

# EARTH SCIENCES

## ABSOLUTE AGE OF DEEP XENOLITHS AND PERIODS OF TECTONIC-IGNEOUS ACTIVATION IN THE AREA OF WEST SPITSBERGEN ISLAND, SVALBARD ARCHIPELAGO

**Evdokimov A.,**

*Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor of the Department of Geology and Mineral Exploration, St. Petersburg Mining University*

**Kireev V.**

*Master, Director of "Iron Trade and Consulting" company, Saint-Petersburg*

## АБСОЛЮТНЫЙ ВОЗРАСТ ГЛУБИННЫХ КСЕНОЛИТОВ И ПЕРИОДЫ ТЕКТОНО-МАГМАТИЧЕСКОЙ АКТИВИЗАЦИИ В РАЙОНЕ ОСТРОВА ЗАПАДНЫЙ ШПИЦБЕРГЕН, АРХИПЕЛАГ СВАЛЬБАРД

**Евдокимов А.Н.**

*доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры геологии и разведки месторождений полезных ископаемых Санкт-Петербургского горного университета*

**Киреев В.Ю.**

*магистр, директор компании «Айрон энд Колсалтинг», г. Санкт-Петербург*

<https://doi.org/10.5281/zenodo.7494799>

### Abstract

Absolute dating of the collection of samples of deep xenoliths from volcanic lavas of alkaline basalts of West Spitsbergen Island were determined. As a result of isotopic determinations of monomineral fractions and the calculation of Sm - Nd relation to the composition of the depleted mantle reservoir (DM), the formation of pyroxenites was completed 352 ± 55 million years ago, and the crystallization of spinel lherzolites from restitite 144 ± 29 million years ago. The isochron obtained from the analysis of olivine, diopside and bulk rock composition, calculated from the CHUR model, allows us to consider the growth of the formation of peridotite restitite 953 ± 106 million years, which corresponds to the period beyond the Grenville and the beginning of the Baikal tectonic-magmatic cycles. The formation of Rifean methadiabases and granitoids of Svalbard is associated with this period.

### Аннотация

Выполнены определения абсолютных возрастов коллекции образцов глубинных ксенолитов из вулканических построек щелочных базальтов острова Западный Шпицберген. В результате изотопных определений мономинеральных фракций и расчета Sm - Nd отношения относительно состава истощенного мантийного резервуара (DM) образование гранатового пироксенита завершилось 352 ± 55 млн. лет тому назад, а кристаллизация шпинелевых лерцолитов из рестиита - 144 ± 29 млн лет. Изохрона полученная в результате анализа оливины, диопсида и валового состава породы, рассчитанная по модели CHUR позволяет считать возраст образования перидотитового рестиита 953 ± 106 млн лет, что соответствует периоду завершения гренвилевского и началу байкальского тектоно-магматических циклов. С этим периодом связано образование рифейских метадиабазов и гранитоидов Шпицбергена.

**Keywords:** West Spitsbergen Island, Sm - Nd dating, spinel lherzolites, pyroxenites, CHUR model, Rifean.

**Ключевые слова:** Sm – Nd абсолютный возраст, шпинелевый лерцолит, пироксенит, модель CHUR, Рифей

Глубинные ксенолиты обнаружены в лавах и вулканических бомбах четвертичных вулканов расположенных в узкой и протяженной зоне – Брейбоген – Бокк-фиорд на северо-западе острова Западный Шпицберген архипелага Свальбард. Самый северный - стратовулкан Сверрефьеллет, затем трубки взрыва Халвданпигген и Сигурдфьеллет. Возраст по данным K – Ar метода лавы вулкана Сигурдфьеллет – 2,7 млн. лет, нека Халвданпигген – 2 млн. лет, а стратовулкана Сверрефьеллет 10 и 6 тыс. лет. [1, с. 17; 2, с.50; 3, 169 с.] Четвертичные базальты по своему составу относятся к производным щелочно – оливин – базальтовой магмы. Вулканизм четвертичных вулканов эволюционировал с

юга на север, это направление совпадает с открытием Норвежско-Гренландского бассейна. [4, 61 с.].

Вулканы расположены близко, в нескольких километрах друг от друга и сходны по составу магм и по составу породообразующих минералов, что отражает схожесть условий генерации магм.

Отличительной особенностью магм вулканов является наличие большого количества в них мантийных включений. В составах проанализированных вкрапленников оливинов и клинопироксенов из базальтов вулканов Халвданпигген и Сверрефьеллет около 70% составляли мантийные минералы [7, 5 с.]. Их отличало низкое содержание СаО в магнезиальных (F<sub>0,1,5-90,5</sub>) оливинах и высокая атомарная магнезиальность (91,5-92,5) клинопироксенов.

Надо отметить, что часто мантийные оливины по размеру трудно, если не невозможно, было отличить от магматических, что для подобных случаев нужно учитывать, когда речь идет о валовом составе породы, поскольку большое количество магнезиальных вкрапленников будет влиять на суммарный состав базальта.

Содержания редких элементов в клинопироксенах базальтов характеризуются слабым обогащением наиболее несовместимых элементов от Ва до Sm с характерными для клинопироксенов минимумами на Zr. Этим они отличаются от большинства базальтовых магм от траппов, толеитов до умеренно щелочных, для которых клинопироксен является третьей кристаллизующей фазой, следующей за оливином и плагиоклазом. Для данных типов магм возможна кристаллизация клинопироксена вслед за оливином.

**Постановка проблемы.** Наличие в лавах вулканов Западного Шпицбергена ксенолитов нижней коры и верхней мантии позволило проанализировать мантийно-коровую составляющую глубоких горизонтов района архипелага Свальбард. Проведенное петролого-геохимическое исследование базальтов Шпицбергена, слагающих вершинные зоны вулканов Сверрефьеллет и Халвданпигген, приуроченных к глубинной разломной зоне Брейбоген-Бокк-фиорд, показало, что базальты относятся к щелочным сериям, содержание калия в которых достигает 1,5-2%. Магматизм хребта Книпович, развитие которого в его современном положении по времени совпадает с активностью вулканов Сверрефьеллет и Халвданпигген, отличается своей толеитовой тенденцией, относительным обогащением натрием и малоглубинным происхождением. В то же время, изливающиеся в его пределах толеиты обладают слабообогатненными литофилами и радиогенными изотопами характеристиками [7, 10 с.].

Своеобразным временным маркером тектоно-магматической активности в регионе могут выступать радиоизотопные датировки сосуществующих минералов в глубинных ксенолитах, выносимых вулканическими аппаратами на дневную поверхность.

Вулканы: Сверрефьеллет, Сигурдфьеллет и Халвданпигген [1, 17 с.] находятся в пределах блоков, ограниченных дизъюнктивами субмеридиональной ориентировки, конкордантными складчатых структурам архипелага, а также главному нарушению Шпицбергенской зоны трансформных разломов в Гренландском море. Сверрефьеллет и Сигурдфьеллет располагаются в непосредственной близости от этих дизъюнктивов.

Вулканические аппараты представлены трубками взрыва и трещинными подводными каналами. Совершенно особое место здесь занимает вулкан Сверрефьеллет, представляющий собой единственную в мире стратовулканическую постройку, сложенную щелочными оливиновыми базальтами [4, 59 с.; 5, 6 с.; 6, 80 с.].

Высота конуса постройки вулкана Сверрефьеллет достигает 506 метров, крутизна склонов конусов не более 15-25 град., реже - менее 15. При этом пирокластический материал обычно составляет довольно незначительную часть от общего объема вулканических пород, за исключением вулкана Сверрефьеллет, где его почти 50%. Он участвует в строении конусов, переслаиваясь с лавовыми покровами, а также представлен вулканическими «бомбами», размером от первых см до 30 см в поперечнике.

Лавы, формирующие потоки, обычно характеризуются пузыристыми текстурами, реже - канатными. Они имеют порфировое строение с микролитовой либо кристаллитовой основной массой. Во вкрапленниках, составляющих до 15 - 20 %, преобладает оливин, содержащий от 72 до 90 % форросиллитовой молекулы. Кроме того, во вкрапленниках встречаются: титанистый авгит и реже плагиоклаз, лабродор-битовнит.

Обычно все породы кайнотипные. Лавы вулканических конусов сходны с лавами потоков, иногда более плотные, массивные, афировые. Кромки кратеров сложены шлаком, который обычно имеет небольшой удельный вес и даже плавает в воде.

Трубки взрыва представляют собой субзаметные в плане тела, имеющие небольшой размер в поперечнике, первые десятки метров, и субвертикальные контакты. Они выполнены обломками собственно материнских с ксенолитами вмещающих и более глубинных пород, различной размерности и окатанности, сцементированы стекловатым базальтовым материалом пористой и массивной текстуры, нередко интенсивно карбонатизированы или гематитизированы так, что первичный состав магматических продуктов этих образований устанавливается с трудом. Подавляющая часть пород вулканических построек отвечает по составу щелочным оливиновым базальтам с переходами к гавайитам и базанитам.

По мнению Д.В.Семевского [8, 225с.] возраст вулкана Сверрефьеллет можно определить по взаимоотношению морены ледника Адольфа и конуса вулкана. Им был сделан вывод о том, что постройка образовалась после оледенения, сформированного нижней ступенью трога Боккфьорд, но до последних подвижек ледников, происходивших в историческое время. Автор утверждает, что глыбы гранитного состава, расположенные в привершинной части конуса претерпели гидротермальные изменения (карбонатизация и хлоритизация), что свидетельствует о том, что они имеют эксплозивное происхождение. В результате изучения террасового комплекса отложений восточного берега Боккфьорда, незатронутого современной ледниковой деятельностью, было обнаружено множество обломков лав и пирокластиков вулканического происхождения в нижней террасе, в интервале абсолютных отметок над уровнем моря от 5 до 14 м. По аналогии с датированным радиоуглеродным методом террасовым комплексом этого же уровня в Биллефьорде (о. Западный Шпицберген) автор считает, что вулкан Сверрефьеллет образовался 4 000 - 6 500

лет тому назад. Эта датировка подтверждена в одной из более поздних работ [9, 96 с.]. Было установлено два периода вулканизма: в конце неоплейстоцена (11000 – 10000 лет назад) и примерно в конце раннего – среднем голоцене (9000 – 6000 лет назад), именно этим периодам соответствуют повышения концентраций вулканогенных минералов в террасовых отложениях на берегах Боккфьорда.

Ю.П.Буров и И.А.Загрузина [10, 139 с.] определили абсолютный возраст образцов лав, слагающих конус вулкана Сверрефельлет К-Аг методом, и он составил менее 1 млн лет. Тем же методом был определен абсолютный возраст в ядре вулканической бомбы, сложенной перидотитом -  $2630 \pm 120$  млн. лет. Эти определения окончательно доказали четвертичный возраст вулкана и ксеногенную природу включений и бомб ультраосновного состава в них, что подтверждено в последующих работах [12, 26 с.; 13, 20 с. 14,

Определения абсолютного возраста базальтов из двух других вулканических центров также были выполнены в К-Аг системе. Они производились в Институте Геологии и геохронологии докембрия РАН Е.Р.Друбецким [4, 95 с.]. Абсолютный возраст вулканической горы Сигурдфельлет составил  $2,7 \pm 1$  млн.лет, г. Халвданпигген -  $2 \pm 1$  млн.лет. Учитывая

погрешности модельной системы расчета, был сделан вывод о том, что вулканические аппараты сформировались в четвертичное время в последовательности омоложения вулканических событий в направлении с юга на север.

**Методика определения абсолютного возраста ксенолитов.** Особый интерес представляют собой фрагменты глубинных пород, вынесенные четвертичной лавой на дневную поверхность в виде нодулей и вулканических бомб.

Предполагается, что перидотитовые нодули являются реститами мантии, а пироксенитовые ксенолиты сформированы в процессе пикритоидных выплавок из нее. На вопрос в какое время произошли эти события можно получить ответ лишь из результатов изотопных определений мономинеральных фракций и расчета Sm - Nd отношения относительно состава истощенного мантийного резервуара (DM) и примитивного однородного хондритового резервуара (CHUR). Такие данные были получены из исследований двух образцов крупных (до 17 см в диаметре) нодулей перидотитового и пироксенитового составов в лаборатории абсолютного возраста Института геологии и геохронологии докембрия РАН, аналитик Б.В. Беляцкий (табл. 1.).

Таблица 1

**Sm – Nd изотопный состав валовых проб и минеральных фракций мантийных ксенолитов из четвертичных базальтов архипелага Шпицберген.**

Образец	[Sm]	[Nd]	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	2σ	ε	T(DM2)
E-615 WR	0.635	1.928	0.19979	0.513122	13	9.40	133
Ol	0.0771	0.1326	0.35257	0.513259	23	10.13	72
Di	0.961	3.214	0.18133	0.513093	16	9.07	160
E-620 WR	1.728	5.373	0.19503	0.513045	17	7.96	253
Cpx	3.627	11.34	0.19388	0.513032	12	7.72	273
Opx	1.818	5.961	0.18492	0.513002	14	7.25	312
Pl	0.592	3.219	0.11152	0.512844	18	5.11	492

Примечание. Величина ε (100млн лет) вычислена относительно изотопного состава однородного хондритового резервуара (CHUR):  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd} = 0.1967$ ,  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.512638$ . Модельный возраст T(DM2) вычислен из предполагаемого состава истощенного мантийного резервуара (DM)  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd} = 0.2136$ ,  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.513151$  и среднего состава континентальной коры -  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd} = 0.12$ .

Определение абсолютного возраста перидотитовых ксенолитов [10, 139 с.] в изотопной системе К – Аг, составившее  $2,63 \pm 0,12$  млрд лет, не подтвердилось нашими данными в Sm – Nd изотопной системе в дух вариантах модельных расчетов: относительно изотопного состава истощенной и примитивной мантии. При этом изохрона полученная в результате анализа оливина, диопсида и валового состава породы, рассчитанная по модели CHUR позволяет считать возраст образования перидотитового рестита  $953 \pm 106$  млн лет, что соответствует периоду завершения гренвильского и началу байкальского тектоно-магматического цикла. С этим периодом связано образование рифейских метадиабазов и гранитоидов Шпицбергена.

**Обсуждение.** Абсолютный возраст выплавки и кристаллизации пикритоидов с образованием пироксенитового слоя по определениям в той же изотопной системе модели CHUR составил  $764 \pm 35$  млн лет. Этот возраст соответствует средним фазам байкальского тектогенеза. Подобные датировки метаморфизованных магматических пород также

имеют место на Шпицбергене. Данное обстоятельство является существенным геологическим аргументом в пользу высокой достоверности полученных расчетных возрастов по модели CHUR.

Однако, если пересчитать изотопные отношения системы Sm – Nd исходя из предполагаемого состава истощенного мантийного резервуара DM, экстракция пикритоидного расплава из мантийного источника произошла раньше, чем раскристаллизовался перидотитовый рестит, что представляется нелогичным. По геофизическим данным пироксенитовый слой залегает выше перидотитового. В этой системе пироксенит был сформирован  $352 \pm 55$  млн. лет, кристаллизация шпинелевого лерцолита из рестита завершилась  $144 \pm 29$  млн лет назад. Как не странно, эти два периода четко соответствуют двум этапам магматической активности на Шпицбергене.

Во-первых, это внедрение дайкового комплекса щелочных карбонатизированных лампрофиров, базальтоидов и кимберлитоподобных пород с

высокобарическими минералами, в том числе гранатами пиропового состава в предкарбонное время или в раннем карбоне. Они известны на побережье Северо-Восточной Земли, в Вейде-Фьорде, Экман-фьорде. Имеют, как правило, субмеридиональное простирание при мощности до 1 м. Связь с верхними горизонтами мантии этих тел обосновывается наличием перидотитовых и пироксенитовых ксенолитов в дайке, расположенной на западном берегу Вейде-фьорда, в береговом обрыве Земли Андре [11, 275 с.].

Во-вторых, синхронно образованию шпинелевого лерцолита -  $144 \pm 29$  млн. лет, что соответствует границе юры и мела, происходило массовое внедрение базитовых интрузий позднеюрско-раннемелового возраста на Шпицбергене. Интрузии долеритов распространены в субмеридиональной зоне от южных берегов о. Эдж до северного окончания Северо-Восточной земли, а также в центральной и восточных частях острова Западный Шпицберген. Значительные масштабы проявлений базитового магматизма свидетельствуют о существенной термической переработке магматического субстрата под архипелагом. Это тектоно-термальное событие должно было зафиксироваться в изменениях изотопной системы шпинелевых лерцолитов.

Данные обстоятельства могут также служить геологическими аргументами достоверности полученных расчетных возрастов перидотитовых и пироксенитовых нодул, так как в периоды магматической активности происходило подплавление верхней мантии и новообразование порообразующих минералов.

**Заключение.** В результате изучения и различных пересчетов изотопной системы Sm – Nd в минералах: оливин, клинопироксен, ортопироксен, полевой шпат и валовых составов мантийных ксенолитов вулкана Сверрефьеллет, а также последующей корреляции полученных абсолютных датировок минералообразования с основными тектоно-магматическими событиями на архипелаге, зафиксированными в природных обнажениях, установлена четкая временная связь между полученными изотопными возрастными и этапами магматической активности на Шпицбергене. Этот факт позволяет считать изотопную систему Sm – Nd в мантийных ксенолитах из вулканов Шпицбергена способной фиксировать главные тектоно-магматические события в истории геологического развития региона. При этом использовать два варианта расчетов абсолютного возраста: сначала относительно примитивного состава мантийного очага и на втором этапе – относительно истощенной мантии.

Вторым важным выводом является различие возрастных датировок шпинелевого лерцолита и пироксенита. Исходя из стратиграфического положения пироксенитового слоя в более верхнем горизонте, относительно перидотитов, следует считать докембрийский возраст мантийных ксенолитов если не первым, то одним из первых этапов становления верхней мантии под Западным Шпицбергом, зафиксированным изотопной системой Sm – Nd.

### Список литературы:

1. Hoel.A., Holtedahl O. Les nappes de lave, les volcans et sources thermales dans environs de la Rale Wood. Viden-skapsselskapets // Skr. Math.-naturwiss.KL., № 8, Kristiania, 1911. P. 17 - 30.
2. Gjelsvik T. Remarks on the structure and composition of the Sverrefjellet volcano, Bockfjorden, Vestspitsbergen // ARBOK 1962, Norskpolarinstitutt, Oslo, 1963. P. 50 – 54
3. Amundsen H.E.F., Griffin W.L., O'Reilly S.Y. The lower crust and the upper mantle beneath north western Spitsbergen: evidence from xenoliths and geophysics // Tectonophysics, 1987, v.139. P. 169 - 185.
4. Евдокимов А.Н. Вулканы Шпицбергена // СПб, Изд.: ВНИИОкеангеология, 2000. 123 с.
5. A primitive alkaly basaltic stratovolkano and associated eruptive centres, North-Western Spitsbergen / B.L.Skjelkvale, H.E.Amundsen, S.Y.O'Reilly et al. // Volcanology and tectonic signnificance.- In J. Volcanology and Geothermal Research, v. 37, 1989. P. 1-19.
6. Amundsen H.E.F. Igneous processes and lithosphere evolution: evidence from upper mantle and lower crustal xenolith evidence from Northwestern Spitsbergen and the Canary Islands / Dissertation for the degree of Doctor Philosophie // Mineralogisk-Geologisk Museam Universitetet i Oslo, 1991. 140 p.
7. Sushchevskaya N. M., Evdokimov A. N., Belyatsky B. V., Maslov V. A., Kuz'min D. V. Conditions of Quaternary magmatism at Spitsbergen Island. Geochem. Int. 2008. N 46. P. 1—16.
8. Семевский Д.В. К вопросу о возрасте вулкана Сверре // Материалы по геологии Шпицбергена. Л., 1965. С. 222 - 275.
9. Сироткин А.Н., Шарин В.В. Возраст проявления четвертичного вулканизма в районе Боккфьорда (арх. Шпицберген)// Геоморфология, 2000. N1. С. 95-105.
10. Буров Ю.П., Загрузина И.А. Результаты определения абсолютного возраста кайнозойских базитов северной части о.Шпицберген // Геология Свальбарда. Л., 1976. С. 139-140.
11. Евдокимов А.Н., Бурнаева М.Ю., Радина Е.С., Сироткин А.Н. Первая находка акцессорных минералов кимберлитов в мафит-ультрамацитовых дайках Шпицбергена // ДАН РАН. 2006. Т. 407.. № 2. С. 275 -279.
12. Никитина Л.П., Бабушкина М.С., Гончаров А.Г. Геохимия REE и HFSE в мантийных перидотитовых и пироксенитовых ксенолитах из четвертичных вулканов Северо-западного Шпицбергена, 2016, Записки РМО, часть CXLV, № 1, с. 26 – 47.
13. Maslov V. A. Mantle inclusions in alkaline basaltoid of Sverre volcano, archipelago Spitsbergen: petrography, geochemistry, platiniferous rocks. PhD thesis syn. Saint Petersburg: Mining University, 2000. 28 p.
14. Kopylova M. G., Genshaft Y. S., Dashevskaya D. M. Petrology of upper mantle and lower crustal xenoliths from the North-Western Spitsbergen. Petrology. 1996. Vol. 4. P. 493—518.