

## КРАТКИЕ НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 551.24:552.11(470.2)

*Д. А. Франк-Каменецкий, Т. И. Васильева, А. В. Зайончек***ПОСТСКЛАДЧАТЫЕ И АНОРОГЕННЫЕ МАФИЧЕСКИЕ ДАЙКОВЫЕ КОМПЛЕКСЫ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ПРИЛАДОЖЬЯ<sup>1</sup>**

**Введение.** Высокая информативность дайковых комплексов как индикаторов геодинамических обстановок имеет большое значение при изучении рифейских и палеозойских этапов эндогенной активности в пределах Фенноскандинавского щита. Особый интерес вызывают дайковые комплексы, развитые в пределах наиболее обширного мобильного пояса Фенноскандинавского щита — Свекофеннского. На территории России породы пояса обнажаются в районе Северо-Западного Приладожья. И именно этот район представляется ключевым для понимания процессов, переходных между посторогенным магматизмом свекофеннского этапа и анорогенными эндогенными событиями позднего протерозоя, а также унаследованности вторыми особенностями первого. Это обусловлено тем, что рассматриваемая территория расположена между двумя разновозрастными массивами гранитов-рапакиви, подвержена влиянию магматизма, синхронного с иотийским этапом осадконакопления, и характеризуется широким развитием постсвекофенских интрузий. Однако крупные тела отражают лишь отдельные фрагменты достаточно локальных эндогенных событий, в то время как дайковые комплексы, имеющие площадное распространение, позволяют не только в полной мере представить характер магматизма, но и оценить структурно-тектонические особенности эволюции региона. Кроме того, некоторые события, сыгравшие заметную роль в геологической истории региона, могут быть выражены только в дайковых комплексах, так как супракрустальные отложения денудированы в результате алифты щита.

Главная трудность при реконструкции эндогенных процессов на основе дайковых комплексов вызвана сложностью их картирования вследствие малых размеров единичных тел. Решение этой задачи не представляется возможным без анализа данных по потенциальным геофизическим полям с использованием современных компьютерных методик обработки данных и геoinформационных систем.

Методика картирования и геология даек. Для обнаружения дайковых тел малой мощности была использована цифровая модель аномального магнитного поля (АМП) района Северного Приладожья, созданная на основе крупномасштабной (1:25 000) аэромагнитной съемки. В геoinформационной среде ArcInfo цифровая модель АМП была преобразована в изображение теневого рельефа и проанализирована совместно с цифровыми моделями топографической и геологической карт масштаба 1:50 000. Выделенные на основе анализа АМП протяженные (несколько десятков километров) линейные элементы впоследствии заверялись при проведении полевых работ. Это позволило закартировать серию протяженных дайковых тел мощностью 20–30 м.

Возможность обнаружения столь маломощных геологических тел с использованием материалов аэромагнитной съемки масштаба 1:25 000 обусловлена двумя факторами. Во-первых, это значительно более высокая магнитная восприимчивость ряда дайковых пород ( $\chi=17-48$ ) по сравнению с вмещающими породами сортавальской и ладожской серий раннего протерозоя ( $\chi=1$ ). Во-вторых, при параметрах съемки — расстояние между профилями 250 м, расстояние между точками измерения вдоль профилей 50 м и высота полета 50–60 м, вклад в значение измерения в данной точке поля вносят объекты, расположенные в радиусе 50 м. Учитывая резко контрастные физические характеристики даек и вмещающих их пород, подобная методика позволяет фиксировать тела даже незначительной мощности. Встречающиеся в пределах складчатых супракрустальных толщ высокомагнитные прослои

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты № 05-64492 и 01-05-64190) и 6-го конкурса-экспертизы для молодых ученых (грант № 330).

© Д. А. Франк-Каменецкий, Т. И. Васильева, А. В. Зайончек, 2003

всегда являются конформными по отношению к общему геолого-тектоническому плану, в то время как поздние дайковые тела — резко секущими.

При анализе АМП были выделены две группы секущих линейментов (рис. 1). В районе г. Сортавала протяженные (10–15 км) аномалии образуют узкую (около 20 км) зону, проходящую через центр города. Зона расширяется при смещении в юго-восточном направлении и выклинивается на северо-западе в районе пос. Хеллоля (рис. 2). Другая группа аномалий имеет субширотное простирание. Такие аномалии были зафиксированы в районе пос. Луммиваара и в 40 км на северо-запад от г. Лахденпохья. В районе пос. Луммиваара три крупные (протяженностью 20–30 км) аномалии кулисообразно подставляют друг друга, изменяя простирание от строго широтного на юго-восточное.

Проведенная во время полевого сезона 2001 г. заверка результатов интерпретации АМП показала приуроченность первого направления к дайкам мощностью от 20 до 30 м с вертикальным падением,

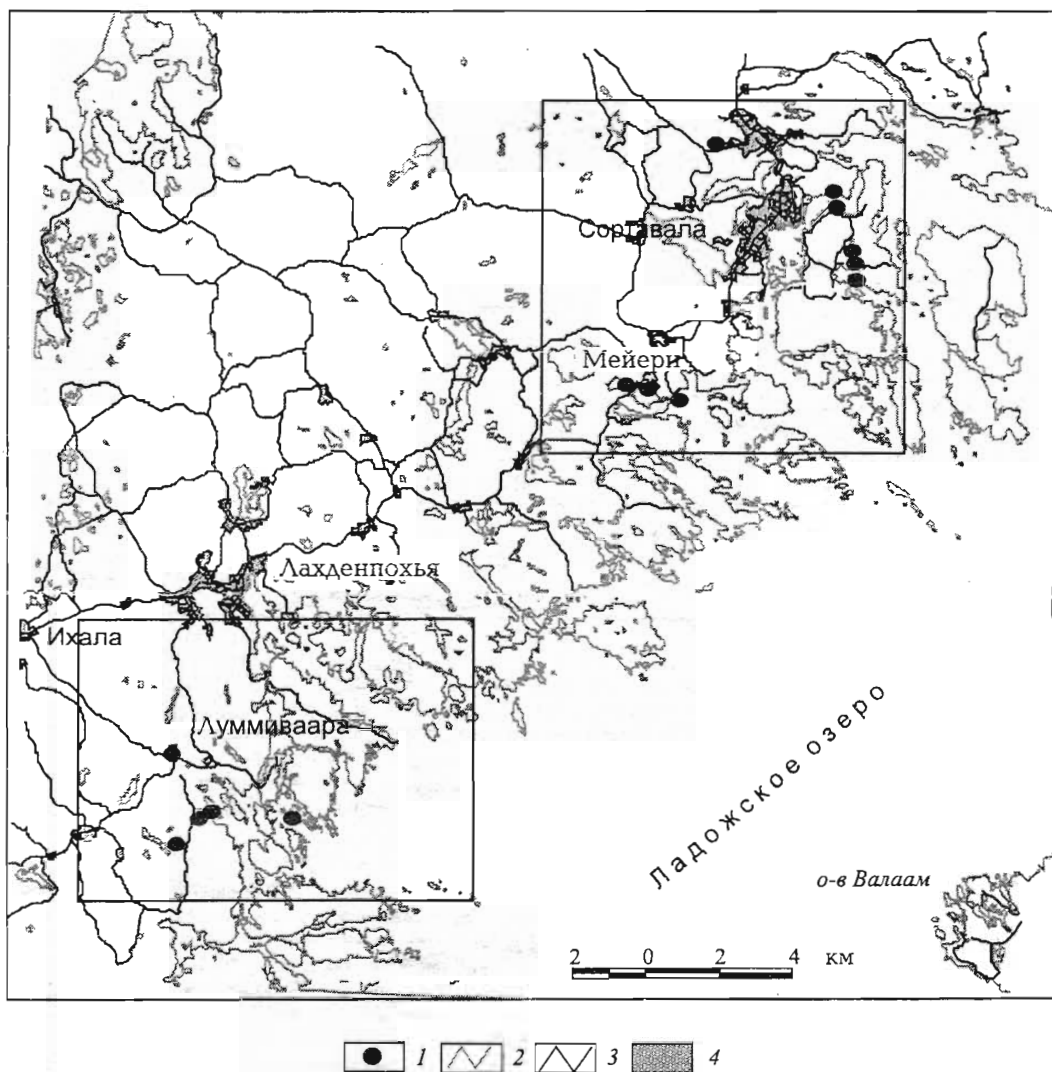


Рис. 1. Схема расположения точек опробования посторогенных и анорогенных дайковых комплексов Северо-Западного Приладожья.

1 — точки отбора проб; 2 — гидросеть; 3 — дороги; 4 — населенные пункты.

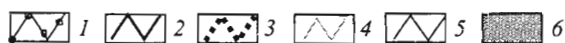
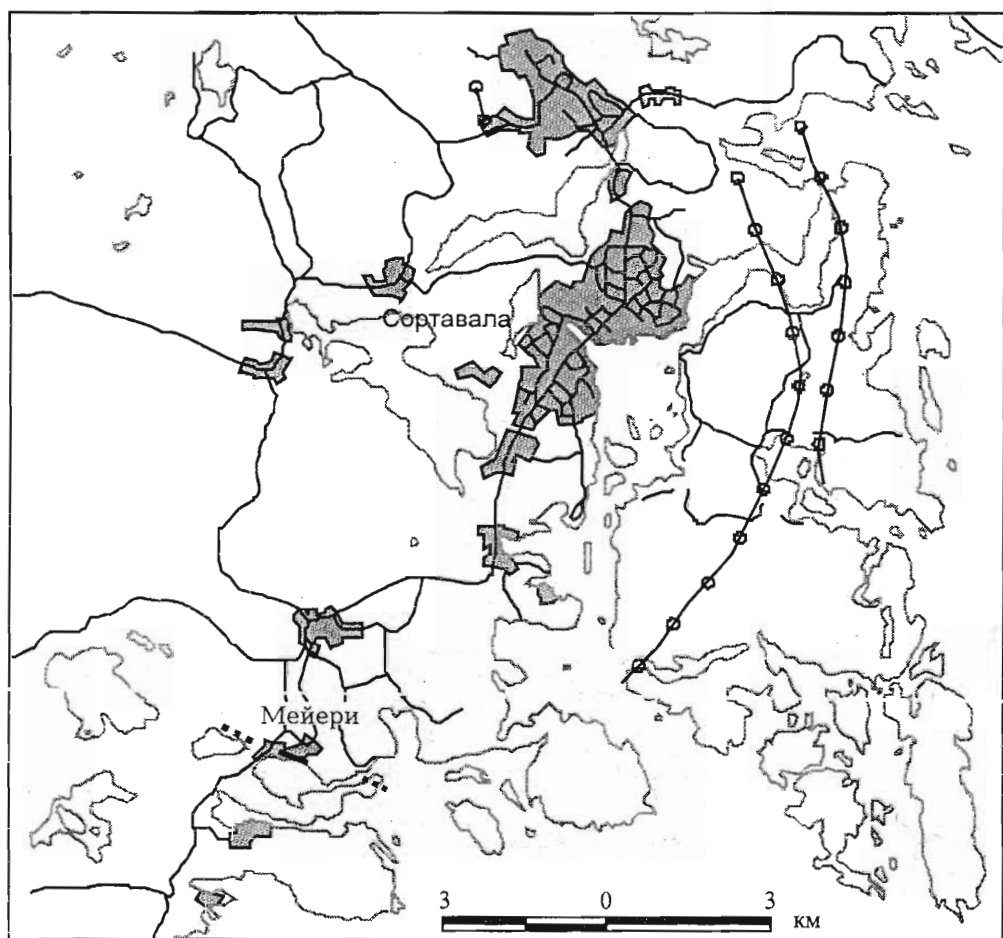


Рис. 2. Схема расположения дайковых комплексов посторогенного и анорогенного этапов в районе г. Сортавала.

1 — долериты (предположительно с возрастом 1,35 млрд лет); 2 — лампрофиты; 3 — долериты слабометаморфизованные; 4 — гидросеть; 5 — дороги; 6 — населенные пункты.

которые сложены темно-серыми до черных долеритами с четкими стекловатыми контактами, не затронутыми процессами метаморфизма (рис. 3)<sup>2</sup>. Магнитная восприимчивость изученных тел составляет 16–48, что при вышеуказанной мощности позволяет легко фиксировать отдельные тела в магнитном поле. Точность обнаружения объектов по результатам анализа АМП составила 50–70 м.

В результате заверки одной из субширотных аномалий в районе пос. Луммиваара в двух обнажениях было прослежено дайковое тело (рис. 3) с видимой мощностью около 37 м и субвертикальным падением. Породы темно-серые, почти черные, с четкими закаленными контактами. Во вмещающих гнейсах просматриваются незначительные зоны (5–7 см) приконтактовых изменений, выраженных в образовании параллельного контакту чередования лейкократовых и меланократовых прослоев. Магнитная восприимчивость пород дайки варьирует от 10 до 18х, тогда как восприимчивость вмещающих

<sup>2</sup> Иващенко В. И. Первые находки анальцимовых лампрофиров в Карелии // Докл. РАН. 1999. Т. 364, № 2. С. 219–222.

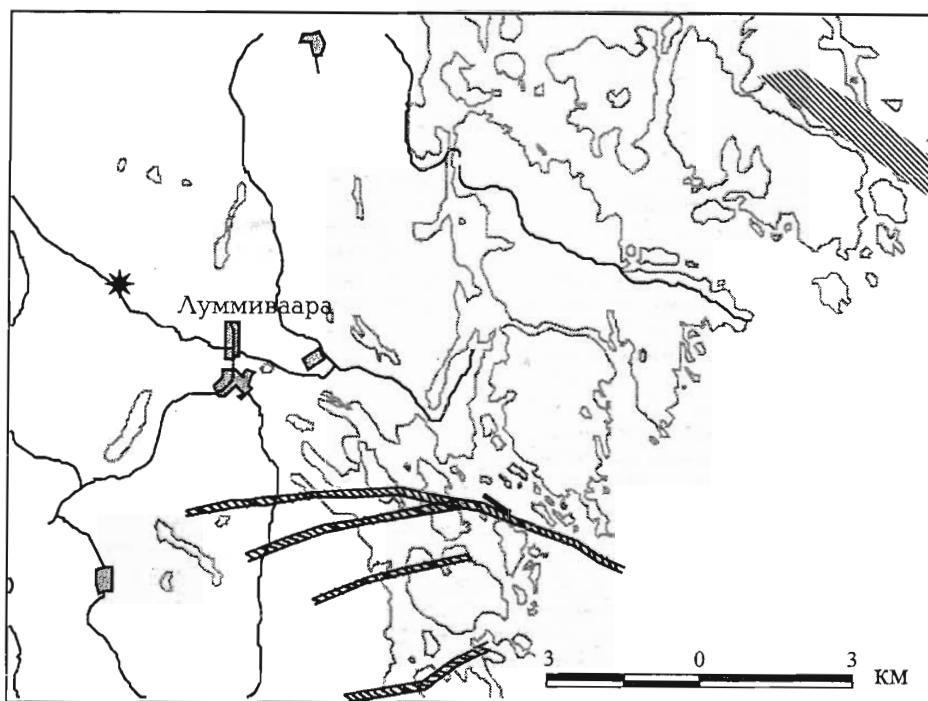


Рис. 3. Схема расположения дайковых комплексов посторогенного и анорогенного этапов в районе пос. Сортавала.

1 — долериты (предположительно с возрастом 1,6 млрд лет); 2 — лапрофиты; 3 — область развития лампрофитов роя Калто; 4 — интрузия сиенитов; 5 — гидросеть; 6 — дороги; 7 — населенные пункты.

мигматизированных гнейсов ладожской серии не превышает 0,5х.

В процессе полевых работ производилась проверка данных производственно-съёмочных отчетов. В результате было изучено значительное количество секущих дайковых тел, также не подвергшихся основным этапам свекофеннской складчатости и метаморфизма (см. рис. 1). Сложность обнаружения таких тел обусловлена их крайне малой (около 1 м и менее) мощностью и низкой (в пределах 1х) магнитной восприимчивостью. Дайки имеют различную морфологию. Преимущественно это тела мощностью около 0,5 м с вертикальным падением и северо-западным простиранием. Одно такое тело было описано в районе пос. Мейери, а другое — на п-ове Кирвес. В том же районе выявлена дайково-жильная система общей шириной около 7 м. Она имеет сложное внутреннее строение, однако характеризуется общим северо-западным простиранием и субвертикальным падением.

На острове в заливе Ладожского озера в районе пос. Луммиваара описана дайка мощностью около 40 см, с пологим (около 30°) падением. В ней отмечены миндалевидные обособления, тяготеющие к центральной части. Простирание всех даек неизменно северо-западное, в пределах 290-300°.

В 2 км от пос. Луммиваара, по дороге на пос. Хийтола, выявлено тело, секущее по отношению к структурным элементам, сформированным в главную фазу свекофеннской орогении. Тело имеет видимую мощность около 30 м, однако удалось проследить только незначительный фрагмент одного из контактов, так что его морфология остается неясной. В приконтактной зоне порода однородная, мелкозернистая. Отмечается брекчирование вмещающих пород. Морфология контакта сложная и требует дополнительного изучения. При движении от контакта к центральной части тела равномернозернистые закаленные породы сменяются породами с ярко выраженной полосчатостью северо-западного направления, вызванной ориентировкой лейст биотита. Фрагментами линейность столь ярко выраже-

на, что создается впечатление гнейсовидности. Породы имеют низкую магнитную восприимчивость (не более 1), что, наряду с секущим характером залегания тела и отсутствием проявления метаморфических изменений, позволило предварительно рассматривать его в одной группе с вышеописанными дайками.

**Петрография.** Минеральный состав долеритовых даек в районе г. Сортавала представлен преимущественно плагиоклазом (андезин), пироксеном (авгит), апатитом и рудными минералами (предположительно магнетитом), что и обеспечило их высокую магнитную восприимчивость. В незначительном количестве встречаются амфибол и биотит. Тем не менее породы не затронуты метаморфическими изменениями. По химическому составу дайки соответствуют высокожелезистым толеитам, с несколько повышенным содержанием щелочей, в особенности  $K_2O$ , а также  $TiO_2$  и  $P_2O_5$ . Содержание редких и редкоземельных элементов (РЗЭ) идентично базальтам салминской свиты, развитой на северо-восточном берегу Ладожского озера. Их распределение имеет сильно дифференцированный характер, выраженный в резко обогащении легкими РЗЭ (La-61,3, Ce-131, Nd-78,2, Sm-14,7, Eu-5,13, Tb-1,4, Yb-4,42, Lu-0,5). Данные по минералогическому и химическому составам пород позволяют сопоставлять их с вулканитами салминской свиты, синхронными с иотнийским осадконакоплением, возраст которых, по косвенным данным, оценивается в 1,35 млрд лет [1-4].

Особенностью дайки долеритов, изученной в районе пос. Луммиваара, является появление в осевой части тела мегакристов зонального плагиоклаза (до 5-15 см). Мегакристы закономерно ориентированы вдоль оси тела. Породы сложены преимущественно средним полевым шпатом и авгитом. Значительную роль играют роговая обманка, биотит и рудные минералы. В незначительном количестве содержится апатит. Предварительно породы сопоставляются с дайковыми роями Хяме и Суомениеми [5].

Изучение минерального состава пород даек с низкой магнитной восприимчивостью позволило разделить их на две серии. Породы первой серии можно принципиально объединить в группу метадолеритов. К ним относятся дайково-жильная система, закартированная в районе пос. Мейери, и дайка на п-ове Кирвес. Породы мелкозернистые, сложены преимущественно плагиоклазом (андезин), роговой обманкой и биотитом. В незначительных количествах содержатся апатит, кварц и рудные минералы. Характерной особенностью пород являются порфировидные вкрапленники плагиоклаза и пироксена. Последний замещен роговой обманкой, но достаточно хорошо диагностируется благодаря форме кристаллов.

Вторая группа даек, несколько варьирующая по составу, была объединена в группу лампрофиров. Изученная на острове в районе пос. Луммиваара дайка по минералогическому составу соответствует лампрофирам, ранее описанным в районе залива Акионсалми, возраст которых оценивается в интервале 1,803-1,775 млрд лет [6]. Мелкозернистая основная масса породы состоит из плагиоклаза, калиевого полевого шпата и биотита. Выделяются мегакристы неизменного клинопироксена (диопсида), биотита и плагиоклаза. Характерной чертой является присутствие крупных кристаллов апатита. В значительном количестве содержится карбонат, который не только выполняет миндалины, но и образует самостоятельные кристаллы. Весьма схожий состав имеет дайка в районе пос. Мейери, однако она не содержит мегакристов пироксена. В ней отмечаются следы течения, выраженные в ориентировании лейст биотита и кристаллов апатита, образующих цепочки.

Породы, слагающие интрузивное тело, описанное в 2 км от пос. Луммиваара по дороге, ведущей в пос. Хийтола, получили общее название «сиениты», или представленные породы центральной зоны. Это среднезернистая порода, состоящая из плагиоклаза и калиевого полевого шпата. Из темноцветных минералов в основном отмечается биотит, крупные лейсты которого слагают ориентированные удлиненные шпирсы, обусловленные течением магмы. В шпирсах в значительном количестве присутствуют апатит, сфен и ортит. Краевая фация сложена существенно лейкокраговыми сиенит-порфирами. Для них свойственны крупные зональные кристаллы плагиоклаза со структурами распада, окруженного каймой калиевого полевого шпата. Щелочной полевой шпат также формирует отдельные кристаллы и гранофировоподобные сростания с кварцем. Темноцветные минералы представлены главным образом крупными лейстами биотита. Предварительно интрузия отнесена к группе элисенваарских интрузий [6], несмотря на существенное удаление от основного района их развития.

**Заключение.** Наиболее важным результатом работ стало выделение четырех дайковых комплексов, секущих складчатые структуры свекофенского пояса и не подверженных метаморфизму основного орогенного этапа. Сравнение с комплексами, описанными в регионе и на территории Финляндии, показывает, что они развиты во временном интервале от 1,8 до 1,35 млрд лет, который охватывает завершение свекофенского орогенического этапа и начало нового анорогенного этапа эволюции земной коры.

## Summary

*Frank-Kamenetsky D., Vasilyeva T., Zajonchek A.* Postorogenic and anorogenic mafic dyke complexes of the North-Western Ladoga region.

Dyke complexes are highly informative for the investigating of the magmatic events, which are not exposed at the current level of erosion. They also indicate fields of compression experienced by the lithosphere. Dyke swarms in the eastern part of Fennoscandian shield are studied inadequately due to the difficulties of mapping the bodies that small. Magnetic data obtained by low-altitude airborne survey and computer processing of geological data (GIS ArcInfo) allowed the authors to start systematic investigations in the Ladoga region, that resulted in distinguishing two types of anomalies. Mafic rocks that give these anomalies might correspond to early Rephean magmatic events. Several non-magnetic bodies made of lamprophyres and slightly metamorphosed dolerites were described when revising older mapping reports. In addition, a cutting body made of syenites was discovered. Thus, the authors have collected material on magmatic events reflecting the transitional stages of the crust evolution from the postorogenic to anorogenic geodynamic regimes.

## Литература

1. *Ларин А. М., Кутявин Э. П.* Возраст иотнийского магматизма Северного Приладожья. Стратиграфия. Геологическая корреляция: В 2 т. М., 1993. Т. 1, № 5. 2. *Светов А. П.* Платформенный базальтовый вулканизм карелид Карелии. Л., 1979. 3. *Франк-Каменецкий Д. А.* Новые данные по геохимии, минералогии и петрологии рифейских базитов Приладожья // Вопросы геологии Карело-Кольского региона / Под ред. А. И. Голубева. Петрозаводск, 1996. 4. *Хазов Р. А., Попов М. Г.* Рифейские вулcano-плутонические формации Приладожья // Интрузивные базиты и гипербазиты Карелии. Петрозаводск, 1984. 5. *Tapani R.* Petrogenesis of the proterozoic rapakivi granites and related basic rocks of southeastern Fennoscandia: Nd and Pb isotopic and general geochemical constrains // Geol. Surv. of Finland. 1991. Bull. 356. 6. *Eklund O., Konopelko D., Ruitanen H.* et al. 1.8 Ga Svecofennian post-collisional shoshonitic magmatism in the Fennoscandian shield // Lithos. 1998. Vol. 45.

Статья поступила в редакцию 17 мая 2002 г.