

# ОСАДОЧНО-ВУЛКАНОГЕННЫЙ КОМПЛЕКС СРЕДНЕГО РИФЕЯ КАК ИНДИКАТОР ПРОЦЕССОВ РИФТОГЕНЕЗА В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ФУНДАМЕНТА БАРЕНЦЕВОМОРСКОЙ ПЛИТЫ (АРХИПЕЛАГ ШПИЦБЕРГЕН)

А.Н. Сироткин

ФГУНПП «Полярная морская геологоразведочная экспедиция», Ломоносов,  
e-mail: pechenga-67@yandex.ru

1. Шпицберген располагается на сочленении северного фрагмента Норвежско-Гренландского бассейна и западной части Северного Ледовитого океана, что делает его ключевым для расшифровки геологического строения и обоснования прогнозной оценки ресурсов углеводородного сырья этой части Баренцевоморского шельфа. Ранее здесь были выделены четыре структурно-вещественных комплекса (СВК) основания, отделённых друг от друга глубинными разломами либо поверхностями несогласий, и наложенный на фундамент комплекс девонского грабена [Сироткин, 1996; и др.]. Нижний СВК ( $PR_1$ ) сформирован в условиях активной континентальной окраины и представлен осадочно-вулканогенным разрезом, региональный метаморфизм которого характеризуется условиями амфиболитовой фации (андалузит-силлиманитовый тип) и возрастом 1750 млн. лет. Разрез среднего СВК ( $R_1$ ) отличается полной амагматичностью и был сформирован в условиях пассивной континентальной окраины. Зональный метаморфизм кианит-силлиманитового типа, достигавший условий амфиболитовой фации, датируется средним рифеем. Промежуточный СВК ( $R_2$ ) имеет осадочно-вулканогенный характер, с доминированием вулканитов, низкотемпературные преобразования которых связаны с метаморфизмом погружения; повторный прогрессивный метаморфизм некоторых блоков связан с процессами каледонской активизации. Верхний СВК ( $R_3$ - $PZ_1$ ) представлен фаунистически охарактеризованными толщами, сформированными в «платформеноидных» условиях [Бархатов, 1970; Турченко, 1987] и фактически являющимися чехлом эпигренвильской платформы. Минимальный метаморфизм характерен для нижних частей СВК. Комплекс девонского грабена – толща терригенных красно- и сероцветов мощностью до 4 км, локализованная в центре архипелага и ограниченная зонами глубинных долгоживущих разломов. Исследуемый нами промежуточный СВК представлен на архипелаге тремя сериями, разрезы которых известны на Северо-Восточной Земле (СВЗ) и западном побережье Шпицбергена (ЗПШ).

2. На СВЗ описаны разрезы всех четырёх СВК. Уникальность этого района - обнажения с угловыми несогласиями между тремя верхними СВК [Gee, Tebenkov, 1996]. Промежуточный СВК представлен серией Кап-Ханстен, несогласно залегающей на метаморфических породах среднего СВК. В основании серии описаны пачки конгломератов; остальная часть толщи представлена покровами липаритов, дацитов, андезитов, базальтов. В разрезах отмечаются туфолавы, туфобрекчи, песчаники, алевролиты и аргиллиты. Мощность серии оценивается в 2000 – 5000 м [Красильщиков, 1973; Ohta, 1982; и др.]. Породы претерпели метаморфизм зеленосланцевой фации и прорваны телами комагматичных кварцевых порфиров. Среди интрузивных образований надо также выделить гранитоиды гренвильского комплекса СВЗ, представленные кварцевыми монзонитами и гранитами. Магматиты дают возможность выделить несколько реперных возрастов в истории региона; наиболее чётко прослеживаются гренвильские события с возрастом 1100-940 млн. лет. [Ларионов, 1999; и др.].

ЗПШ характеризуется наиболее сложным строением из-за сильного воздействия процессов альпийского тектоногенеза. Промежуточный СВК представлен сериями Вереншельдбреен и Вестготабреен [Красильщиков, 1973 и др.]. Серия Вереншельдбреен представлена мощной (более 3000 м) осадочно-вулканогенной толщей. В разрезе стратотипа серия представлена (снизу вверх) актинолитовыми и хлорит-слюдистыми сланцами с прослоями кварцитов; кварцито-песчаниками с прослоями хлоритовых и слюдистых сланцев и кислыми вулканитами; глинистыми и хлоритовыми сланцами, кварцитами, известняками. Нижний контакт серии – тектонический; верхняя граница - резкая, но без следов видимого несогласия. В разрезах на других участках ЗПШ зафиксированы хорошо сохранившиеся горизонты с переслаивающимися пачками андезибазальтов, базальтов и пикритов, пачки мусковит-плагиоклаз-кварцевых пород с реликтами порфировых структур, представляющие кислые метаэффузивы [Турченко и др., 1983; и др.]. Серия Вестготабреен, породы которой

развиты на ограниченном участке, представлена специфической толщей чередующихся глаукофановых, кварц-хлорит-мусковитовых и карбонатных сланцев, известняков и доломитов с линзовидными телами метабазитов и эклогитов [Horsfield, 1972; и др.]. Толща имеет мощность более 500 м и формирует надвиговую пластину среди отложений верхнего СВК. Интрузивные образования этого района представлены многофазным комплексом Сколфьеллет, дифференцированными интрузиями перидотит-габбрового состава и другими мелкими телами основного-ультраосновного и кислого состава. Для интрузивных пород получены возраста (U-Pb, Rb-Sr): 1278-1072 млн. лет; вулканиты серии Вереншельдбреен характеризуются возрастами (U-Pb) 1201-919 млн. лет [Balashov et. al., 1996; и др.]. Для пород серии Вестготабреен получены (K-Ar, Ar-Ar, U-Pb) цифры: 476 – 453 млн. лет [Horsfield, 1972; и др.], что указывает на каледонские тектоно-термальные события.

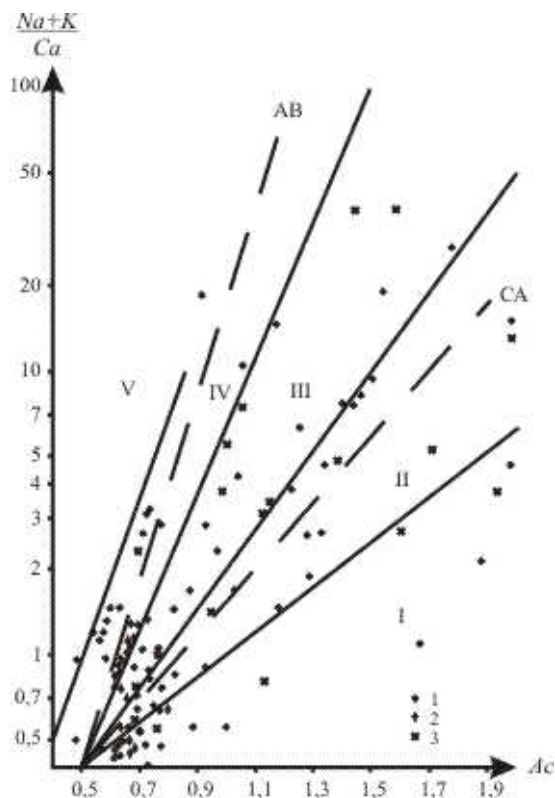
3. Для серии Кап-Ханстен характерно резкое доминирование слабо метаморфизованных вулканических пород, химическая классификация [Петрографический кодекс, 2008] которых позволяет отнести их к риолитам, дацитам, трахидацитам, андезитам, трахиандезитам, андезибазальтам, трахиандезибазальтам и базальтам. Породы большей частью относятся к высококалиевой серии, реже к ультра- и умереннокалиевой; по щёлочности среди кислых и средних пород преобладают низкощелочные, а среди основных – субщелочные. Тип щёлочности для пород серии определяется как калиевый и калиево-натриевый. Кварцевые порфиры в петрохимическом отношении образуют вместе с вулканитами единую базальт-андезит-липаритовую серию [Тебеньков, 1983] со слабо проявленным щелочным типом. Эти породы охарактеризованы как высококалиевые и переходные от слабощелочных к субщелочным, при этом основные члены серии являются в целом более щелочными, чем средние и кислые. Гранитоиды, которые могут быть комагматичны вулканитам, являются высоко- и ультракалиевыми и субщелочными. По глинозёмистости эти породы близки к плюмазитовым. Парাপороды серии представлены разностями, среди которых по методикам [Предовский, 1980; Неелов, 1980; и др.] петрохимически выделяются туффиты, граувакки, пелиты.

Серия Вестготабреен, подвергнутая максимальному для этого комплекса метаморфизму, представлена пара- и ортопородами [Ohta, 1979; и др.]. Магматиты представлены телами эклогитов, эклогитовых метагаббро, гранат-эпидотовых амфиболитов. Петрохимически их можно отнести к базальтам, трахибазальтам и трахиандезибазальтам. По содержанию калия они являются умеренно- и низкокалиевыми, реже – высококалиевыми породами; по сумме щелочей среди этих пород заметно преобладают субщелочные разности. Тип щёлочности калиево-натриевый и натриевый. Их можно охарактеризовать как основные магматиты субщелочной серии натриевого типа, с повышенной калиевостью. Парাপороды этой серии (глаукофановые, гранатовые, хлоритовые сланцы, жадеитовые кварциты) могут быть отнесены к грауваккам, субграуваккам, мелановаккам, пелитам, туфам и туффитам. Среди них преобладают высокоглинозёмистые и железо-магнезиальные разности. Наш материал показывает, что в разрезе серии среди терригенных пород резко доминируют алевропелитовые разности; псаммитовые находятся в подчинённом положении.

Эффузивные образования, входящие в состав серии Вереншельдбреен, представлены широким спектром пород, в которых легко узнаются признаки первоначального строения по реликтам структур и первичных минералов. Петрохимически породы можно отнести к риолитам, дацитам, трахитам, андезитам, трахиандезитам, андезибазальтам, трахиандезибазальтам, базальтам, трахибазальтам, пикробазальтам, базанитам. Здесь преобладают высоко- и ультракалиевые разности; по сумме щелочей - субщелочные породы. По типу щёлочности породы распадаются на две группы: калиевого и натриевого типа; калиево-натриевый тип встречается в подчинённом количестве. Габбро, диориты и граниты комплекса Сколфьеллет характеризуются минимальным метаморфизмом; основные разности относятся к высоко- и умереннокалиевым породам, а средние и кислые варьируют от ультра- до низкокалиевых. По содержанию суммы щелочей породы можно отнести к субщелочным и низкощелочным. Мелкие тела гранитоидов по содержанию  $K_2O$  сильно варьируют, а по сумме щелочей могут быть охарактеризованы как субщелочные; по глинозёмистости их можно относить к группе плюмазитовых. Ультраосновные и основные пластовые интрузии могут быть в целом охарактеризованы как субщелочные и умеренно- до высококалиевых. Совместно с вулканитами они объединены в единую базальт – трахиандезитовую формацию [Турченко и др., 1983]. Таким образом, магматические образования серии представлены широким спектром

пород по основности, но среди них явно преобладают высоко- и ультракалиевые субщелочные породы. Парাপороды на диаграммах [Предовский, 1980 и др.] попадают в поля пелитов, граувакк, субграувакк, мелановакк и аркозов. Они охарактеризованы как высоко- и умеренноглинистые породы. Исследования ГЖВ в минеральных зёрнах кварцитов, ассоциирующихся с кислыми эффузивами, говорят об их хомогенной природе.

4. Вулканические образования в разрезах промежуточного СВК представлены широким спектром пород разной основности. В целом они формируют бимодальную серию, главной особенностью которой является высококалиевый и субщелочной характер. Это хорошо демонстрируется на диаграмме  $(Na+K)/Ca - A_c$  (рис.) и подтверждает эту тенденцию: здесь видно



**Рис.** Диаграмма  $(Na+K)/Ca - A_c$  [Бородин, 1987] для петрохимической типизации магматических пород промежуточного СВК: серии Вереншельдбреен (1), Вестготабреен (2), Кап-Ханстен (3). Поля щёлчности (группы серий): I - известковое (низкокалиевая толеитовая); II - известково-щелочное (среднекалиевая); III - субщелочное (высококалиевая); IV - щелочное базальтовое; V - щелочное (нефелинит-фонолитовая). Штриховая линия - главные тренды: CA - известково-щелочной; AB - щелочно-базальтовый.

преобладание пород субщелочной и щёлочно-базальтовой серий. В целом, эти вулканы должны быть отнесены к двум сериям: одна преимущественно толеитовая, другая - субщелочная - щёлочно-базальтовая, что характерно для внутриплитных обстановок [Милановский, 1983; Бородин, 1987; и др.]. Одновременно надо отметить, что основные вулканы серии Вестготабреен, которые характеризуются как наиболее щелочные, имеют натриевый тип щёлчности, что может говорить о глубинном происхождении магмы, дифференциатами которой эти породы являются. То же самое можно сказать о вулканах серии Вереншельдбреен: ассоциация двух серий (толеитовой и субщелочной) пород, которые также различаются по типу щёлчности (калиевый и натриевый), указывает, что вулканы были производными двух или более магматических очагов с разными глубинами зарождения (мантийные и коровые). Работа с дискриминационными диаграммами показала, что метабазиты и ультрабазиты тяготеют, в основном, к полям внутриплитных обстановок и срединных хребтов; кислые и средние образования - к полю посторогенных гранитоидов [Balashov et al., 1996; и др.]. Условия формирования паропород промежуточного СВК определялись по стандартным методикам [Розен, 1993; и др.]. В целом надо отметить высокую железомagneзиальность и глинозёмистость пород, что обусловлено преобладанием в разрезах тонкозернистых граувакк (аргиллитов), резко обогащённых вулканическим материалом. Видимо, эти разрезы формировались в такой тектонической обстановке, когда совмещались активная вулканическая деятельность в бассейне формирования разрезов и глубокая дифференциация осадочного материала в источниках сноса. Это может происходить в обстановке континентального рифтогенеза, когда в проседающем трогое может активизироваться процесс вулканизма, а с плеч рифта, находящихся в обстановке

относительного покоя, сносится материал химического выветривания коры. В итоге формируется разрез, представленный терригенными и карбонатными формациями с вулканогенными и хемогенными образованиями [Милановский, 1983].

5. Среднерифейский этап – время проявления в этом регионе континентального рифтогенеза и развития связанных с ним процессов регионального метаморфизма, магматизма и осадочно-вулканогенного седиментогенеза. Формирование зоны среднерифейского рифтинга было вызвано напряжениями растяжения в коре, что привело к заложению глубинных разломов, подъёму и плавлению мантии с последующим магматизмом и вулканизмом и к активной стадии рифтогенеза, т.е к формированию грабенообразных депрессий и быстрому погружению сформированных бассейнов [Милановский, 1983; Иванов, Русин, 1997; и др.]. В нашем случае мы можем выделить три последовательные стадии, во времени частично перекрывающих друг друга: предрифтовую; формирования зон глубинных разломов; собственно рифтовую.

Предрифтовая стадия проходила на фоне доминирующих растяжений. В это время фундамент древней протоплатформы находился в «возбуждённом» состоянии [Милановский, 1983]. Режим растяжения и термальная активизация привели к процессам регионального метаморфизма [Иванов, Русин, 1997], который сформировал в породах среднего СВК метаморфическую зональность. Возраст этого метаморфизма моложе, чем 1200-1150 млн. лет. С предрифтовой стадией по времени совпадает и становление ряда магматических комплексов – габбро-диорит-гранитового на ЗПШ и других. Их породы в это же время или чуть позже претерпели метаморфизм. Вторая стадия – формирования зон глубинных разломов. С моментом их образования совпадает по времени режим декомпрессии среднерифейского метаморфизма и процессы активного анатексиса в глубине коры. Тела анатектических гранитоидов в этих зонах имеют возраст 1100-950 млн. лет; с этим же интервалом следует связывать возраст глубинных разломов Шпицбергена. Третья стадия – рифтовая, - активно проявилась после образования глубинных сбросов, хотя процессы проседания территории и вулканизма обозначились раньше. Заложение грабенообразных структур шло в соответствии с доминирующими в то время напряжениями и субпараллельно формирующимся разломам.

Описанные тектонические процессы сопровождалась активной магматической деятельностью, выражающейся, в т.ч. и вулканическими излияниями как в центральных частях, так и на плечах грабенов, что связано с высоким тепловым потоком и, соответственно, с аномальным разогревом верхней части мантии и низов коры под рифтовой зоной [Казьмин, Бяков, 1997]. Это создало здесь условия для генерации магматических расплавов и обеспечило их подъём к поверхности в обстановке общего растяжения, которое подготовило необходимую проницаемость коры. В результате были сформированы осадочно-вулканогенные разрезы промежуточного СВК и комагматичные им интрузивные комплексы. Среди магматических образований преобладают субщелочные и высококалиевые разности; породы отнесены к двум магматическим сериям: толеитовой и субщелочной – щелочно-базальтовой, что характерно для образований рифтогенных структур [Казьмин, Бяков, 1997; Бородин, 1987; и др.]. Калиевый и натриевый тип щёлочности магматитов указывает, что эти образования были производными двух и более магматических очагов с разными глубинами зарождения. Преобладание в разрезах щелочных и субщелочных пород и невысокий удельный вес пород толеитовой серии является косвенным указанием на то обстоятельство, что интенсивность растяжения и степень проницаемости коры не достигли своего возможного максимума [Милановский, 1983] и среднерифейский рифтогенный процесс на архипелаге ограничился образованием грабенообразных структур. Полной деструкции коры не произошло, и от тектономагматической активизации режим постепенно перешёл к медленному эпирифтогенному прогибанию. В результате среднерифейского этапа фундамент и чехол эпикарельской протоплатформы были переработаны и омоложены, и уже эпигренвильский блок коры перешёл к платформенному режиму. Регенерация рифтогенных процессов произошла в силурийско-девонское время, результатом чего стало формирование девонского грабена Шпицбергена. О его эпиплатформенной природе ранее говорилось неоднократно [Бархатов, 1970; Турченко, 1987; и др.].

## Список литературы

- Бархатов Б.П.** Основные этапы тектонического развития архипелага Шпицберген// Вестник ЛГУ, 1970. № 6. Вып. 1. С. 157-159.
- Бородин Л. С.** Петрохимия магматических серий. М., Наука, 1987. 262 с.
- Иванов С.Н., Русин А.И.** Континентальный рифтовый метаморфизм // Геотектоника, 1997. № 1. С. 6-19.
- Казьмин В.Г., Бяков А.Ф.** Континентальные рифты: структурный контроль магматизма и раскол континентов // Геотектоника, 1997. № 1. С.20-31.
- Красильщиков А. А.** Стратиграфия и палеотектоника докембрия-раннего палеозоя Шпицбергена. Ленинград, Недра, 1973. 120 с.
- Ларионов А. Н.** Геохронология складчатого основания восточного террейна архипелага Шпицберген. Автореф. канд. дис. Апатиты, 1999. 22 с.
- Милановский Е. Е.** Рифтогенез в истории Земли (рифтогенез на платформах). М., Недра, 1983. 280 с.
- Неелов А. Н.** Петрохимическая классификация метаморфизованных осадочных и вулканических пород. Ленинград, «Наука», 1980. 100 с.
- Петрографический кодекс.** Спб, изд-во ВСЕГЕИ, 2008. 199 с.
- Предовский А. А.** Реконструкция условий седиментогенеза и вулканизма раннего докембрия. Ленинград, Наука, 1980. 152 с.
- Розен О. М.** Граувакки метаморфических комплексов докембрия (связь состава и геодинамических условий формирования)// Геология и разведка, 1993. № 1. С. 36-50.
- Сироткин А. Н.** Региональный метаморфизм раннепротерозойских-раннепалеозойских комплексов Шпицбергена// В кн.: Геолого-геофизические характеристики литосферы Арктического региона. Спб, ВНИИОкеангеология, 1996. Вып. 1. С. 241-254.
- Тебеньков А. М.** Позднедокембрийские магматические формации Северо-Восточной Земли // Геология Шпицбергена. Ленинград, изд-во Севморгеология, 1983. С. 74-85.
- Турченко С. И.** Докаледонский этап тектонического развития складчатого основания арх. Шпицберген как фундамента древней платформы// В кн.: Геология и перспективы рудоносности фундамента древних платформ. Ленинград, «Наука», 1987. С. 222-231.
- Турченко С.И., Тебеньков А.М., Бархатов Д.Б., Барматенков И.И.** Геологическое строение и магматизм района долины Чемберлена, Зап. Шпицберген // Геология Шпицбергена. Ленинград, ПГО «Севморгеология», 1983. С. 38-48.
- Balashov Ju. A., Peucat J. J., Tebenkov A. M., Ohta Y., Larionov A. N., Sirotkin A. N., Bjornerud M.** Rb-Sr whole rock and U-Pb zircon datings of the granitic-gabbroic rocks from the Skalfjellet Subgroup, southwest Spitsbergen // Polar Research 1996. 15(2). p. 167-181.
- Gee D., Tebenkov A.M.** Two major unconformities beneath the Neoproterozoic Murchisonfjorden Supergroup in the Caledonides of central Nordaustlandet, Svalbard // Polar Res., 1996. Vol. 15. p. 81-91.
- Horsfield W. T.** Glaucophane schists of Caledonian age from Spitsbergen. // Geol. Mag., 109. 1972. p. 29-36.
- Ohta Y.** Blue schists from Motalafjella, Western Spitsbergen Oslo, Norsk Polarinst.. Skr. N167. 1979. p. 171-217.
- Ohta Y.** Hecla Hoek rocks in central and western Nordaustlandet. Oslo, Norsk Polarinst., 1982. skr. N178. 60 p.