие метаморфические процессы с формированием гнейсово-купольных структур, происходили на фоне значительного снижения давления (до 2–3 кбар), минералогическим свидетельством чего служат реакционные структуры замещения кианита андалузитом как в метаморфических породах, так и в жильных синметаморфических гранитах и пегматитах.

Взаимоотношения колпаковской серии с вышележащими метаморфическими отложениями отчетливо выражены в истоках р. Крутогорова (рис. 2). Здесь породы серии, прорываемые крутогоровскими гранитоидами с U-Pb¹ возрастом около 80 млн лет (Лучицкая, 2012; Соловьев, 2008; Hourigan et al., 2009), перекрываются отложениями малкинской серии, включающей шихтинскую, андриановскую, хейванскую и химкинскую свиты (Геология..., 1964; Рихтер, 1995; Ханчук, 1985; Шульдинер и др., 1987; Соловьев, 2008; Hourigan et al., 2009).

Зона контакта пород шихтинской свиты и колпаковской серии в истоках р. Крутогорова интерпретируется геологами по-разному. Часть исследователей (Рихтер, 1995; Соловьев, 2008; Ханчук, 1985; Шульдинер и др., 1987; Hourigan et al., 2009) считает, что апотерригенные породы свиты со стратиграфическим несогласием залегают на метаморфических породах колпаковской серии и содержат в основании маломощный (до 1.5 м) невыдержанный по простиранию базальный горизонт мелкозернистых лейкократовых гранат-слюдистых “метадресвяников” с обломками крутогоровских гранитов и плагиогнейсов колпаковской серии размером от нескольких сантиметров до первых метров.

По мнению других исследователей (Бондаренко, 1992; Кирмасов и др., 2004; Некрасов, 2003), кристаллические сланцы шихтинской свиты отделены от залегающих ниже плагиогнейсов и мигматитов колпаковской серии и гранитоидов Крутогоровского интрузива разломной зоной крупного Андриановского надвига, имеющего в своем основании горизонт серпентинитового меланжа, бластомилонитов и тектонических брек-

¹ Все приведенные U-Pb датировки возраста цирконов получены методом SIMS (Secondary Ion Mass Spectrometry) на приборе SHRIMP.

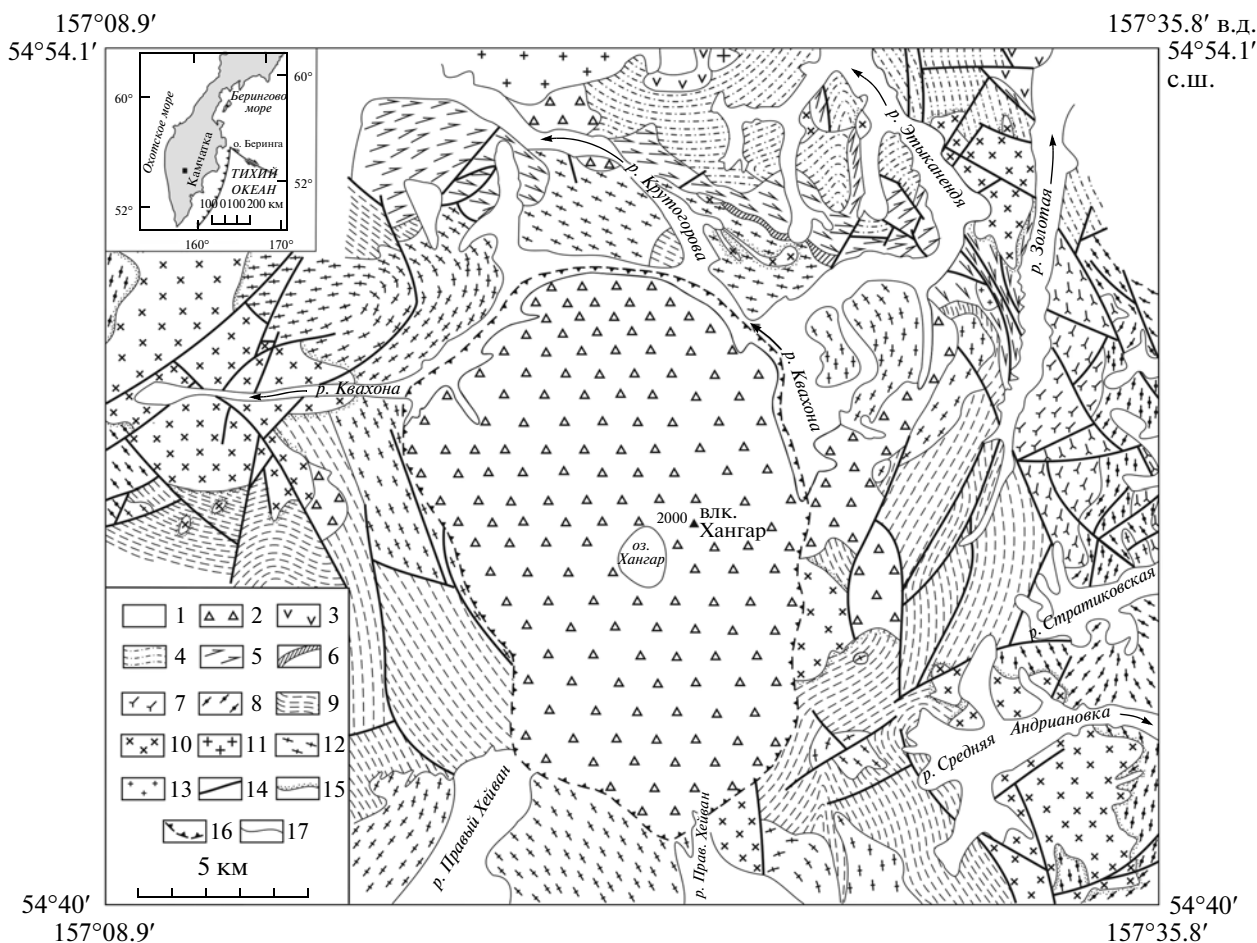


Рис. 1. Схематическая геологическая карта северной части Срединнокамчатского кристаллического массива (истоки рек Крутогорова, Золотая, Хейван и Квахона). Составлена с использованием карты полезных ископаемых (Карта..., 1999).

1 – аллювиальные отложения; 2 – четвертичные вулканиды кальдеры вулкана Хангар: андезиты, дациты, кислые пемзы; 3 – химкинская свита K_2hm : метавулканиды основного и среднего состава, метаморфизованные кремнисто-вулканогенные породы, метапесчаники; 4 – хейванская свита $K_{1-2}hv$: филлиты, кристаллические сланцы, метапесчаники, металевролиты; 5 – андриановская свита $K_{1-2}ap$: амфиболовые, амфибол-плагиоклазовые, эпидот-амфибол-плагиоклазовые сланцы основного и ультраосновного состава, филлитовидные сланцы, метатужобрекчи; 6 – камчатская серия (шихтинская свита) $K_{1-2}kp$: биотитовые, гранат-биотитовые, гранат-ставролит-биотитовые и гранат-ставролит-сланцевые кристаллические сланцы; 7–9 – колпаковская серия $K_{1-2}kl$: 7 – верхняя толща: чередование амфиболитов, гранатовых амфиболитов, клинопироксен-амфиболовых основных сланцев, гранат-биотит-амфиболовых плагиогнейсов и кварцитов, кианитсодержащих плагиогнейсов, 8 – средняя толща: гранат-сланцевые плагиогнейсы, мигматиты, 9 – нижняя толща: высокоглиноземистые кианитсодержащие плагиогнейсы, мигматиты, реже амфиболиты и гранатовые амфиболиты; 10 – лавкинский плутонический комплекс P_3-N_1 : габбро, габбро-нориты, диориты, гранодиориты, монцониты, кварцевые сиениты; 11 – крутогоровский плутонический комплекс K_{1-2} : гнейсовидные биотитовые и гранат-двуслюдяные граниты, гранодиориты, редко тоналиты; 12 – кольский плутонический комплекс K_{1-2} : массивные и гнейсовидные биотитовые и двуслюдяные граниты, гранодиориты, тоналиты; 13 – синметаморфические лейкократовые граниты и пегматиты; 14 – тектонические нарушения: надвиги, главные разломы; 15 – роговиковые ореолы; 16 – граница кальдеры вулкана Хангар; 17 – геологические границы. На врезке – район исследований.

чий ультраосновного и основного состава (Рихтер, 1995; Соловьев, 2008; Тарарин, Чубаров, 2004; Ханчук, 1985; Hourigan et al., 2009). Предполагается, что редкие обломки гранитов и плагиогнейсов в основании шихтинской свиты также являются тектоническими обломками горизонта брекчий и бластомилонитов, сформированных тектоническими процессами надвигообразова-

ния и скупивания в эоцене при образовании современной структуры Срединнокамчатского массива (Тарарин и др., 2011).

Малкинская серия. Согласно существующей стратиграфической схеме породы колпаковской серии перекрываются отложениями малкинской серии (Геология..., 1964; Государственная...,

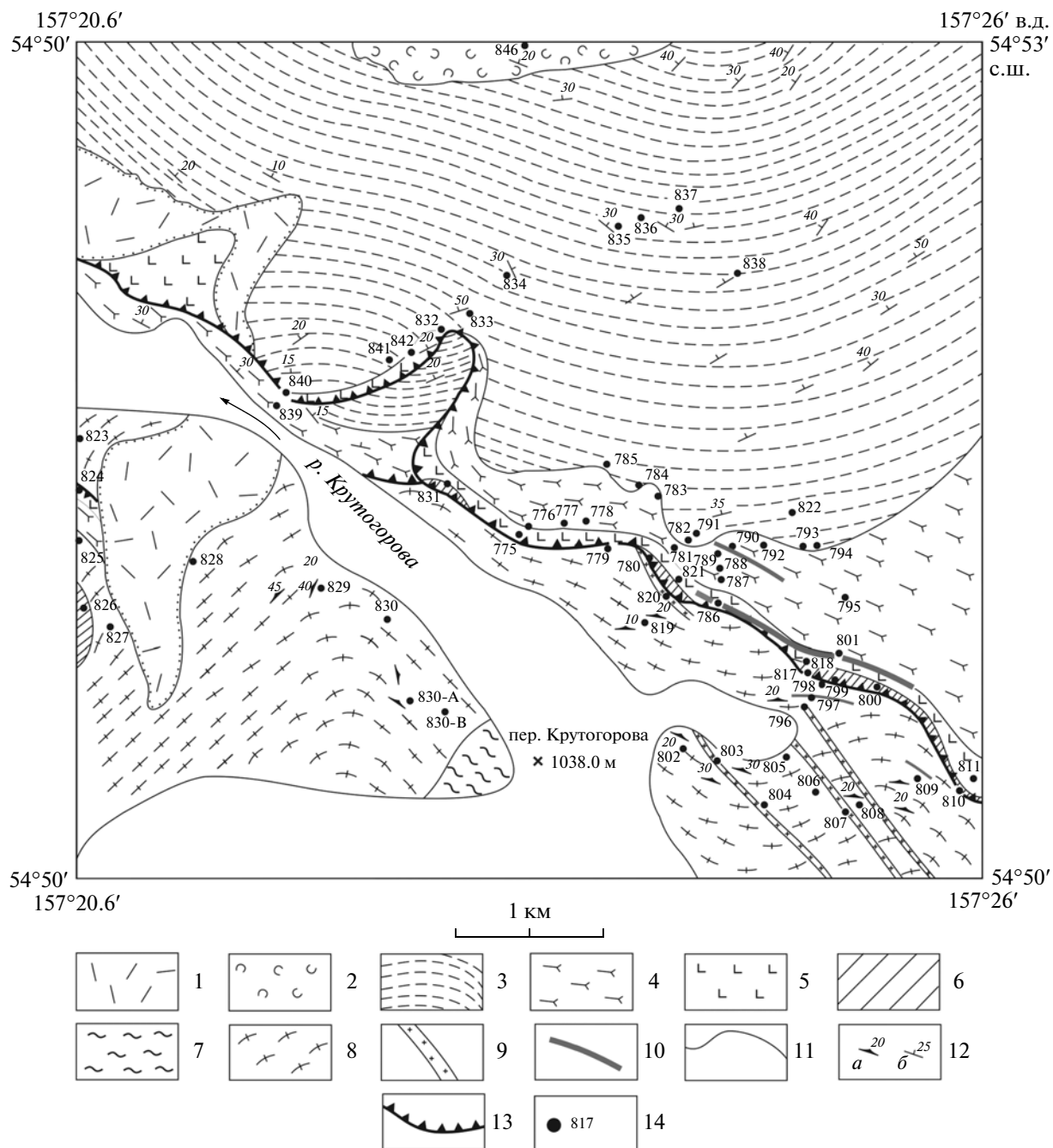


Рис. 2. Схематическая геологическая карта истоков р. Крутогорова. Составлена с использованием материалов (Рихтер, 1995; Ханчук, 1985).

1 – древнечетвертичные пемзы и туфы вулкана Хангар; 2–5 – малкинский комплекс: 2 – химкинская свита: метаморфизованные кремнисто-вулканогенные отложения, 3 – хейванская свита: гранат-ставролит-биотитовые кристаллические сланцы, филлиты, метапесчаники, 4, 5 – андриановская свита: 4 – амфиболиты, эпидотовые амфиболиты, 5 – метапикриты, серпентинитовый меланж, тектонические брекчии основного и ультраосновного состава; 6 – шихтинская свита (камчатская серия) – гранат-сланцевые и гранат-ставролит-биотитовые кристаллические сланцы, базальные тектонические брекчии; 7 – копкаковская серия (нижняя толща): гранат-биотитовые плагиогнейсы и мигматиты; 8 – биотитовые и гранат-биотитовые гнейсовидные гранитоиды крутогоровского комплекса; 9 – лавкинский интрузивный комплекс: биотитовые и биотит-амфиболовые порфировидные гранодиориты и гранит-порфиры; 10 – зоны сульфидной медно-никелевой минерализации; 11 – геологические границы; 12 – элементы залегания слоистости (а) и гнейсовидности (б); 13 – Андриановский надвиг (Кирмасов и др., 2004); 14 – точки наблюдения.

2006), характеризующимися неравномерным метаморфизмом исходных пород. Эти отложения развиты преимущественно на западных склонах и юге Срединного хребта, тогда как на его восточных склонах распространены вулканогенные образования ирунейской и кирганикской свит позднего мела, содержащие фауну *Inoceramium schmidtii* Mich. (Геология..., 1964).

Малкинская серия включает несколько свит (снизу вверх) — шихтинскую, андриановскую, хейванскую и химкинскую, различающихся как по литологическому составу, так и по степени метаморфизма, который в целом снижается вверх по разрезу и с удалением от осевой зоны хребта.

Шихтинская свита, выделенная впервые А.И. Ханчуком (1985), а ранее называвшаяся камчатской серией (Геология..., 1964), сложена апотерригенными гранат-ставролит-слюдистыми кристаллическими сланцами и перекрывается вулканогенными образованиями андриановской свиты.

Метаморфизованные вулканогенные отложения андриановской свиты (Дьяков, 1955), с севера и северо-востока почти сплошной полосой шириной 2–5 км окаймляют метаморфические породы колпаковской серии, обнажаясь в верховьях рек Крутогорова, Облуковина, Стратиковская и Средняя Андриановка (Карта..., 1999). Андриановская свита сложена амфиболитами и эпидотовыми амфиболитами (преобладают меланократовые разности), амфиболовыми и плагиоклаз-амфиболовыми сланцами (Тарарин, Чубаров, 2004; Hourigan et al., 2009). Другие разновидности метавулканитов, в том числе и серпентин-хлорит-тремолитовые сланцы (метапикриты), агломератовые туфы и брекчии основного состава, используются резко подчиненным распространением в основном в нижней части андриановской свиты. Мощность свиты в истоках р. Крутогорова оценивается в 130 м и увеличивается до 450 м в западном направлении (Тарарин, Чубаров, 2004). В кремнистых прослоях из вулканогенных образований андриановской свиты обнаружены радиолярии верхнего мела, аналогичные радиоляриям ирунейской свиты восточных склонов Срединного хребта (Соловьев, Палечек, 2004).

Хейванская свита залегает на андриановской свите без видимого несогласия. В нижней части свиты преобладают гранат-ставролит-слюдистые кристаллические сланцы, сменяющиеся вверх по разрезу гранатсодержащими филлитами и метапесчаниками. Общая мощность свиты около 600 м.

Верхняя часть разреза малкинской серии представлена химкинской свитой, залегающей на хейванской свите с постепенными переходами и состоящей из эпидот-актинолитовых зеленых сланцев, метапесчаников и кварцитов. По мнению А.И. Ханчука (Ханчук, 1985), химкинская свита

является фациальным аналогом алисторской свиты западных склонов Срединного хребта, в составе которой преобладают метаморфизованные основные и ультраосновные вулканиты (метапикриты, метапикробазальты и их туфы) и меньше развиты средние и кислые метавулканиты (Тарарин и др., 2013; Ханчук, 1985).

Последовательность отложений малкинской серии, наблюдаемая в верховьях р. Крутогорова, является исключительной для метаморфической зоны Срединного хребта. Обычно отмечаются тектонические взаимоотношения между шихтинской и андриановской свитами, с одной стороны, и между хейванской и химкинской — с другой (Шапиро и др., 2008). Предполагается, что разделяющие эти свиты тектонические поверхности являются фрагментами крупного Андриановского надвига, связанного с процессами коллизии островной дуги с окраиной Азиатского континента (Шапиро и др., 2008).

Кихчикская серия. Слабо измененные терригенные отложения этой серии мощностью около 3 км обнажаются на западных склонах и юге Срединного хребта (Геология..., 1964; Государственная..., 2006). Нижняя часть серии представлена хозгонской свитой. Кихчикская серия сложена глубоководными (Чехович, 2010) флишоидными отложениями, которые входили, по мнению Е.А. Константиновской (2003), в состав аккреционной призмы и послужили в дальнейшем протолитом для образований колпаковской, камчатской и малкинской серий (Соловьев, 2008; Шапиро и др., 2008; Hourigan et al., 2009).

В низах разреза кихчикской серии западных склонов Срединного хребта преобладают высокоглиноземистые осадочные породы (аргиллиты и алевролиты), содержащие разбужденные включения песчаников и известково-силикатных пород размером от нескольких сантиметров до нескольких метров. Выше наблюдаются песчаные породы, чередующиеся с алевролитами и аргиллитами, а верхи разреза представлены флишоидным переслаиванием апопелитовых и апопсаммитовых пород, причем последние преобладают. В виде линз и невыдержанных пластов в свите отмечаются вулканомиктовые гравелиты с обломками андезитов и базальтов, кремнистые аргиллиты и кремни (Шанцер, Челебаева, 2004), а также тела метаморфизованных ультраосновных (метапикритов и их туфов) и основных (метапесчаников и их туфов) пород.

Подобная последовательность терригенных пород (от высокоглиноземистых в нижней части до песчаных в средней и флишоидного переслаивания в верхней) наблюдается и в метаморфических комплексах хребта. Большая часть метаморфических пород колпаковской серии — высокоглиноземистые образования, в шихтинской

свите (камчатской серии) преобладают апопесчаные породы, а в малкинской серии наблюдается чередование апопесчаных и апопелитовых пород.

Результаты поискового и разведочного бурения на нефть и газ в Ичинско-Колпаковском районе Западной Камчатки показали, что акустический фундамент этого региона представлен интенсивно деформированными терригенными отложениями (песчаниками, аргиллитами и алевролитами) позднего мела, которые уверенно сопоставляются с осадочными породами кихчикской серии Срединного хребта (Антипов и др., 1997; Некрасов, 2003). Это свидетельствует о том, что фундамент Западной, Центральной и Южной Камчатки повсеместно сложен терригенными породами, формировавшимися в пределах единого осадочного палеобассейна восточной окраины Азиатского континента.

Возможным продолжением отложений этого бассейна являются породы, фиксируемые на океанической стороне Курило-Камчатского глубоководного желоба (в хребте Витязь), где наиболее древние вулканогенно-осадочные отложения поздне мелового—раннепалеоценового возраста прорываются поздне меловыми гранитоидами с K-Ar возрастом $74-78 \pm 2$ млн лет (Леликов, Емельянова, 2013). Rb-Sr-Nd изотопные данные свидетельствуют об участии древнего докембрийского материала в источнике вулкаников, позволяя предполагать, что область хребта Витязь вплоть до плиоцена располагалась на окраине Азиатского континента с сиалической континентальной корой (Емельянова и др., 2012; Леликов, Емельянова, 2013).

ВОЗРАСТ МЕТАМОРФИЧЕСКИХ ОБРАЗОВАНИЙ

Данные о возрасте метаморфических образований колпаковской серии и источниках сноса терригенных пород неоднозначны. Первые и пока единичные Sm-Nd определения амфибол-плагиоклазовых основных сланцев колпаковской серии отвечают возрасту 951 ± 43 млн лет, $\epsilon_{Nd} = +4.5$ (Кузьмин, Беяцкий, 1999), что позволило исследователям предполагать позднепротерозойский возраст ее протолита. Для гранат-ставролит-биотитовых сланцев камчатской серии этими исследователями получены близкие значения $T(Nd)_{DM}$ равные 0.95–1.22 млрд лет.

Rb-Sr датирование метаморфических образований колпаковской и камчатской серий показало, что наиболее метаморфизованные их породы характеризуется меловым возрастом 125–141 млн лет (Виноградов, Григорьев, 1994; Виноградов и др., 1991). Эти исследователи отмечают, что в изотопном составе стронция изученных пород нет признаков существования древней сиалической

коры, а становление ранней континентальной коры Камчатки приходилось на раннемеловое время и осуществлялось за счет метаморфических преобразований вулканогенно-осадочных отложений островадужного типа.

Иных представлений придерживаются Ю.А. Костицын и др. (2012), считающие, “что в составе колпаковской и камчатской серий присутствует вещество протерозойского и позднеархейского возраста, которое было в значительной мере преобразовано в ходе более молодых метаморфических событий” (Костицын и др., 2012, с. 176). Это подтверждает более ранние заключения (Геология..., 1964; Кузьмин и др., 2003; Ханчук, 1985) о наличии древней континентальной коры в структурах Западной и Центральной Камчатки, отраженные в стратиграфических схемах 1960-х годов (Геология..., 1964). По мнению (Костицын и др., 2012), повышенные изотопные отношения стронция в метаморфических породах фундамента свидетельствуют о древнем возрасте их источников.

В последние годы появились прецизионные U-Pb датировки метаморфических образований Срединного хребта (Кузьмин, 2014; Соловьев, 2008; Bindeman et al., 2002; Hourigan et al., 2009), позволившие точно определить возраст протолита и метаморфизма пород колпаковской, малкинской и кихчикской серий. U-Pb определения возраста цирконов из наиболее метаморфизованных пород колпаковской и камчатской серий свидетельствуют о том, что накопление терригенных толщ колпаковской серии происходило в интервале от конца раннего мела до конца мела, а толщ камчатской серии – до раннего эоцена (Кузьмин, 2014; Соловьев, 2008; Hourigan et al., 2009).

Детальные U-Pb исследования метаморфических пород колпаковской серии (Bindeman et al., 2002) показали, что ядра примерно 30% общей популяции проанализированных кристаллов циркона характеризуются архейским и протерозойским (2.8–2.5 млрд лет) возрастами, отражая возраст источников осадочного материала. По мнению И.Н. Биндемана и др. (Bindeman et al., 2002), первичные отношения $^{87}Sr/^{86}Sr = 0.703-0.706$ метаморфических пород серии, отсутствие в них высоко-Sr полевых шпатов свидетельствуют о молодом возрасте (около 77 млн лет) регионального метаморфизма, гранитизации и мигматизации поздне мезозойского протолита колпаковской серии. Еще раньше к аналогичному выводу пришли В.И. Виноградов и др. (1991), считающие, что “метаморфические и магматические комплексы Срединного хребта Камчатки сформировались в раннемеловое время за счет преобразования вулканогенных и вулканогенно-осадочных пород и хемогенно-осадочных образований и нет никаких оснований рассматривать

комплексы протопород как древние” (Виноградов и др., 1991, с. 63).

U-Pb возраст цирконов из пород камчатской серии варьирует от 2123 до 70.8 млн лет (Кузьмин, 2014; Hourigan et al., 2009) и аналогичен возрастным определениям пород колпаковской серии. Rb-Sr изохронный возраст метаморфизма филлитовидных черных сланцев хейванской свиты р. Крутогорова равен 62 ± 6 млн лет (Григорьев, Лобзова, 1993).

Возраст цирконов из пород хозгонской свиты кихчикской серии изменяется от 1970 ± 21.9 до 52.7 ± 5.4 млн лет (Hourigan et al., 2009), а по данным В.К. Кузьмина (2014) — от 2466 ± 20 до 123.3 ± 2.1 млн лет. Пики кластеров U-Pb возрастов цирконов хозгонской свиты, как и кристаллических сланцев камчатской серии (шихтинской свиты), приходятся на ранний кайнозой (около 55 млн лет), ранний мезозой (около 150 млн лет) и ранний протерозой (около 1.9 млрд лет; Hourigan et al., 2009).

Новейшие данные по датированию циркона и монацита U-Pb методом (Кузьмин, 2014; Соловьев, 2008; Hourigan et al., 2009) показали, что колпаковская и камчатская серии являются метаморфизованными аналогами разновозрастных терригенных отложений кихчикской серии мелового возраста, формировавшихся у подножия континентального склона обширного окраинно-морского палеобассейна на восточной окраине Азиатского континента.

Sm-Nd изотопно-геохимические исследования метаморфических пород колпаковской, камчатской и кихчикской серий показывают сходство изотопного состава неодима ($^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd} = 0.1148\text{--}0.1223$, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.512394\text{--}0.512470$, $\epsilon_{\text{Nd}} = -2.8\text{--}4.2$) в апотерригенных породах, что свидетельствует о геохимическом единстве источников сноса, за счет которых происходило формирование рассматриваемых отложений (Кузьмин, 2014; Кузьмин, Богомолов, 2013).

Серии этих пород, традиционно относимые к разновозрастным образованиям от архея до позднего мезозоя (Геология..., 1964; Государственная..., 2006), представляют собой комплекс терригенных отложений, формировавшихся в едином окраинно-континентальном осадочном бассейне в позднемезозойский цикл седиментации за счет размыва одной и той же питающей провинции восточной окраины Азиатского континента. Sm-Nd модельные датировки для колпаковской, камчатской, малкинской и кихчикской серий близки и отражают позднепротерозойский (1.17 млрд лет) усредненный возраст источников сноса осадочного материала (Кузьмин, 2014; Кузьмин, Богомолов, 2013). Ю.А. Костицын и др. (2012) также пришли к аналогичным выводам по результатам датирования возраста циркона и ана-

лиза U-Pb и Sm-Nd изотопных отношений метаморфических пород фундамента Срединного хребта Камчатки.

Таким образом, современные радиоизотопные данные позволяют утверждать, что колпаковская, камчатская, малкинская и кихчикская серии Срединного хребта Камчатки представляют собой комплекс разновозрастных апотерригенных образований мелового возраста, метаморфизованных в различных *P-T* условиях. Как уже отмечалось, впервые эта точка зрения была высказана М.М. Лебедевым (Лебедев, 1967; Лебедев, Бондаренко, 1962; Lebedev et al., 1967), но из-за отсутствия точных возрастных датировок метаморфических пород разной степени метаморфизма не получила признания; и потребовалось более 40 лет, чтобы доказать правоту этого предвидения (Кузьмин, 2014; Соловьев, 2008; Hourigan et al., 2009).

Детальное изотопное датирование циркона метаморфических пород Срединного хребта свидетельствует о том, что процессы регионального метаморфизма, мигматизации и гранитизации терригенных отложений и выведение метаморфических пород на современную поверхность происходили очень быстро и заняли около 5 млн лет (Соловьев, 2008; Шапиро и др., 2008; Hourigan et al., 2009) при средней скорости остывания около $65^\circ\text{C}/\text{млн лет}$ (Hourigan et al., 2009). Возраст метаморфизма соответствует 52 ± 2 млн лет (Соловьев, 2008; Hourigan et al., 2009), а возраст цирконов из основания барабской (хулгунской) свиты, содержащей обломки метаморфических пород хребта, оценивается в 50.5 ± 1.2 млн лет (Соловьев, 2008; Соловьев и др., 2004; Hourigan et al., 2009).

Глубинным сейсмическим зондированием в пределах Центральной и Западной Камчатки установлена повышенная мощность литосферы и континентальный тип разреза земной коры с хорошо выраженным “гранитогнейсовым” слоем, мощность которого составляет 14–23 км при мощности коры около 40 км (Аносов и др., 1980; Ермаков и др., 1994). Эти данные, а также наличие кислых вулканитов в хребте Пенсантайн Западной Камчатки (Чехович и др., 2006) и лейкократовых кислых метавулканитов нижней толщи Хавывенской возвышенности Восточной Камчатки (Тарарин и др., 2007) позволяют предполагать присутствие древней сиалической коры, широко распространенной в континентальном обрамлении Азиатского континента и окраинных морях Тихого океана (Емельянова и др., 2012; Костицын и др., 2012; Кузьмин и др., 2003; Леликов, Емельянова, 2013; Мишкин, 2012).

ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ ОБСТАНОВКА ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ И ЗАПАДНОЙ КАМЧАТКИ

Меловые терригенные отложения Камчатки (кихчикская, лесновская, укэлятская и омгонская серии) формировались в пределах крупного окраинно-континентального осадочного бассейна протяженностью около 500 км, обломочный материал в который поступал с северо-восточной окраины Азиатского континента (Гречин, 1979; Константиновская, 1997; Кузьмин, 2014; Соколов, 1992; Шапиро и др., 1987, 1992, 2001, 2008; Шевченко и др., 2009). Особенностью флишеидных отложений этих серий является кварц-полевошпатовый состав песчаников, переслаивание с алевритами и аргиллитами и наличие согласных пластовых тел толеитовых базальтов и их туфов, что свидетельствует о формировании терригенных пород на коре раскрывающегося морского бассейна (Чехович, 2010; Шапиро и др., 2001).

Накопление терригенных отложений сопровождалось активным вулканизмом с формированием силлов и пластовых тел пикритов, пикробазальтов, базальтов и их туфов, совпадающим по времени с началом становления на Азиатской континентальной окраине Охотско-Чукотского вулканогенного пояса (Акинин, Миллер, 2011), связанного с подъемом вещества верхней мантии к нижней границе континентальной коры.

Дальнейшее развитие магматизма привело к вовлечению в магматический процесс корового субстрата окраинного бассейна с проявлением в пределах Камчатского региона вулканизма среднего и кислого составов — пенсантайнская толща Западной Камчатки с возрастом 90 млн лет (Бадрединов и др., 2012), хавывенская серия Восточной Камчатки с возрастом 100 млн лет (Тарарин и др., 2012), квахонская свита Срединного хребта (Тарарин и др., 2013) и малоглубинного гранитоидного магматизма (крутогоровский и кольский интрузивные комплексы Срединного хребта с возрастом около 80 млн лет; Государственная..., 2006; Лучицкая, 2012; Лучицкая, Соловьев, 2010, 2012; Соловьев, 2008; Hourigan et al., 2009).

На рубеже позднего мела и палеогена произошла коренная тектоническая перестройка в зоне взаимодействия континентальной и океанической плит, сопровождавшаяся обдукцией коры западной окраины Тихого океана на восточную часть Азиатского континента. В результате суммарная мощность коры в зоне надвига существенно увеличилась: вулканогенно-терригенные отложения осадочного бассейна, интродуцированные гранитами и основными породами, оказались опущенными на глубины порядка 15–20 км. Это создало благоприятные условия для быстрого прогрева коры, сопровождавшегося зональным региональным метаморфизмом, варьирующим от

зеленосланцевой до амфиболитовой фации с максимальными параметрами (давление 6–7 кбар, температура около 650°C). Интенсивные процессы гранитизации и мигматизации, сопровождавшие региональный метаморфизм отложений (около 52 млн лет назад), обусловили формирование гранитогнейсовых куполов, что привело к резкому изменению глубинности гранитизированных метаморфических образований (снижение давления с 6–7 кбар до 2–3 кбар) (Тарарин, 2008), а также интенсивную эрозию центральных частей гнейсовых куполов и выведение на поверхность глубокометаморфизованных отложений колпаковской и камчатской серий, к западу и востоку от которых развиты слабо метаморфизованные отложения малкинской и кихчикской серий. Процессы роста и воздымания гранитогнейсовых куполов обусловили “срыв или сползание” менее метаморфизованных отложений на их флангах и повсеместно наблюдаемые тектонические взаимоотношения между глубоко- и слабо-метаморфизованными образованиями. Эти процессы в какой-то мере сходны с гравитационно-оползневым растяжением как следствие синседиментационного сползания осадочных комплексов с выступов фундамента (Уткин, 2013).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Геологические исследования свидетельствуют о том, что центральная часть Срединного хребта Камчатки сложена зонально метаморфизованными вулканогенно-терригенными отложениями, сформировавшимися в пределах мелового окраинно-континентального осадочного бассейна, снос материала в который происходил с восточной окраины Азиатского континента. Наиболее метаморфизованные образования (колпаковская и камчатская серии) развиты в осевой зоне Срединного хребта, а на его западных и восточных склонах обнажаются менее метаморфизованные отложения малкинской и кихчикской серий. Подобные геологические взаимоотношения связаны с процессами метаморфизма, гранитизации и роста гранитогнейсовых куполов в центральной части хребта, которые обусловили повсеместные тектонические взаимоотношения между глубоко- и слабометаморфизованными образованиями.

Возраст протолита терригенных толщ кихчикской серии и ее метаморфизованных аналогов — колпаковской, камчатской и малкинской серий — по данным U-Pb изотопии цирконов отвечает концу раннего мела—позднему мелу (Кузьмин, 2014; Соловьев, 2008; Hourigan et al., 2009). Нижняя возрастная граница осадконакопления бассейна датируется ранним мелом, а верхняя — временем формирования ирунейской свиты (сенон) и внедрением гранитоидов крутогоровского и кольского интрузивных комплексов (около 80 млн лет назад;

Государственная..., 2006; Костицын и др., 2012; Соловьев, 2008; Hourigan et al., 2009).

Sm-Nd изотопно-геохимические исследования метаморфических пород колпаковской и камчатской серий показывают сходство изотопного состава неодима ($^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd} = 0.1148-0.1223$, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.512394-0.512470$, $\epsilon_{\text{Nd}} = -2.8...-4.2$) в апотерригенных породах, что свидетельствует о геохимическом единстве источников сноса, за счет которых происходило формирование рассматриваемых образований (Кузьмин, Богомолов, 2013).

Таким образом, серии пород, традиционно относимые к разновозрастным отложениям от архея до позднего мезозоя (Геология..., 1964), представляют собой комплекс терригенных пород, формировавшихся в едином окраинно-континентальном осадочном бассейне в позднемезозойский цикл седиментации за счет размыва одной и той же питающей провинции восточной окраины Азиатского континента. Sm-Nd модельные датировки для колпаковской, камчатской, малкинской и кихчикской серий близки и отражают позднепротерозойский усредненный возраст источников сноса осадочного материала (Костицын и др., 2012; Кузьмин, 2014; Кузьмин, Богомолов, 2013).

Геологические исследования и новейшие изотопно-геохимические данные свидетельствуют об одновозрастности всех метаморфических образований Срединного хребта Камчатки, которые представляют собой последовательность метаморфических фаций (от наиболее высокотемпературных в ядре метаморфической зоны до низкотемпературных на ее флангах), обусловленных процессами метаморфизма, гранитизации и формирования гранитоидных куполов (около 52 ± 2 млн лет назад). Эти процессы привели к воздыманию центральных частей метаморфической зоны хребта и их интенсивной эрозии, обусловив повсеместные тектонические взаимоотношения между глубоко- и слабометаморфизованными образованиями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Акинин В.В., Миллер Э.Л. Эволюция известково-щелочных магм Охотско-Чукотского вулканогенного пояса // Петрология. 2011. Т. 19. № 3. С. 249–290.
 Аносов Г.И., Биккенина С.К., Попов А.А. и др. Глубинное строение Южной Камчатки, по данным ГСЗ // Глубинное строение литосферы Дальневосточного региона (по геофизическим данным). Владивосток, Хабаровск: Институт тектоники и геофизики, 1980. С. 59–64.
 Антипов М.Н., Гладенков Ю.Б., Журавлев А.В., Шанцер А.Е. Строение прикамчатского участка дна Охотского моря и его кайнозойская история // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 1997. Т. 72. Вып. 2. С. 19–25.
 Бадрединов З.Г., Тарарин И.А., Марковский Б.А. и др. Метавулканы Западной Камчатки (первые данные

U-Pb-SHRIMP-датирования возраста цирконов) // Докл. АН. 2012. Т. 445. № 5. С. 559–563.

Бондаренко Г.Е. Юрско-валанжинский этап в эволюции Камчатки. Автореф. дисс. ... канд. геол.-мин. наук. М.: ГИН РАН, 1992. 24 с.

Виноградов В.И., Григорьев В.С. Rb-Sr-возраст пород Срединного выступа Камчатки // Докл. АН. 1994. Т. 339. С. 645–649.

Виноградов В.И., Григорьев В.С., Кастрыкина В.М. Возраст метаморфических пород фундамента Камчатки // Советская геология. 1991. № 7. С. 58–65.

Геология СССР. Т. XXXI. Камчатка, Курильские и Командорские острова. Ч. I. Геологическое описание. М.: Недра, 1964. 734 с.

Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Корякско-Курильская. Лист N-57 – Петропавловск-Камчатский. Объяснительная записка. СПб.: Изд-во картографической фабрики ВСЕГЕИ, 2006. 376 с.

Гречин В.И. Верхнемеловые вулканогенно-осадочные формации различных структурно-формационных зон Камчатки // Осадконакопление и вулканизм в геосинклинальных бассейнах. М.: Наука, 1979. С. 130–149.

Григорьев В.С., Лобзова Р.В. Изотопы стронция и время метаморфизма черных сланцев Срединно-Камчатского массива // Литология и полезные ископаемые. 1993. № 6. С. 127–131.

Дьяков Б.Ф. Геологическое строение и нефтеносность Западной Камчатки (Тигильский район) // Тр. ВНИГРИ. Спец. серия. 1955. Вып. 14. 256 с.

Емельянова Т.А., Костицын Ю.А., Леликов Е.П. Геохимия вулканитов подводного хребта Витязя на тихоокеанском склоне Курильской островной дуги // Геохимия. 2012. № 3. С. 316–332.

Ермаков В.А., Фарберов А.И., Балеста С.Т., Левыкин А.И. Состав и строение Восточной Камчатки по геолого-геофизическим данным // Геология и геофизика. 1994. Т. 35. № 7–8. С. 59–75.

Карта полезных ископаемых Камчатской области масштаба 1 : 500 000. Ред. Литвинов А.Ф., Патока М.Г., Марковский Б.А. и др. СПб.: ВСЕГЕИ, 1999.

Кирмасов А.Б., Соловьев А.В., Хоуриган Дж.К. Коллизионная и постколлизионная структурная эволюция Андриановского шва (Срединный хребет, Камчатка) // Геотектоника. 2004. № 4. С. 64–90.

Константиновская Е.А. Камчатское позднемеловое окраинное море // Литология и полезные ископаемые. 1997. № 1. С. 58–73.

Константиновская Е.А. Тектоника восточных окраин Азии: структурное развитие и геодинамическое моделирование. М.: Научный мир, 2003. 224 с.

Костицын Ю.А., Аносова М.О., Ревако Н.М., Степанов В.А. U-Pb и Sm-Nd данные о возрасте фундамента Срединного хребта Камчатки // Геохронометрические изотопные системы, методы их изучения, хронология геологических процессов. Материалы V Российской конференции по изотопной геохронологии. Москва, 2012. С. 175–177.

Кузьмин В.К. Возраст осадконакопления и метаморфизма терригенных пород Срединно-Камчатского и Ганальского поднятий по результатам SHRIMP U-Pb-да-

- тирования циркона // Докл. АН. 2014. Т. 454. № 6. С. 689–694.
- Кузьмин В.К., Беляцкий Б.В.* Первые Sm-Nd изотопные определения возраста метаморфических пород Срединно-Камчатского массива // Геология и полезные ископаемые Камчатской области и Корякского автономного округа. Материалы региональной конференции, посвященной 50-летию Геологической службы Камчатки. Петропавловск-Камчатский, 1999. С. 41–42.
- Кузьмин В.К., Богомолов Е.С.* Источники метатерригенных толщ Срединно-Камчатского и Ганальского поднятий в свете новых Sm-Nd изотопно-геохимических данных // Геотектоника. 2013. № 3. С. 87–96.
- Кузьмин В.К., Беляцкий Б.В., Пузанков Ю.М.* Новые данные о докембрийском возрасте гнейсового комплекса Камчатского массива // Геодинамика, магматизм и минерализация континентальных окраин Севера Пацифики. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2003. Т. 1. С. 162–165.
- Лебедев М.М.* Верхнемеловые кристаллические сланцы Камчатки // Советская геология. 1967. № 4. С. 57–69.
- Лебедев М.М., Бондаренко В.Н.* К вопросу о возрасте и генезисе метаморфических пород Центральной Камчатки // Советская геология. 1962. № 11. С. 98–105.
- Леликов Е.П., Емельянова Т.А.* Гранитоиды фундамента Курильской островодужной системы // Докл. АН. 2014. Т. 454. № 5. С. 561–566.
- Луцицкая М.В.* Гранитоидный магматизм и становление континентальной коры северного обрамления Тихого океана в мезозое–кайнозое. Автореф. дисс. ... докт. геол.-мин. наук. М.: ГИН РАН, 2012. 49 с.
- Луцицкая М.В., Соловьев А.В.* Кампанский этап гранитообразования на юге Срединного хребта Камчатки: новые U-Pb-SHRIMP-данные // Докл. АН. 2010. Т. 430. № 3. С. 352–358.
- Луцицкая М.В., Соловьев А.В.* Раннеэоценовый магматизм Срединного хребта Камчатки: состав и геодинамические аспекты // Петрология. 2012. Т. 20. № 2. С. 166–207.
- Марков М.С.* Метаморфические комплексы и “базальтовый” слой земной коры островных дуг. М.: Наука, 1975. 232 с.
- Марченко А.Ф.* О тектонической природе, возрасте и структурном положении метаморфических комплексов Камчатки // Вопросы магматизма и тектоники Дальнего Востока. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1975. С. 234–246.
- Мишкин М.А.* Сиалическое корообразование, геохимическая гетерогенность мантии и асимметрия Земли // Докл. АН. 2012. Т. 447. № 2. С. 195–198.
- Некрасов Г.Е.* Тектоническая природа Корякско-Камчатского региона и вопросы геодинамики складчатого обрамления севера Тихого океана // Геотектоника. 2003. № 6. С. 53–79.
- Рихтер А.В.* Структура метаморфического комплекса Срединно-Камчатского массива // Геотектоника. 1995. № 1. С. 71–78.
- Соколов С.Д.* Аккреционная тектоника Корякско-Чукотского сегмента Тихоокеанского пояса. М.: Наука, 1992. 182 с.
- Соловьев А.В.* Изучение тектонических процессов в областях конвергенции литосферных плит. Методы тректового датирования и структурного анализа. М.: Наука, 2008. 317 с. (Тр. ГИН РАН. Вып. 577).
- Соловьев А.В., Палечек Е.Н.* Новые данные о возрасте андриановской свиты (Срединный хребет, Камчатка): к проблеме строения метаморфических комплексов в зоне аккреции // Эволюция тектонических процессов в истории Земли. Материалы молодежной школы-конференции XXXVII Тектонического совещания. М.: ГЕОС, 2004. С. 86–89.
- Соловьев А.В., Хоуриган Дж.К., Брэндон М.Т. и др.* Возраст барабской свиты по данным U/Pb (SHRIMP) датирования (Срединный хребет, Камчатка): геологические следствия // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2004. Т. 12. № 4. С. 110–117.
- Тарарин И.А.* Эволюция метаморфических процессов в Срединно-Камчатской метаморфической зоне // Тихоокеанская геология. 1988. № 1. С. 63–70.
- Тарарин И.А.* Гранулиты колпаковской серии Срединного хребта Камчатки – миф или реальность? // Петрология. 2008. Т. 16. № 2. С. 207–224.
- Тарарин И.А., Чубаров В.М.* Сульфидная медно-никелевая минерализация в метавулканитах андриановской свиты Срединно-Камчатского массива // Тихоокеанская геология. 2004. Т. 23. № 6. С. 76–83.
- Тарарин И.А., Бадрединов З.Г., Дриль С.И.* Геохимия и возраст метаморфических пород Хавывенской возвышенности Восточной Камчатки // Геохимия. 2007. № 9. С. 962–980.
- Тарарин И.А., Бадрединов З.Г., Чубаров В.М., Шарова О.И.* Протит гранат-слюдистых кристаллических сланцев шихтинской свиты Срединнокамчатского массива // Докл. АН. 2011. Т. 438. № 6. С. 809–812.
- Тарарин И.А., Бадрединов З.Г., Марковский Б.А., Сладнев Б.И.* U-Pb SHRIMP датирование возраста цирконов метаморфических комплексов Восточной Камчатки // Тихоокеанская геология. 2012. Т. 31. № 2. С. 22–40.
- Тарарин И.А., Бадрединов З.Г., Чубаров В.М.* Геология и петрология метавулканитов квахонской свиты Срединнокамчатского кристаллического массива // Тихоокеанская геология. 2013. Т. 32. № 5. С. 3–18.
- Уткин В.П.* Сдвиговой структурный парагенез и его роль в континентальном рифтогенезе восточной окраины Азии // Тихоокеанская геология. 2013. Т. 32. № 3. С. 21–43.
- Ханчук А.И.* Эволюция древней сиалической коры в островодужных системах восточной Азии. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1985. 138 с.
- Чехович В.Д.* Палеогеографические обстановки и геодинамика Северо-Восточной Тихоокеанской окраины Азии в конце мела–раннем палеогене // Докл. АН. 2010. Т. 431. № 6. С. 792–796.
- Чехович В.Д., Сухов А.Н., Филатова Н.И. и др.* Новые данные о меловых вулканических дугах северо-восточной окраины Азии // Докл. АН. 2006. Т. 407. № 4. С. 512–515.
- Шанцер А.Е., Челебаева А.И.* Стратиграфия, геологические события и новая модель рифтового развития Центральной Камчатки в позднем мелу–раннем палеогене // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2004. Т. 12. № 4. С. 83–96.

- Шапиро М.Н., Ермаков В.А., Шанцер А.Е. и др.* Очерки тектонического развития Камчатки. М.: Наука, 1987. 248 с.
- Шапиро М.Н., Маркевич П.В., Гречин В.И., Константиновская Е.А.* Верхнемеловые и нижнепалеоценовые песчаники Камчатки: состав и проблемы источников // Литология и полезные ископаемые. 1992. № 6. С. 94–106.
- Шапиро М.Н., Соловьев А.В., Гарвер Дж.И., Брэндон М.Т.* Источники цирконов в терригенных толщах мела и нижнего палеогена юга Корякии и Западной Камчатки // Литология и полезные ископаемые. 2001. № 4. С. 374–389.
- Шапиро М.Н., Соловьев А.В., Хоуриган Дж.К.* Латеральная изменчивость тектонических структур в зоне эоценовой коллизии островной дуги с континентом (Камчатка) // Геотектоника. 2008. № 6. С. 70–91.
- Шевченко С.С., Кузьмин В.К., Великославинский С.Д.* Геохимические особенности позднемезозойских metabазитов Камчатки и их геодинамическая интерпретация // Вулканизм и геодинамика. Материалы IV Всероссийского симпозиума по вулканологии и палеовулканологии, 22–27 сентября 2009 г., г. Петропавловск-Камчатский. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2009. Т. 1. С. 232–234.
- Шульдинер В.И., Высоцкий С.В., Ханчук А.И.* Фундамент тихоокеанских активных окраин. М.: Наука, 1987. 208 с.
- Bindeman I.N., Vinogradov V.I., Valley J.W. et al.* Archean protolith and accretion of crust in Kamchatka: SHRIMP dating of zircons from Sredinny and Ganal massifs // J. Geol. 2002. V. 110. № 3. P. 271–289.
- Hourigan J.K., Brandon M.T., Soloviev A.V. et al.* Eocene arc–continent collision and crustal consolidation in Kamchatka, Russian Far East // Am. J. Sci. 2009. V. 309. № 5. P. 333–396.
- Lebedev M.M., Tararin I.A., Lagovskaya E.A.* Metamorphic zones of Kamchatka as an example of the metamorphic assemblages of the inner part of the Pacific belt // Tectonophysics. 1967. V. 4. № 4–6. P. 445–461.

Рецензенты А.В. Соловьев, Ю.Б. Гладенков