

ГЕОЛОГИЯ

УДК 550.1/4.1

В.Я. ФЕДЧУК, А.К. СОКОЛОВСКИЙ, А.К. КОРСАКОВ

**ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ОБСТАНОВКИ ФОРМИРОВАНИЯ
И МЕТАЛЛОГЕНЧЕСКАЯ СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ РАНЕПРОТЕРОЗОЙСКИХ
ЗЕЛЕНОКАМЕННЫХ ПОЯСОВ**

Приведена типизация раннепротерозойских зеленокаменных поясов, охарактеризованы геодинамические обстановки формирования и предложена обобщенная модель развития. С позиций концепции тектоники литосферных плит рассмотрены металлогенические особенности выделенных подтипов таких структур.

Зеленокаменные пояса представляют собой специфические раннедокембрийские структуры, развивавшиеся как области интенсивных тектоно-магматических процессов, приводивших к новообразованию континентальной коры, и сложенные осадочно-вулканогенными толщами с преобладанием вулканитов основного состава, метаморфизованными не выше амфиболитовой фации. Эти структуры отражают особенности эндогенных режимов ранней истории Земли и являются важнейшими рудоносными структурами континентов, играющими ведущую роль в добыче многих видов полезных ископаемых. Зеленокаменные пояса периодически зарождались на протяжении всего раннего докембрия, в течение которого происходила их закономерная, направленная эволюция, связанная с общей эволюцией Земли и сменой геодинамических режимов ее развития [4].

Раннепротерозойские зеленокаменные пояса (с возрастом 2,6—1,6 млрд. лет) формировались в режиме тектоники литосферных плит и нами относятся к плейттектоническому типу [4, 7]. Подробнее эти структуры характеризуются общностью геодинамического режима и механизма формирования, позволяющей объединить их в один генетический тип, но вместе с тем отличаются разнообразием геологического строения и развития, имеют существенные различия в геотектонической позиции и составе структурно-вещественных комплексов, что предопределяет необходимость выделения генетических подтипов.

Раннепротерозойские зеленокаменные пояса обычно занимают секущее по отношению к архейским структурам окраинное или внутриконтинен-

тальное положение, располагаясь по границам древних кратонов или их составных частей. Особенности развития определялись существованием в раннем протерозое суперконтинентов (или единого суперконтинента Пангеи), которые подвергались локальной деструкции и частичному фрагментированию [9]. В этих условиях формировались структуры двух видов — интракратонные коллизионные и окраинные аккреционные.

Коллизионные зеленокаменные структуры, окончательно сформировавшиеся в результате общего сжатия и коллизии частично разобренных фрагментов архейских суперконтинентов, в свою очередь, могут быть подразделены на пояса полного цикла развития (океанический подтип) и геодинамически сопряженные с ними структуры неполного, редуцированного цикла развития (бассейновый подтип).

Пояса полного цикла развития (Печенга-Имандра-Варзугский на Кольском п-ове, Северо-Карельский и Ветреный Пояс в Карелии, Ливенско-Богучаровский на Воронежском кристаллическом массиве (ВКМ) и др.) в полной мере соответствуют плейттектонической модели формирования и геодинамическому циклу Уилсона [7]. Об этом свидетельствуют тектонически совмещенные в них структурно-вещественные комплексы, которым присущи формационные и петрогеохимические признаки образования в геодинамических обстановках континентальных и океанических рифтов, островных дуг, задуговых бассейнов, активных и пассивных континентальных окраин, коллизионных зон [2, 3, 5, 6, 10].

Зеленокаменные структуры бассейнового подтипа (Онежско-Сегозерский в Карелии, Белгород-Михайловский, Орловско-Тимский, Купецкий, Солнцевский (ВКМ) представляют собой интракратонные рифтогенные структуры, не достигшие стадии полного океанического раскрытия и подвергшиеся интенсивным дислокациям и преобразованиям (часто в чешуйчато-надвиговые системы) в обстановке континентальной коллизии [2, 3, 10]. В некоторых поясах эволюция континентальных рифтов завершалась локальными переходами к обстановке рассредоточенного спрединга. Структурно-вещественные комплексы океанического типа в них имеют весьма ограниченное распространение, а островодужные отсутствуют. Структуры бассейнового подтипа сложены преимущественно осадочными породами (в том числе терригенно-карбонатной, эвапоритовой, железисто-кремнисто-сланцевой, флишевой и черносланцевой формаций) при резко подчиненной роли вулканитов (бимодальной ассоциации, платобазальтов, пирокластитов, щелочных лав) и интрузивных образований.

Аккреционные зеленокаменные пояса формировались на окраинах суперконтинентов, завершая их оформление в аккреционной обстановке и отличаются отсутствием четко выраженной рифтогенной стадии развития. В основном это одиночные пояса (Уопмей и Пенокейский на Канадском щите, Амазар-Гилуийский на Алданском щите и др.), но в некоторых случаях они развивались в виде серий структур в обрамлении суперконтинентов, образуя раннепротерозойские гнейс-зеленокаменные области (Свекофеннская, Бирримийская). В строении аккреционных поясов участвуют структурно-вещественные комплексы, сформировавшиеся в геодинамических обстановках островных дуг, задуговых бассейнов и активных окраин континентов [1, 2, 11—14]. Фрагменты островных дуг и задуговых бассейнов были затем аккретированы к активным окраинам суперконтинентов в результате коллизионных процессов типа континент—островная дуга с образованием шовных надвиговых зон вдоль границ аккретированных комплексов.

Особенности геологического строения и развития раннепротерозойских зеленокаменных поясов хорошо согласуются с плейтктонической моделью их формирования [8].

На ранней (континентально-рифтовой) стадии развития интракратонных коллизионных поясов, в условиях растяжения и раздвиговых движений (в результате воздействия мантийных струй или конвективных потоков), происходили дробление архейской континентальной коры, формирование континентальных рифтов, внедрение базит-ультрабазитовых расслоенных интрузий и (или) силлов низкокальциевых толеитов трапповой формации, бимодальный, в том числе и щелочной, вулканизм и накопление осадочных отложений. Степень дест-

рукции континентальной коры сильно варьировала и в некоторых случаях (Карельский кратон, Воронежский кристаллический массив) континентальный рифтогенез не переходил в океанический — возникали структуры неполного цикла развития (бассейнового подтипа).

Второй стадии формирования поясов (спрединговой или океанического рифтогенеза) отвечало раскрытие в структурах полного цикла развития океанических бассейнов, чаще всего красноморского типа с ограниченным спредингом и новообразованием океанической коры — океанических толеитовых базальтов в ассоциации с вулканитами коматиитовой серии или без них. В структурах бассейнового типа в это время продолжал существовать режим континентального рифтогенеза.

На следующей (субдукционной) стадии в интракратонных океанических бассейнах и у окраин суперконтинентов происходило заложение зон субдукции, образование ансамблей островных дуг и задуговых бассейнов, формирование островодужных вулканитов, внедрение габброидов, диоритов и тоналитов, накопление отложений задуговых и окраинных бассейнов. Рифтогенез задуговых областей мог приводить к новому раскрытию микроокеанов, формированию океанической коры задуговых бассейнов и к ее поглощению в зонах субдукции, сопровождавшемуся окраинно-континентальным магматизмом. В тех случаях, когда из-за ограниченного масштаба растяжения деструкция не достигала стадии спрединга, накапливались преимущественно осадочные толщи. Функционирование зон субдукции в интракратонных океанических бассейнах часто сопровождалось активизацией рифтогенеза в структурах бассейнового подтипа.

Развитие окраинных зеленокаменных поясов завершает аккреционная стадия, в течение которой они были причленены к окраинам суперконтинентов, испытали тектоническое сжатие, дислокации и метаморфизм. Эта стадия развития аккреционных поясов совпадала по времени с коллизионными событиями в интракратонных структурах.

Взросшие в позднем архее мощность и жесткость континентальных плит отразилась в отчетливо выраженной коллизионной стадии развития интракратонных зеленокаменных поясов с образованием многочисленных зон чешуйчатых надвигов, напряженной складчатости, куполообразованием и более интенсивным метаморфизмом. Увеличение мощности континентальной коры в аккреционных и коллизионных зонах способствовало возникновению внутрикоровых магматических очагов и становлению поздних гранитоидов. Общая продолжительность после формирования раннепротерозойских зеленокаменных поясов может составлять 500—750 млн. лет.

Металлогеническая специализация и рудоносность раннепротерозойских зеленокаменных поясов определяется тектоноплитными геодинамиче-

скими обстановками, их сочетаниями и сменой во времени в соответствии с циклом Уилсона [8].

На ранней стадии формирования интракратонных зеленокаменных поясов в условиях континентального рифтогенеза образовались магматические сульфидные медно-никелевые с платиноидами, хромитовые и титаномагнетитовые месторождения, связанные с расслоенными базит-ультрабазитовыми интрузиями. Рудоносные интрузии сопровождают пояса как с полным, так и с редуцированным циклами развития.

В зеленокаменных структурах бассейнового подтипа (с неполным циклом развития) в эту стадию сформировались месторождения железистых кварцитов, шунгита, медных и полиметаллических стратиформных руд, металлоносных (U, Au, Pt) конгломератов, рассеянная благороднометаллическая минерализация.

Месторождения, возникшие в геодинамических обстановках океанического рифтогенеза, в зеленокаменных поясах сохраняются редко. К ним относятся проявления платиноидов, хромитов, некоторые залежи массивных сульфидных руд среди толетитовых базальтов.

В субдукционную стадию интракратонных поясов с полным циклом развития и зеленокаменных поясов окраинного подтипа (сформировавшихся у окраин суперконтинентов) в островодужных обстановках образовались вулканогенные колчеданные месторождения цветных металлов, медные, медно-молибденовые и молибденовые месторождения порфирирового типа, ассоциирующие с малыми интрузиями гранитоидов, а в континентально-окраинных условиях в связи с кислыми вулканидами — апатит-магнетитовые руды. В задуговых бассейнах с базит-ультрабазитовыми пластовыми интрузиями ассоциируют сульфидные медно-никелевые руды, а с осадочными формациями — месторождения железа, марганца, вольфрама, фосфоритов, сингенетические золоторудные проявления.

С завершающей (аккреционной) стадией развития окраинных зеленокаменных поясов связано образование гидротермально-метаморфических и палеороссыпных золоторудных, золотополиметаллических и редкометаллических месторождений.

Коллизионная стадия интракратонных структур характеризуется формированием благороднометалльно-уран-ванадиевых и золотоплатинометаллических месторождений в черносланцевых толщах (в структурах бассейнового подтипа), редкометаллических месторождений, связанных с поздней и постколлизионными гранитоидами (в структурах океанического подтипа).

Сульфидное медно-никелевое оруденение в истории развития интракратонных поясов проявилось дважды — на ранней континентально-рифтовой стадии и в субдукционную стадию, в связи с задуговым рифтогенезом. Месторождения ранней стадии связаны с массивами габбронорит-пироксенит-перидотитовой формации, локализованны-

ми преимущественно в консолидированной раме зеленокаменных поясов (месторождения Мончегорское, Бураковское, Лукиндинское и др.). В этих же интрузиях установлена платинометаллическая минерализация с повышенными содержаниями Pd, Pt, Rh. С некоторыми интрузивными массивами этого типа связаны месторождения хромитов (Имандровский лополит) и титаномагнетитовых руд с ванадием в габбро-анортозитовых дифференциатах (Монча). Позднее медно-никелевое оруденение приурочено к пластовым габбро-верлитовым телам габбро-пироксенит-перидотитовой формации, локализованным в пределах самих зеленокаменных поясов (месторождения Коталахти, Хитура, Лаукунгас, Ваммала в Финляндии; Кайтинг, Реглан в Канаде; Нижнемамонское, Еланское, Печенгская группа месторождений в России). К габбро-верлитам также приурочены проявления титаномагнетита и хромита.

В интракратонных существенно осадочных бассейнах континентально-рифтовой стадии формировались крупнейшие хемогенно-осадочные месторождения железистых кварцитов криворожско-курского типа (железисто-кремнисто-сланцевая формация) с запасами в несколько миллиардов — десятков миллиардов тонн (железорудные бассейны Хамерсли в Западной Австралии, Лабрадора в Канаде, КМА, Кривого Рога и др.). Железистые кварциты залегают в метаморфизованных (преимущественно в зеленосланцевой фации) морских осадочных комплексах, являясь кремнисто-железистыми фациями осадочных формаций. Образование железных руд было связано с химическим выветриванием и денудацией обширных областей распространения архейских зеленокаменных высокожелезистых метабазитов и приуроченных к ним вулканогенно-осадочных железо-рудных залежей, что приводило к выносу растворимых солей железа и кремнезема в бассейны осадконакопления. Часть железа могла накапливаться в результате подводного вулканизма. Железистые осадки отлагались в замкнутых и (или) полузамкнутых бассейнах, которым в наибольшей мере отвечают интракратонные рифтогенные структуры бассейнового типа. Железорудные залежи часто содержат рассеянную золоторудную минерализацию, в результате переотложения и концентрации которой могут возникнуть промышленные месторождения золота (Васса в Западной Африке).

В тех же структурах бассейнового типа локализованы месторождения шунгита, сопряженные с высокоуглеродистыми сланцами (Онежско-Сегозерская структура Карелии). В углеродистых (черносланцевых) толщах, кроме того, присутствует рассеянная платиноидно-золоторудная и стратиформная полиметаллическая минерализация, а в известняках, базальтах и медистых песчаниках — медное оруденение (Карелия). В основании разрезов встречаются металлоносные (уран, золото, платина) конгломераты (курская серия ВКМ).

Месторождения шунгита сформировались в конседиментационных депрессиях бассейновых структур с блоковым строением дна, в которых происходило накопление мощных терригенно-осадочных толщ, в том числе и высокоуглеродистых илов, с последующей переработкой углеродистого вещества в процессе седиментации и синхронного пирокластического базит-ультрабазитового вулканизма.

Колчеданные месторождения цветных металлов ассоциируют с островодужными вулканитами контрастной риолит-базальтовой и непрерывной базальт-андезит-риолитовой формаций и представлены широким спектром минеральных типов. По составу месторождения подразделяются на медно-колчеданные (Реппарфьорд, Ромпас), медно-цинковые колчеданные (Керети, Полвиярви, Пехтавуома, Седалиа, Пинос, Крандон), существенно цинковые колчеданные с баритом (Виханти, Пюхясалми), колчеданно-полиметаллические (Болиден, Лангдаль, Наслиден, Кристенберг).

С метаморфизованными субвулканическими интрузиями фельзитов и штоками кварцевых монзонит-, тоналит- и гранодиорит-порфиоров субдукционной стадии развития зеленокаменных поясов пространственно и парагенетически связаны комплексные медно-порфировые руды (месторождения Копса и Ялонярви в Финляндии, Моногага, Мамели, Курки в Западной Африке).

С окраинно-континентальными вулканическими поясами, в ассоциации с калиевыми риолитами, связано апатит-магнититовое оруденение (Кируна, Сваппаваара, Мальмбергет). Считается, что рудные компоненты могли быть заимствованы магмами из железистых осадков и фосфоритов, накапливавшихся на шельфе в обстановке пассивной окраины.

К задуговым бассейнам с терригенными и карбонатно-терригенными отложениями приурочены стратиформные месторождения железа, марганца и вольфрама. Среди турбидитов встречаются горизонты фосфоритовых и марганцевых конкреций.

Золоторудные месторождения относятся преимущественно и жильному золото кварцевому и стратиформному золотосульфидному типам. Месторождения известны в основном в Западной Африке (Обуаси, Престеа, Кононго, Бибиани, Нготорозо и др.), в других регионах встречаются редко (Пирила в Финляндии, Хоумстейк в Канаде). В образовании этих месторождений большую роль играли осадочные процессы, которые создавали первичные седиментационные концентрации золота, впоследствии обогащенные в результате процессов метаморфизма и гидротермальной деятельности, связанной с внедрением поздних гранитоидов.

Дополнительным источником золота в раннепротерозойских поясах служит золотополиметаллические месторождения (Пура, Топарко, Банора в Западной Африке, Болиден в Швеции), из которых золото добывается в значительных количествах попутно с основными компонентами.

Весьма перспективным является формационно-генетический тип благороднометалльной минерализации (в том числе с U, Cr, V и другими элементами) в породах черносланцевой формации, установленный в структурах бассейнового подтипа Карелии и ВКМ (месторождения Средняя Падма, Космозеро, Царевское, рудопроявления Кшенское, Луневско-Мальцевское и др.). Минерализация относится к комплексным полигенным и полихронным рудам, формирование которых обусловлено сочетанием металлогенных черносланцевых толщ, складчато-разрывных дислокаций и эпигенетических метаморфогенно-метасоматических преобразований с экстрагированием и концентрацией рудных комплексов.

Экзогенные палеороссыпные месторождения золота в молассовых толщах, выполняющих грабены, сформированные в заключительную стадию развития окраинных зеленокаменных поясов известны в Западной Африке (Тарква, Нтронанг), в пределах Гвианского щита (Тортю) и в некоторых других регионах.

В ассоциации с поздними (син- и постколлизийными) известково-щелочными и субщелочными гранитоидами S- и A-типов наблюдаются гидротермальные редкометалльные проявления олова, вольфрама и молибдена (Аллебуода, Мунка, Котабергет, Норрботтен, Вастерботтен и др.). С гранитоидами Y-типа тыловых зон активных континентальных окраин связаны редкометалльные олово-вольфрамовые пегматитовые и грейзеновые проявления, часто содержащие также тантал и ниобий.

В целом раннепротерозойские зеленокаменные пояса характеризуются разнообразной рудной минерализацией, интенсивным рудообразованием в рифтогенных условиях, формированием полигенных и полихронных месторождений, комплексным составом руд.

Среди зеленокаменных поясов наиболее продуктивными являются интракраторные рифтогенные структуры бассейнового подтипа, в которых локализованы уникальные по запасам железорудные месторождения железисто-кремнисто-сланцевой формации, крупные месторождения шунгита, комплексные золотоплатинометалльные и благороднометалльно-уран-ванадий-редкометалльные месторождения в черносланцевых толщах. Набор промышленно ценных ископаемых в коллизийных структурах полного цикла развития достаточно разнообразен, но наиболее важное значение имеют сульфидные медно-никелевые месторождения с платиноидами и сопутствующее титано-магнетитовое и хромитовое оруденения.

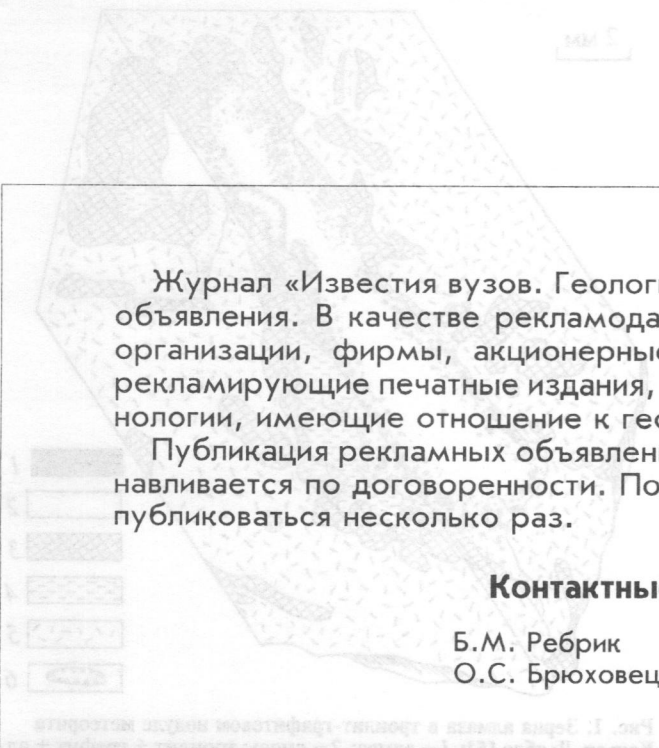
Аккреционные пояса окраинного подтипа характеризуются в основном колчеданной, редкометалльной, золоторудной и железо-марганцевой специализацией.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант №05-05-64083.

1. Гаврикова С.Н., Николаева Л.Л., Галанин А.В. и др. Ранний докембрий южной части Становой складчатой области. М: Недра, 1991. 171 с.
2. Металлогения рядов геодинамических обстановок раннего докембрия / Д.В. Рундквист. М., 1999. 399 с.
3. Милиц М.В. Палеотектонические реконструкции раннего докембрия восточной части Балтийского щита. 1. Ранний протерозой // Геотектоника. 1993. № 1. С. 39–56.
4. Соколовский А.К., Федчук В.Я., Корсаков А.К. Эволюция зеленокаменных поясов в раннем докембрии // Изв. вузов. Геология и разведка. 1994. № 6. С. 3–12.
5. Соколовский А.К., Федчук В.Я., Корсаков А.К., Петров И.И. Геодинамическая модель формирования зеленокаменных поясов Станового мегаблока // Изв. вузов. Геология и разведка. 1996. № 3. С. 25–31.
6. Соколовский А.К., Федчук В.Я., Корсаков А.К. и др. Ветреный Пояс — зеленокаменная структура платформенного типа // Изв. вузов. Геология и разведка. 2002. № 1. С. 3–8.
7. Соколовский А.К., Федчук В.Я., Корсаков А.К. Геодинамические обстановки формирования зеленокаменных поясов. М., 2003. 186 с.
8. Федчук В.Я., Корсаков А.К., Соколовский А.К., Михайлов В.А. Металлогенетические особенности генетических типов зеленокаменных поясов. М., 2003. 153 с.
9. Хаин В.Е., Божко Н.А. Историческая геотектоника. Докембрий. М.: Недра, 1988. 382 с.
10. Чернышов Н.М., Ненахов В.М., Лебедев И.П., Стрик Ю.Н. Модель геодинамического развития Воронежского кристаллического массива // Геотектоника. 1997. № 3. С. 21–30.
11. Beziat D., Bourges F., Debat P. et al. Paleoproterozoic ultramafic assemblage and associated volcanic rock of the Borombo greenstone belt: fractionates originating from island-arc volcanic activity in the West African craton. // Precam. Res. 2000. V. 101. P. 25–47.
12. Davis D., Hirdes W., Schaltegger U., Nuno O.E. U-Pb age constraints on deposition and provenance of Birimian and gold-bearing Tarkwaian Sediments in Ghana, West African // Precam. Res. 1994. V. 67. N 1–2. P. 89–107.
13. Gaal J., Gorbatschev R. An Outline of the Precambrian Evolution of the Baltic Shield // Precam. Res. 1987. N 35. P. 15–52.
14. Hoffman P.F. Precambrian Geology and tectonic history of North America // A.W. Bally, A.R. Palmer // The Geology of North America — an overview. Boulder, Colorado, Geol. Soc. Amer // The Geology of North America. 1989. V. A. P. 447–511.

Российский государственный
геологоразведочный университет
Рецензент — В.М. Цейслер

Содержание выпуска



Журнал «Известия вузов. Геология и разведка» публикует рекламные объявления. В качестве рекламодателей могут выступать предприятия, организации, фирмы, акционерные общества и отдельные граждане, рекламирующие печатные издания, различные изделия, разработки, технологии, имеющие отношение к геологии, разведке и горному делу.

Публикация рекламных объявлений платная. Стоимость рекламы устанавливается по договоренности. По желанию заказчика реклама может публиковаться несколько раз.

Контактные телефоны

Б.М. Ребрик 433-62-66 доб. 1149
О.С. Брюховецкий 433-64-55 т/ф