

## СТРОЕНИЕ И СОСТАВ НАДАЯНСКОГО ПОКРОВА КАК ПРИМЕР ОДНОРОДНОСТИ ЛАВОВЫХ ПОКРОВОВ СИБИРСКОЙ ТРАППОВОЙ ПРОВИНЦИИ<sup>1</sup>

© 2020 г. Н. А. Криволицкая<sup>а, \*</sup>, Т. Б. Кедровская<sup>б, \*\*</sup>

<sup>а</sup>Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН  
ул. Косыгина, 19, Москва, 119991 Россия

<sup>б</sup>ФБГУ “Росгеолфонд” 3-я Магистральная ул., 38, Москва, 123007 Россия

\*e-mail: nakriv@mail.ru

\*\*e-mail: shlychkova.tanya@yandex.ru

Поступила в редакцию 25.03.2019 г.

После доработки 17.06.2019 г.

Принята к публикации 18.07.2019 г.

В статье впервые продемонстрировано постоянство состава (главные и редкие элементы) покровов базальтов Сибирской трапповой провинции на примере одного из главных маркирующих горизонтов вулканогенной толщи — надаянского покрова, — простирающегося на площади около 48000 км<sup>2</sup> при средней мощности от 30 до 50 метров. Покров залегает в основании мокулаевской свиты в Норильском районе и хоннамакитской — на плато Путорана, и соответственно располагается над моронговской и аянской свитами (названия свит различаются за счет применения разных схем расчленения вулканогенной толщи). Он характеризуется отчетливо проявленной гломеропорфировой структурой, которая выделяет его на фоне ниже- и вышезалегающих пород. Состав надаянского покрова изучен на протяжении нескольких сотен километров и характеризуется постоянством содержаний как главных компонентов (48.31 SiO<sub>2</sub>, 1.26 TiO<sub>2</sub>, 15.8 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 12.71 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 0.19 MnO, 6.89 MgO, 11.1 CaO, 2.25 Na<sub>2</sub>O, 0.37 K<sub>2</sub>O, 0.14 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 0.02 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), так и редких элементов (2.44 La/Sm, 1.56 Gd/Yb), вариации которых находятся в пределах ошибок использованных методов — рентгенофлуоресцентного и масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой. Кристаллизация базальтов надаянского покрова осуществлялась из толеитового расплава, аналогичного по составу расплавам остальных покровов мокулаевской свиты. Для сравнения приведено строение нижезалегающей моронговской и мокулаевской свит в восточной части Норильского района, в бассейне реки Микчангда. Состав слагающих их базальтов также варьирует незначительно. Главное отличие заключается в повышении содержаний TiO<sub>2</sub> от 1.19 до 1.3 мас. % при переходе от нижней к верхней свите. Несмотря на небольшой скачок концентраций, он является принципиальным и позволяет отличать базальты вышеуказанных свит. Выявленная выдержанность составов изученных свит в целом, и надаянского горизонта в частности, имеют принципиальное значение для исследования крупных магматических провинций, демонстрируя однородность состава излившихся магм и их источников. Полученные результаты важны как пример использования геохимических данных для корреляции разрезов, удаленных друг от друга на значительные расстояния.

**Ключевые слова:** Сибирские траппы, базальты, геохимия, Норильский район, плато Путорана

**DOI:** 10.31857/S0016752520040044

### ВВЕДЕНИЕ

При решении проблемы формирования крупных (или больших) магматических провинций (БМП) решающее значение имеют особенности их строения, позволяющие реконструировать эволюцию магматизма в пространстве и во времени. Особенно это важно для крупнейшей в мире

континентальной Сибирской трапповой провинции (1.5 млн км<sup>2</sup>, Золотухин и др., 1978). При ее изучении остро встает вопрос о корреляции отдельных разрезов туфо-лавовой толщи, расположенных на значительном расстоянии друг от друга. Часто такое сопоставление вызывает существенные трудности из-за близости структурно-тектонических особенностей пород и существенной тектонической нарушенности плато, смещающей горизонты на десятки метров по вертикали. Существует мнение, что состав пород в пределах от-

<sup>1</sup> Дополнительная информация для этой статьи доступна по doi 10.31857/S0016752520040044 для авторизованных пользователей.

дельных свит и даже отдельных покровов базальтов сильно варьирует по простиранию. Именно поэтому геохимические данные практически не используются при палеомагнитных реконструкциях (Павлов и др., 2011; Фетисова и др., 2014; Pavlov et al., 2019). Действительно, существуют отдельные примеры, свидетельствующие об изменении состава некоторых свит в пределах Норильского района, в частности, гудчихинской (Соболев и др., 2009) и надеждинской (Krivolutskaya et al., 2016). Однако это относится только к породам, сформированным внутри Норильско-Игарской палеорифтовой зоны (Krivolutskaya et al., 2019). Насколько выдержан химический состав отдельных базальтовых потоков трапповой формации на платформе до сих пор остается неясным, поскольку такие данные до сих пор отсутствуют в литературе.

Решение данной проблемы возможно только на примере эффузивных пород, характеризующихся специфическими текстурно-структурными особенностями, занимающими постоянное положение в разрезе и простирающихся на значительное расстояние, которые надежно диагностируются в полевых условиях. Таких маркирующих горизонтов на Сибирской платформе выделено всего несколько (Межвилк, 1962; Старосельцев, 1989). Среди них наибольший интерес представляет собой надаянский покров, занимающий по данным Старосельцева (1989) площадь 48 тыс. км<sup>2</sup> на севере Сибирской платформы (плато Путорана и север Норильского района, рис. 1). Он залегает в основании мокулаевской свиты в Норильском районе (рис. 2а) и соответственно хоннамачитской свиты на плато Путорана (являющихся полными аналогами, но получившими различные названия в легендах к разным листам 1 : 1000000 геологических карт- R-45 и R-46). Покров перекрывает соответственно моронговскую и аянскую свиты, благодаря последней он и получил свое название. Слагающие его породы обладают отличной от подстилающих и перекрывающих базальтов гломеропорфировой структурой, выделяющей его на фоне выше- и нижезалегающих афировых и олигогломеропорфировых разновидностей. Именно поэтому он используется при картировании вулканитов на севере Сибирской платформы, где бронирует поверхности выравнивания и отчетливо выделяется на фоне нижезалегающих пород, благодаря большей устойчивости к выветриванию, а также хорошо выраженной столбчатой отдельности. В южном направлении он постепенно занимает все более низкое гипсометрическое положение, которое породы приобрели в результате тектонических движений на постмагматическом этапе (Старосельцев, 1991).

В результате выполненных исследований установлено, что состав горизонта выдержан на протяжении сотен километров, также как состав по-

род внутри свиты, что имеет важное значение для использования и интерпретации геохимических данных на Сибирской платформе.

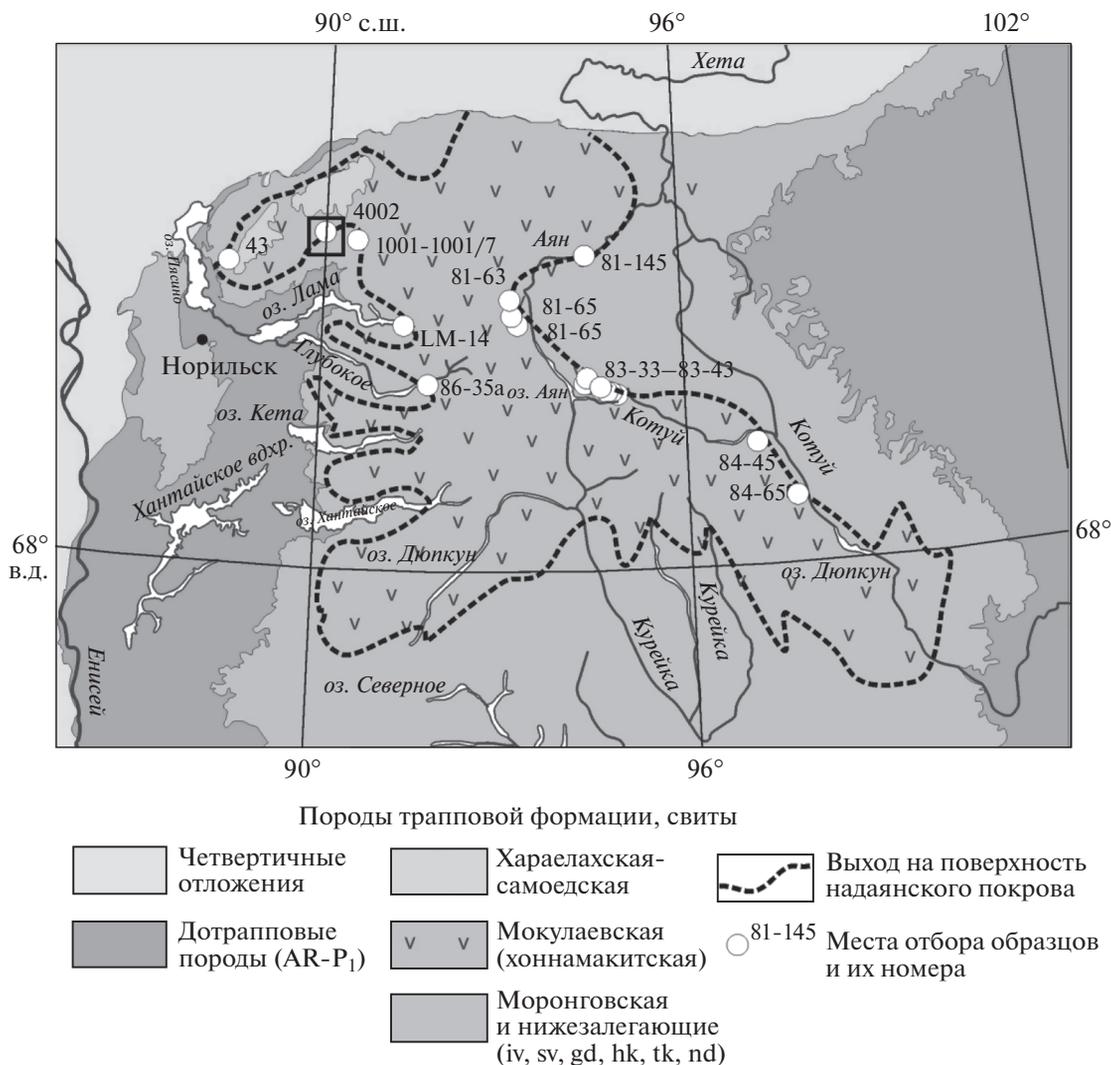
## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Состав и строение надаянского покрова были изучены авторами в ряде обнажений Норильского района, а также для анализа были привлечены образцы из коллекции Г.Н. Нестеренко, отобранные им в 1981–1985 гг. на плато Путорана (рис. 1). Всего было изучено 27 образцов. Также нами были изучены представительные разрезы моронговской и мокулаевской свит на Микчангдинской площади для получения сравнительной характеристики их между собой и с породами надаянского покрова. 21 образец был отобран из центральной части потоков, наименее подверженных вторичным изменениям.

Содержания 11 главных петрогенных оксидов в породах надаянского покрова определяли с помощью рентгенофлуоресцентного анализа, выполненного на спектрометре со сканирующим каналом модель “AXIOS mAX” фирмы PANalytical в ИГЕМ РАН (аналитик А.И. Якушев) по методике количественного химического анализа III категории точности, разработанной во Всесоюзном институте минерального сырья (ВИМС) (Методика..., 2011). Источником возбуждения характеристического излучения атомов элементов служила рентгеновская трубка с Rh-анодом мощностью до 4 кВт (напряжение 60 кВ, ток 160 мА). Содержания главных компонентов в породах моронговской и мокулаевской свит исследовали с помощью того же метода в ГЕОХИ РАН (аналитики И.А. Рошина и Т.В. Ромашова). Методические основы аналитических исследований приведены в работе (Krivolutskaya et al., 2018). Концентрации редких элементов определяли с помощью масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS) в ИПТМ РАН (аналитик В.К. Карандашев). Относительные стандартные отклонения, определенные по многократным независимым измерениям стандартных образцов (BHVO-1, BCR-2, DTS-2, Геологическая служба Америки), приготовленных так же, как и рядовые пробы, приведены в табл. 3 в Приложении.

## КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О СОСТАВЕ ПОРОД СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

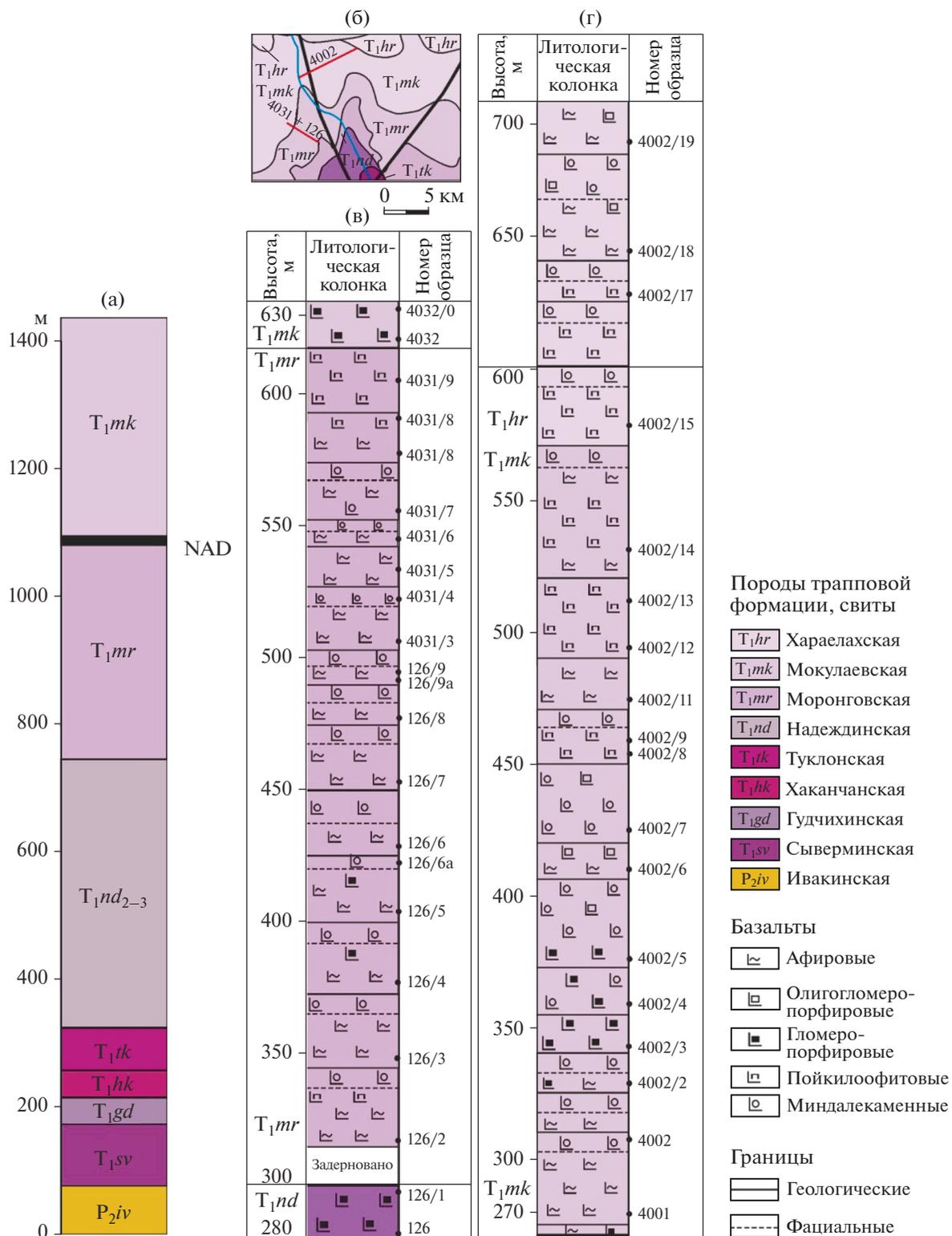
Сибирская трапповая провинция охватывает Сибирскую платформу и южную часть Таймырского полуострова. Типичные траппы (Геологический словарь, 2014) — толеитовые базальты, покрывающие обширные платформенные территории — распространены в северной и центральных частях провинции; а именно в Норильском районе, на плато Путорана, а также в районе Тунгус-



**Рис. 1.** Положение надаянского покрова на схематической геологической карте северной части Сибирской трапповой провинции с точками отбора образцов.

кой синеклизы. Данных по Таймырским породам пока недостаточно, чтобы сопоставить их с вулканитами Сибирской платформы. Первоначальное расчленение вулканогенных образований на свиты было выполнено в 1960-ые годы при проведении геолого-съемочных работ, их геохимические особенности приведены во многих работах (Федоренко, 1981; Золотухин и др., 1986; Нестеренко и др., 1990, 1991; Lightfoot et al., 1990, 1993; Рябов и др., 2000; Альмухамедов и др., 2004; Криволюцкая, 2014 и др.). Наиболее полный разрез вулканитов поздней перми-раннего триаса характерен для Норильского района (3.5 км). Он включает 11 свит (располагающихся снизу вверх по разрезу): иванкинскую, сыверминскую, гудчихинскую, хаканчанскую, туклонскую, надеждинскую, моронговскую, мокулаевскую, хараелахскую, кумгинскую и самоедскую. Нижние три свиты представлены субщелочными и пикритовыми базальтами с повышен-

ным содержанием титана ( $>1.5 \text{ мас } \% \text{ TiO}_2$ ) и локализованы в пределах Норильско-Игарской палеорифтовой зоны. Самые верхние свиты – хараелахская, кумгинская и самоедская – сохранились только в Хараелахской и Кумгинской мульдах (рис. 1). Наибольшим распространением пользуются моронговская и мокулаевская свиты, мощность каждой из которых в среднем составляет примерно 500 м. Как отмечалось, на плато Пурторана эти свиты названы аянской и хоннамакитской соответственно (Нестеренко и др., 1991; Sharma, 1996). В Тунгусской синеклизе вулканиты этого уровня объединены в составе нидымской и кочечумской свит. Таким образом, указанные свиты составляют существенную долю (около 70% объема) сохранившихся лавовых пород на Сибирской платформе. Положение надаянского горизонта в разрезе туфолавоваы толщи показано на рис. 1б.



**Рис. 2.** Положение надаянского покрова (NAD) в основании мокулаевской свиты (NAD – жирная черная линия) (а), схема расположения изученных разрезов в долине р. Ю. Икэн (б), строение разрезов моронговской и мокулаевской свит (в, г).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ  
И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

## Строение моронговской и мокулаевской свит

В Норильском районе и на плато Путорана породы моронговской и мокулаевской свит хорошо обнажены на поверхности, а в первом из них дополнительно вскрыты скважинами. Их петрографическая и геохимическая характеристики даны в ряде публикаций (Додин, 1964; Золотухин и др., 1978, 1986; Lightfoot et al., 1990, 1993; Fedorenko et al., 1996; Криволицкая, Рудакова, 2009; Sluzhenikin et al., 2014). Детальные разрезы этих свит, также как и надаянский покров, изучены нами в бассейне реки Микчангды (рис. 2б), в долине ее правого притока р. Южный Икэн, по притокам Котогор и Потерянный.

*Моронговская свита* вскрыта полностью в бортах ручья Котогор и содержит 21 покров (образцы №№ 126-4031, рис. 2б, 2в). Мощность покровов (часто называемых потоками, что не совсем верно, т.к. не отражает их площадное распространение) меняется от 10 до 37 м. Общая мощность свиты составляет 320 м. Породы представлены афировыми (73% от общего объема пород) или плагиопорфиловыми, в редких случаях — гломеропорфиловыми — базальтами с массивной текстурой. Нижние миндалекаменные зоны имеют мощность 20–30 см, в то время как верхние достигают нескольких метров (рис. 2в, 2г). При полевых исследованиях установлены два горизонта псаммитовых туфов. Возможно, что маломощных туфовых прослоев больше, но они плохо обнажаются в разрезе. Доля пирокластических пород не превышает 10% от общего объема свиты.

В составе вулканитов моронговской свиты принимают участие плагиоклаз, пироксены, реже — оливин; из второстепенных минералов присутствуют ильменит, титаномагнетит, халькопирит, пирротин, редко — пентландит и пирит. В порфировых базальтах вкрапленники образованы единичными кристаллами плагиоклаза или сростками его зерен (гломеропорфиловые разновидности пород), основная масса имеет долеритовую структуру, которая характерна и для афировых базальтов.

Состав вкрапленников плагиоклаза меняется от  $An_{63}$  до  $An_{75}$ , в то время как в основной массе вариации состава этого минерала более значительные — от  $An_{44}$  до  $An_{77}$  (большая часть значений попадает в интервал  $An_{55-65}$ , табл. 1 в Приложении). Пироксены занимают интерстициальное положение между лейстами плагиоклаза. Магнезиальность клинопироксена варьирует в широких пределах — от 51 до 87, разброс значений для ортопироксена существенно меньше  $Mg\# = 57-63$  (Приложение, табл. 2 в). Оливин встречен только в 6 потоках (его содержание составляет 1–3% от

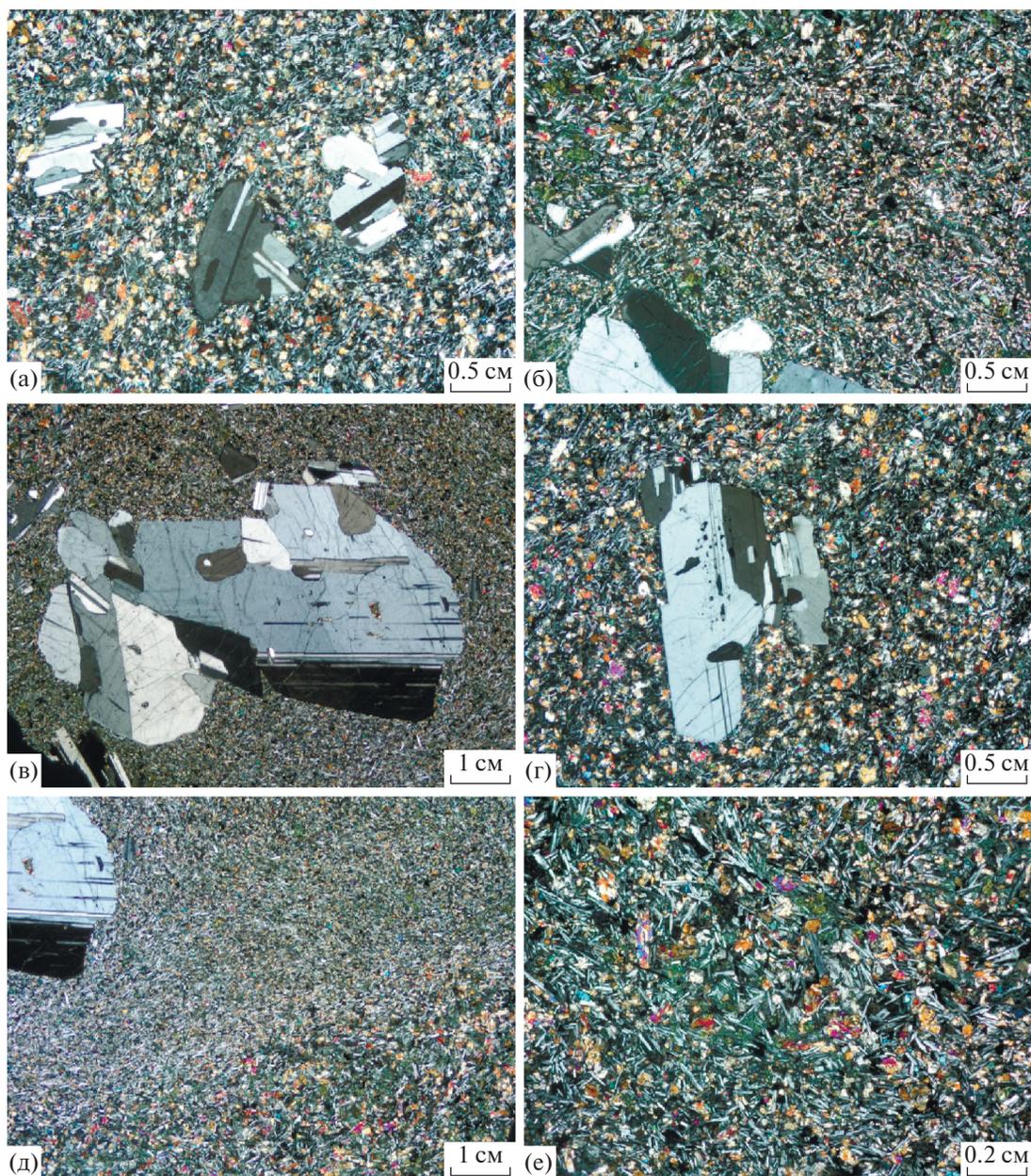
объема породы). Он представлен железистой разновидностью, доля форстеритового минала в нем колеблется от 43 до 47 мол. %.

*Мокулаевская свита* состоит в этом районе из 19 покровов, общей мощностью около 400 м, обнаженных в борту руч. Потерянный (рис. 2б, 2г). Мощность отдельных прослоев базальтов колеблется сильнее, чем в моронговской свите, — от 10 до 50 м. Свита сложена преимущественно афировыми базальтами (47%), а также пойкилооофитовыми (27%) и гломеропорфиловыми (26%) их разновидностями. Туфовые прослои в составе свиты не установлены. Вкрапленники плагиоклаза имеют состав  $An_{50.3}-An_{84.4}$  (основная доля  $An_{80-82}$ ). Плагиоклаз в основной массе образует лейсты и широко таблитчатые кристаллы, состав которых принципиально не отличается (табл. 1 в Приложении). Пироксен представлен преимущественно моноклинной разновидностью, магнезиальность его колеблется от  $Mg\# = 59$  до  $Mg\# = 83$ . Вариации  $Mg\#$  в составе ортопироксенов существенно меньше — от 53 до 61 (табл. 2 в Приложении).

Сопоставление составов главных породообразующих минералов моронговской и мокулаевской свит свидетельствует об их практически полной идентичности. Особенно наглядно это выражено для плагиоклазов из вкрапленников (рис. 3а, 3б), где резко преобладает лабрадор  $An_{67-70}$ . Плагиоклазы основной массы характеризуются в целом теми же особенностями состава (рис. 3в, 3г), хотя для минералов из моронговской свиты меньше данных, чем для плагиоклазов мокулаевской свиты. Для пироксенов мокулаевской свиты наблюдается небольшой сдвиг в область более магнезиальных составов с максимумом на гистограмме  $Mg\# = 77-83$  (рис. 3д, 3е) по сравнению с моронговской свитой —  $Mg\# = 77-79$ .

## Общая характеристика Надаанского покрова

Надаанский покров, залегающий в основании мокулаевской свиты, представляет собой покров толеитовых базальтов мощностью 20–30 м в Норильском районе и до 100 м на востоке Путорана (Старосельцев, 1989) с отчетливо проявленной столбчатой отдельностью (Криволицкая, 2014) и гломеропорфировой структурой пород (рис. 4а, 4б), отличающей его от выше- и ниже лежащих базальтов. Гломеропорфиловые сростки плагиоклаза достигают 5–8 мм и составляют до 20% объема породы (рис. 4в, 4г). Именно размер и количество сростков выделяют его на фоне других гломеропорфиловых пород мокулаевской свиты, в которых их размер не превышает 2–3 мм и составляет менее 3% от объема породы (породы с единичными гломеропорфиловыми вкрапленниками названы олигогломеропорфиловыми, рис. 2). Основная масса имеет план-параллельную, офи-

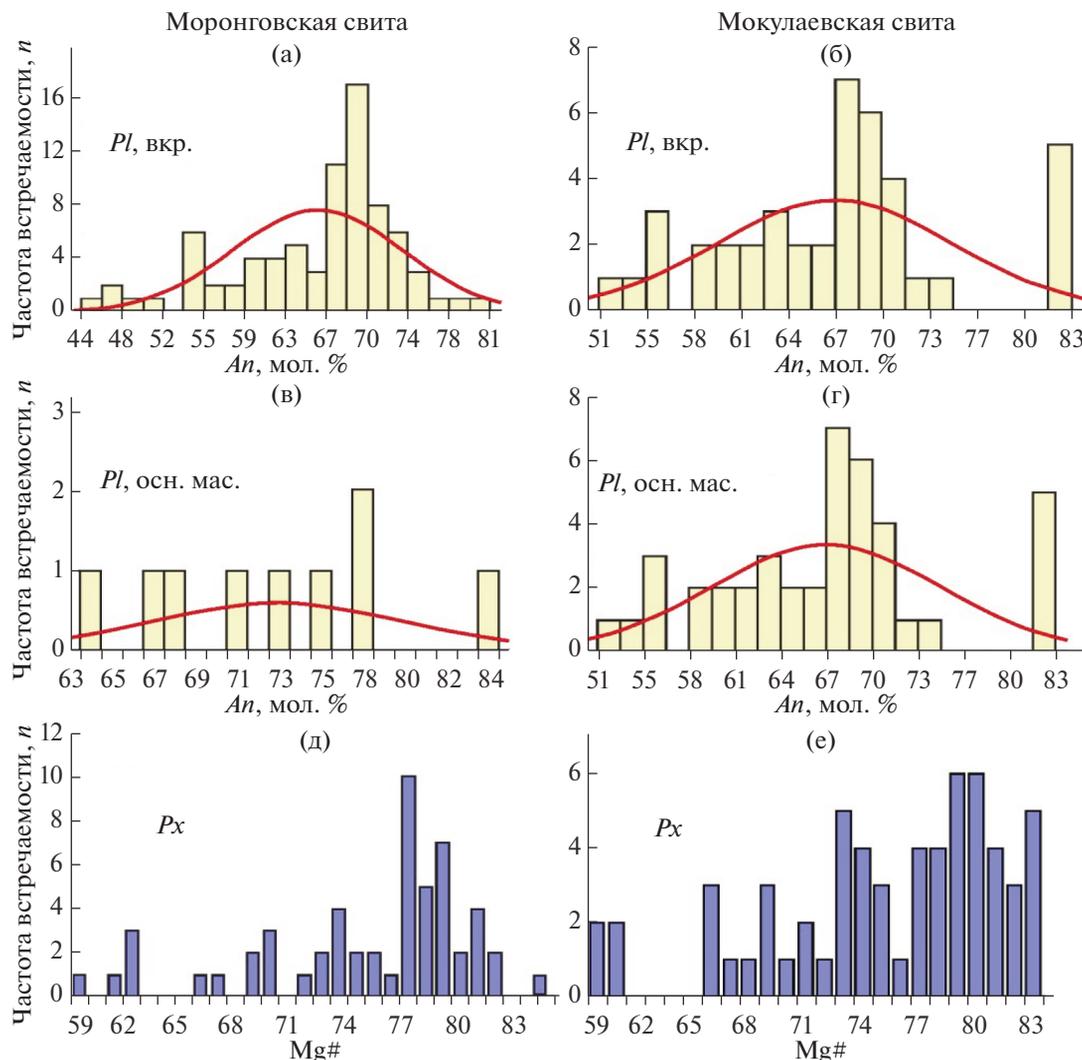


**Рис. 3.** Микрофотографии базальтов надаянского покрова а–б – вкрапленная структура породы, в–г – гломеропопоровые сростки зерен плагиоклаза во вкрапленниках, д–е – план-параллельная текстура основной массы.

товую, иногда – пойкилоофитовую структуру основной массы (рис. 4д, 4е). В основании покрова залегает иногда маломощный (15–20 см) прослой туфов, а перекрывается он афировыми мелкокристаллическими массивными или слабопорфировыми базальтами мокулаевской свиты (единичные кристаллы плагиоклаза 1–2 мм составляют 1–3% от объема породы).

Главными породообразующими минералами являются те же самые минералы, что характерны для базальтов мокулаевской свиты, – плагиоклаз, клино- и ортопироксен; к второстепенным отно-

сятся ильменит и титаномагнетит, к редким – сульфиды (пирротин, халькопирит). Часто по плагиоклазу развивается сосюритовый агрегат, пироксены обычно остаются свежими. Вкрапленники представлены только крупными таблитчатыми кристаллами плагиоклаза длиной до 5–6 мм, часто образующими сростки из 3–4 зерен, с хорошо проявленными двойниками (рис. 4в, 4г). Зональность отсутствует. Состав их аналогичен вкрапленникам других базальтов мокулаевской свиты (табл. 1 в Приложении). Основная масса состоит из лейст плагиоклаза  $An_{55-81}$ , ксеноморф-



**Рис. 4.** Гистограммы распределения составов минералов в базальтах моронговской (а–в) и мокулаевской (г–е) свит. *Pl* вкр. – вкрапленники плагиоклаза, *Pl* осн. мас. – плагиоклазы из основной массы, *Px* – пироксены; *An*, мол. % – мольная доля анортита в плагиоклазе, *Mg#* – магнезиальность пироксена ( $100\text{MgO}/(\text{MgO} + \text{FeO})$ ).

ных зерен клинопироксена с магнезиальностью  $\#Mg = 61\text{--}78$ , состав которого варьирует от  $\text{Wo}_{12}\text{En}_{34}\text{Fs}_{54}$  до  $\text{Wo}_{37}\text{En}_{14}\text{Fs}_{49}$  (табл. 2 в Приложении), а также пластинчатых или дендритовидных кристаллов ильменита. Сульфиды располагаются по трещинам в породообразующих минералах или в интерстициях между ними.

#### Химический состав пород моронговской и мокулаевской свит

Состав пород по изученным разрезам свит (рис. 2в, 2г), а также надаянского покрова приведен в табл. 1. Минимальные и максимальные значения, а также стандартные отклонения (RSD, %) для составов выделенных подразделений приведены в табл. 3 в Приложении, где также даны содержания оксидов, пересчитанные на 100%. Они

являются типичными толеитовыми базальтам нормальной щелочности с преобладанием натрия над калием ( $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} = 4.96\text{--}11.88$ ), которые характерны для центральной части Сибирской трапповой провинции. Существенные вариации в содержаниях щелочных металлов в основном обусловлены вторичными изменениями пород. Содержания главных оксидов варьируют в следующих пределах (мас. %): 46.18–49.97  $\text{SiO}_2$ , 0.92–1.38  $\text{TiO}_2$ , 14.54–15.98  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 10.34–13.19  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , 0.16–0.23  $\text{MnO}$ , 5.97–7.73  $\text{MgO}$ , 10.62–11.86  $\text{CaO}$ , 1.96–2.38  $\text{Na}_2\text{O}$ , 0.17–0.53  $\text{K}_2\text{O}$ , 0.12–0.16  $\text{P}_2\text{O}_5$ .

Надаянский покров характеризуется высокой выдержанностью состава на всем его протяжении, а также внутри самого покрова. Вариации концентраций для большинства главных компонентов меньше относительной погрешности рент-

Таблица 1. Состав вулканических пород моронговской и мокулаевской свит

Компонент	Номер по порядку									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	номер образца									
	81-63	81-64	81-65	81-145	83-33	83-35	86-35а	83-36	83-37	83-38
SiO <sub>2</sub>	48.08	48.08	47.99	47.4	48.44	48.83	47.92	48.95	48.49	48.67
TiO <sub>2</sub>	1.38	1.32	1.34	1.3	1.31	1.3	1.22	1.28	1.34	1.28
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.96	14.89	14.8	15.13	15.27	15.35	15.06	15.37	14.94	15.26
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.06	13.19	13.1	12.75	13.01	12.95	12.52	12.79	13.18	12.99
MnO	0.20	0.20	0.19	0.20	0.20	0.19	0.18	0.19	0.19	0.20
MgO	6.78	7.07	7.14	6.41	6.81	6.85	6.91	6.72	6.83	6.89
CaO	10.94	11.01	10.82	11.27	11.24	11.08	11.24	10.99	11.01	11.1
Na <sub>2</sub> O	2.29	2.31	2.16	2.12	2.38	2.3	2.22	2.32	2.38	2.34
K <sub>2</sub> O	0.33	0.34	0.31	0.26	0.32	0.4	0.27	0.45	0.47	0.37
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.15	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.15	0.15	0.14
ППП	1.72	1.29	1.99	3	0.76	0.49	2.21	0.66	0.93	0.65
V	226	242	239	246	250	246	243	224	225	225
Cr	101	139	155	134	120	133	96	102	101	111
Ni	93	115	115	94	96	104	105	83	79	89
Cu	122	144	134	126	132	129	118	116	112	114
Zn	77	234	91	79	95	84	80	77	74	72
Rb	2.90	4.60	4.55	1.77	5.83	10.04	6.37	6.42	8.69	7.97
Sr	172	194	177	191	200	197	196	185	176	181
Y	20	21	21	21	21	21	21	20	20	19
Zr	78	80	81	80	81	82	86	78	75	75
Nb	3.25	3.34	3.22	3.46	3.56	3.48	3.90	3.25	3.14	3.18
Ba	122	198	186	119	150	225	144	189	141	120
La	6.99	7.48	6.89	7.16	7.33	7.40	8.53	7.01	6.95	6.89
Ce	17	17	16	17	17	17	20	17	16	16
Pr	2.40	2.47	2.37	2.37	2.50	2.42	2.72	2.40	2.37	2.34
Nd	10.8	11.1	10.8	10.8	11.2	11.0	11.7	10.8	10.5	10.5
Sm	3.22	3.11	3.04	3.16	3.26	3.21	3.32	3.08	3.04	3.06
Eu	1.14	1.14	1.13	1.15	1.17	1.16	1.13	1.17	1.12	1.08
Gd	3.85	3.85	3.78	3.76	3.90	3.91	3.92	3.88	3.74	3.65
Tb	0.64	0.63	0.65	0.63	0.66	0.64	0.62	0.62	0.64	0.63
Dy	4.31	4.26	4.11	4.19	4.36	4.28	4.23	4.35	4.29	4.24
Ho	0.89	0.87	0.87	0.89	0.90	0.90	0.88	0.92	0.90	0.86
Er	2.49	2.45	2.41	2.45	2.46	2.45	2.48	2.48	2.44	2.43
Tm	0.36	0.36	0.35	0.37	0.37	0.37	0.36	0.36	0.37	0.36
Yb	2.39	2.33	2.37	2.42	2.42	2.43	2.32	2.46	2.41	2.43
Lu	0.36	0.35	0.34	0.36	0.38	0.35	0.35	0.37	0.36	0.36
Hf	2.25	2.17	2.20	2.26	2.26	2.18	2.31	2.30	2.15	2.15
Ta	0.23	0.24	0.24	0.26	0.27	0.24	0.28	0.23	0.23	0.25
Pb	1.69	16.86	2.17	1.69	2.67	1.91	1.98	2.96	1.59	1.78
Th	1.05	1.16	1.02	1.09	1.09	1.13	1.37	1.13	1.10	1.12
U	0.38	0.40	0.33	0.44	0.46	0.45	0.54	0.47	0.46	0.45

Таблица 1. Продолжение

Компонент	Номер по порядку									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	номер образца									
	83-39	83-40	83-41	83-42	83-43	84-45	84-65	1001	1001/1	1001/2
SiO <sub>2</sub>	48.62	48.5	48.11	48.71	48.32	48.35	48.57	48	47.9	47.86
TiO <sub>2</sub>	1.31	1.29	1.32	1.22	1.19	1.27	1.28	1.3	1.3	1.29
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.36	15.12	14.8	14.61	14.54	15.06	15.16	15	15.01	15.23
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.93	12.93	13.13	12.35	12.22	12.86	13.03	12.8	12.83	12.71
MnO	0.19	0.19	0.19	0.19	0.18	0.19	0.20	0.19	0.19	0.19
MgO	6.65	6.88	6.81	7.16	7.16	6.91	6.98	7.1	6.97	6.9
CaO	11.14	11.09	11.11	11.58	11.85	10.94	11.07	10.7	10.79	10.82
Na <sub>2</sub> O	2.35	2.33	2.23	2.11	2.02	2.33	2.36	2.15	2.18	2.19
K <sub>2</sub> O	0.33	0.24	0.33	0.19	0.17	0.44	0.42	0.44	0.44	0.43
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.14	0.14	0.14	0.13	0.13	0.14	0.14	0.14	0.15	0.14
ППП	0.86	1.18	1.54	1.59	2.01	1.39	0.63	2.13	2.12	2.13
V	235	242	221	231	213	237	234	220	227	222
Cr	103	115	105	121	108	115	136	110	117	113
Ni	85	92	87	100	90	91	91	85	91	87
Cu	119	118	121	111	98	120	115	108	111	110
Zn	79	88	80	92	67	80	79	71	82	79
Rb	2.77	4.18	4.04	6.55	4.91	7.68	6.65	8.76	8.89	8.67
Sr	184	193	177	190	171	182	181	165	170	170
Y	20	20.2	19.4	19.2	18.1	20.2	19.8	19.0	19.2	18.9
Zr	78	77.9	74.9	73.4	69.2	77.6	75.2	72.1	73.6	71.6
Nb	3.30	3.34	3.15	3.09	3.00	3.37	3.20	3.05	3.27	3.10
Ba	123	160	117	175	113	166	156	176	147	112
La	11.70	7.13	6.90	7.09	6.57	7.04	6.95	6.67	6.78	6.62
Ce	26	17	16.2	16.3	15.3	16.6	16.3	15.8	15.9	15.6
Pr	3.33	2.40	2.36	2.31	2.17	2.36	2.32	2.25	2.30	2.26
Nd	13.8	10.7	10.5	10.3	9.7	10.5	10.5	10.2	10.2	10.4
Sm	3.53	3.14	3.06	2.75	2.85	3.05	3.07	3.02	2.97	2.98
Eu	1.21	1.12	1.06	1.06	1.01	1.12	1.10	1.08	1.08	1.09
Gd	4.09	3.71	3.72	3.63	3.29	3.62	3.70	3.63	3.70	3.75
Tb	0.66	0.63	0.61	0.59	0.58	0.63	0.61	0.61	0.62	0.62
Dy	4.38	4.18	4.16	4.03	3.78	4.18	4.14	4.09	4.19	4.08
Ho	0.89	0.88	0.86	0.83	0.81	0.87	0.86	0.85	0.87	0.88
Er	2.46	2.50	2.40	2.35	2.25	2.40	2.41	2.36	2.43	2.46
Tm	0.36	0.37	0.36	0.34	0.34	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36
Yb	2.40	2.39	2.34	2.28	2.21	2.38	2.35	2.36	2.39	2.42
Lu	0.35	0.37	0.35	0.35	0.33	0.34	0.35	0.37	0.35	0.36
Hf	2.13	2.23	2.18	2.06	2.04	2.17	2.18	2.17	2.21	2.21
Ta	0.24	0.26	0.23	0.23	0.23	0.26	0.24	0.24	0.24	0.23
Pb	1.89	2.45	1.84	4.47	1.88	1.77	1.65	1.55	2.91	2.32
Th	1.10	1.09	1.09	1.13	1.06	1.09	1.09	1.06	1.07	1.04
U	0.45	0.48	0.44	0.45	0.43	0.44	0.44	0.46	0.46	0.44

Таблица 1. Продолжение

Компонент	Номер по порядку									
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	номер образца									
	1001/3	1001/4	1001/6	1001/7	LM-14	4002	43	4002/2	4002/3	4002/4
SiO <sub>2</sub>	48.27	48.1	47.96	47.77	48.58	49.71	48.50	49.71	49.48	48.65
TiO <sub>2</sub>	1.23	1.27	1.25	1.31	1.22	1.22	1.27	1.22	1.22	1.29
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.22	15.06	15.05	15.08	15.16	15.98	15.10	15.98	15.73	15.24
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.57	12.82	12.92	12.68	12.33	10.84	12.10	10.84	11.27	12.12
MnO	0.16	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.20	0.21
MgO	6.51	7.02	7.05	6.84	6.84	6.81	7.18	6.81	6.56	6.58
CaO	11.29	10.64	10.62	10.82	11.61	11.97	11.30	11.97	12.16	12.70
Na <sub>2</sub> O	2.26	2.17	2.18	2.25	2.2	2.11	2.12	2.11	2.23	2.08
K <sub>2</sub> O	0.53	0.44	0.44	0.44	0.28	0.23	0.53	0.23	0.32	0.24
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.17	0.15	0.14	0.14	0.13	0.12	0.14	0.12	0.12	0.12
ППП	2.89	2.02	2.07	2.37	1.34	2.01	1.16	2.01	2.07	1.91
V	182	225	222	223	219	289	268	289.1	258.8	274.2
Cr	108	115	111	113	138	107	115	107	115	118
Ni	71	88	87	86	80	97	122	97.4	76.3	75.3
Cu	54	109	109	109	101	77.9	148.0	78	100	96
Zn	67	73	75	75	66	81	100	81	198	170
Rb	5.71	8.84	8.68	8.79	3.13	2.24	9.48	2.24	3.68	2.37
Sr	222	166	164	168	171	217	181	217	214	213
Y	19.8	19.2	19.0	19.2	18.3	25.6	23.8	25.6	25.2	24.6
Zr	81.1	74.5	72	74	68	87	86	87	84	83
Nb	4.26	3.56	3.05	3.1	2.92	4.68	5.06	4.68	4.32	4.39
Ba	203	143	133	123	93	126	127	126	124	136
La	10.60	6.90	6.62	6.65	6.30	7.03	7.96	7.03	6.63	7.12
Ce	23.1	16.2	15.7	15.7	14.9	17.1	17.8	17.1	16.0	16.9
Pr	3.07	2.33	2.26	2.28	2.17	2.33	2.52	2.33	2.20	2.31
Nd	12.6	10.4	10.2	10	9.9	10.7	11.8	10.7	10.4	10.5
Sm	3.16	3.03	2.96	3.11	2.92	2.99	3.26	2.99	2.87	2.89
Eu	1.06	1.08	1.08	1.06	1.04	1.00	1.05	1.00	0.97	0.98
Gd	3.71	3.71	3.60	3.69	3.57	3.37	3.43	3.37	3.41	3.39
Tb	0.62	0.62	0.61	0.61	0.61	0.58	0.68	0.58	0.58	0.58
Dy	4.20	4.10	4.11	4.17	4.09	3.86	4.16	3.86	3.87	3.82
Ho	0.89	0.88	0.84	0.88	0.87	0.87	0.84	0.87	0.88	0.86
Er	2.51	2.44	2.38	2.47	2.34	2.31	2.52	2.31	2.28	2.23
Tm	0.38	0.36	0.36	0.36	0.34	0.34	0.37	0.34	0.34	0.33
Yb	2.58	2.44	2.37	2.44	2.28	2.18	2.35	2.18	2.16	2.11
Lu	0.39	0.35	0.35	0.36	0.33	0.32	0.35	0.32	0.32	0.31
Hf	2.29	2.22	2.11	2.21	2.03	2.13	2.48	2.13	2.13	2.08
Ta	0.28	0.26	0.22	0.23	0.21	0.26	0.28	0.26	0.25	0.24
Pb	2.43	1.68	2.42	1.59	1.39	0.01		2.42	2.10	2.09
Th	1.73	1.11	1.05	1.09	1.00	0.01	1.17	1.12	1.02	1.04
U	0.87	0.50	0.44	0.46	0.40	1.12		0.39	0.37	0.49

Таблица 1. Продолжение

Компонент	Номер по порядку									
	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
	номер образца									
	4002/5	4002/6	4002/7	4002/8	4002/11	4002/14	4002/15	126/2	126/3	126/4
SiO <sub>2</sub>	49.20	48.82	49.24	47.71	48.97	49.46	49.46	47.3	48.12	48.35
TiO <sub>2</sub>	1.25	1.258	1.28	1.30	1.31	1.34	1.38	1.19	1.11	1.13
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.83	15.43	15.56	15.33	15.44	15.7	15.75	15.7	15.29	15.25
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.56	11.65	11.66	11.62	11.66	11.9	11.6	12.5	11.69	12.37
MnO	0.21	0.192	0.196	0.182	0.212	0.208	0.2	0.2	0.19	0.21
MgO	6.56	6.71	6.9	6.65	6.97	7.02	6.81	7.2	7.31	7.72
CaO	12.36	11.61	11.41	11.23	11.46	11.15	11	11.4	11.87	11.77
Na <sub>2</sub> O	2.06	2.15	2.14	2.13	2.17	2.16	2.18	2.2	2.00	2.00
K <sub>2</sub> O	0.17	0.34	0.38	0.22	0.21	0.34	0.41	0.4	0.23	0.42
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.12	0.125	0.12	0.12	0.129	0.126	0.135	0.15	0.13	0.13
ППП	1.60	2.23	1.75	4.2	2.26	1.34	2.09	2.00	2.15	1.30
V	272.5	287	291	285	267	277	259	269	266	262
Cr	101	115	111	110	129	127	93	169	157	116
Ni	78	91	89	100	91	102	90	154	151	169
Cu	89	81	106	95	104	116	94	102	92	95
Zn	76	81	81	84	125	85	80	79.6	77.4	79.8
Rb	1.96	3.38	8.17	1.57	1.50	4.74	6.80	10.1	3.7	10.5
Sr	210	199	193	197	198	205	194	182.5	182.8	165.6
Y	23.8	25.1	25.2	26.4	25.5	26.6	26.9	24.3	22.9	23.4
Zr	80	84	84.1	90.2	86.6	90.0	93.2	85.0	83.6	80.3
Nb	4.23	3.94	4.14	4.63	4.60	4.36	2.68	5.01	4.96	4.62
Ba	108	130	130	113	135	131	136	139.2	123.8	113.6
La	6.39	6.72	6.73	6.88	6.67	7.01	7.28	7.1	7.6	6.9
Ce	15.4	16.5	16.5	16.8	16.4	17.0	17.9	16.8	17.7	16.2
Pr	2.10	2.22	2.26	2.34	2.28	2.37	2.43	2.3	2.3	2.2
Nd	9.82	10.4	10.3	10.9	10.9	11.0	11.5	10.6	10.4	9.9
Sm	2.74	3.02	3.04	3.07	3.01	3.08	3.22	2.89	2.68	2.76
Eu	0.93	0.98	0.99	1.05	1.02	1.05	1.08	0.98	0.89	0.93
Gd	3.14	3.42	3.35	3.63	3.41	3.55	3.63	3.28	3.08	3.21
Tb	0.54	0.58	0.59	0.62	0.60	0.61	0.63	0.58	0.53	0.56
Dy	3.54	3.93	3.93	4.11	3.87	4.02	4.10	3.76	3.45	3.61
Ho	0.82	0.86	0.88	0.93	0.88	0.93	0.93	0.86	0.79	0.84
Er	2.16	2.29	2.31	2.41	2.28	2.36	2.43	2.30	2.08	2.24
Tm	0.32	0.34	0.34	0.36	0.35	0.35	0.36	0.33	0.31	0.33
Yb	1.99	2.11	2.14	2.30	2.16	2.25	2.29	2.15	1.93	2.08
Lu	0.30	0.32	0.31	0.34	0.32	0.33	0.33	0.32	0.29	0.31
Hf	1.95	2.13	2.14	2.35	2.13	2.26	2.33	2.15	2.04	2.05
Ta	0.23	0.19	0.20	0.27	0.25	0.23	0.09	0.28	0.27	0.26
Pb	2.03	2.32	2.40	1.84	9.80	2.00	2.07	1.86	2.30	1.86
Th	0.94	0.97	0.98	1.02	0.97	1.05	1.08	1.13	1.34	1.15
U	0.37	0.34	0.33	0.36	0.49	0.36	0.33	0.38	0.47	0.43

Таблица 1. Окончание

Компонент	Номер по порядку							
	41	42	43	44	45	46	47	48
	номер образца							
	126/5	126/7	126/8	126/9а	4031	4031/3	4031/6	4031/17
SiO <sub>2</sub>	48.67	48.87	48.1	46.18	49.66	46.86	49.09	49.97
TiO <sub>2</sub>	1.17	1.16	1.04	0.928	1.25	1.186	1.162	1.133
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.38	15.51	15.6	15.29	15.76	15.06	15.6	15.74
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.13	12.09	11.5	10.34	11.62	11.87	11.34	11
MnO	0.21	0.22	0.2	0.164	0.205	0.203	0.196	0.194
MgO	7.33	7.01	6.0	7.52	6.93	7.3	6.88	6.94
CaO	11.10	11.44	11.8	11.68	11.36	11.82	11.78	11.54
Na <sub>2</sub> O	2.18	1.98	2.03	1.93	1.16	2.10	2.04	2.12
K <sub>2</sub> O	0.49	0.29	0.29	0.29	0.36	0.39	0.17	0.39
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.16	0.15	0.19	0.098	0.127	0.143	0.126	0.13
ППП	1.68	1.74	2.34	5.42	1.57	2.95	2.31	2.69
V	281	272	211	228	262	270	288	283
Cr	194	118	75	273	113	83	90	90
Ni	152	128	75.3	104	87	92	107	100
Cu	106	114	44.3	55	61	80	98	89
Zn	84.2	91.6	85.8	67	138	73	146	81
Rb	9.8	12.4	22.0	2.44	8.39	5.26	2.72	7.10
Sr	171.2	200.6	279.0	382	193	171	212	210
Y	25.4	27.8	30.2	16.0	25.8	25.2	26.0	25.5
Zr	86.8	95.5	116.8	55.7	87.9	82.9	91	88
Nb	5.00	5.55	8.59	3.12	4.90	4.68	5.53	5.41
Ba	122.6	163.9	316.7	57	155	119	105	85
La	7.2	8.4	15.3	5.80	7.54	7.20	7.63	7.58
Ce	17.3	19.9	32.7	13.0	17.9	16.9	17.8	17.8
Pr	2.3	2.7	4.0	1.69	2.42	2.30	2.38	2.38
Nd	10.9	12.2	16.6	7.7	11.0	10.4	10.9	10.7
Sm	2.98	3.31	3.70	2.08	2.98	2.85	2.92	2.97
Eu	0.98	1.13	1.10	0.80	1.00	0.95	0.98	0.97
Gd	3.43	3.94	4.11	2.36	3.33	3.33	3.41	3.39
Tb	0.61	0.68	0.70	0.40	0.59	0.57	0.59	0.59
Dy	3.96	4.44	4.73	2.67	3.80	3.82	4.04	3.82
Ho	0.92	1.01	1.07	0.61	0.86	0.87	0.92	0.88
Er	2.46	2.73	2.98	1.60	2.33	2.31	2.38	2.36
Tm	0.35	0.39	0.45	0.23	0.34	0.34	0.36	0.35
Yb	2.26	2.56	2.91	1.52	2.22	2.18	2.29	2.23
Lu	0.33	0.38	0.44	0.21	0.32	0.32	0.34	0.33
Hf	2.22	2.54	2.85	1.56	2.14	2.10	2.21	2.15
Ta	0.29	0.34	0.47	0.18	0.25	0.22	0.32	0.29
Pb	1.94	2.06	3.97	1.35	9.47	1.24	12	1.99
Th	1.21	1.28	2.58	0.70	1.16	1.11	1.27	1.19
U	0.49	0.49	1.14	0.17	0.43	0.37	0.51	0.49

Примечания. Содержания оксидов даны в мас. %, элементов – в ppm. № пп (1–48), породы: 1–27 – надаянского покрова, 28–37 – мокулаевской свиты, 38–48 – моронговской свиты.

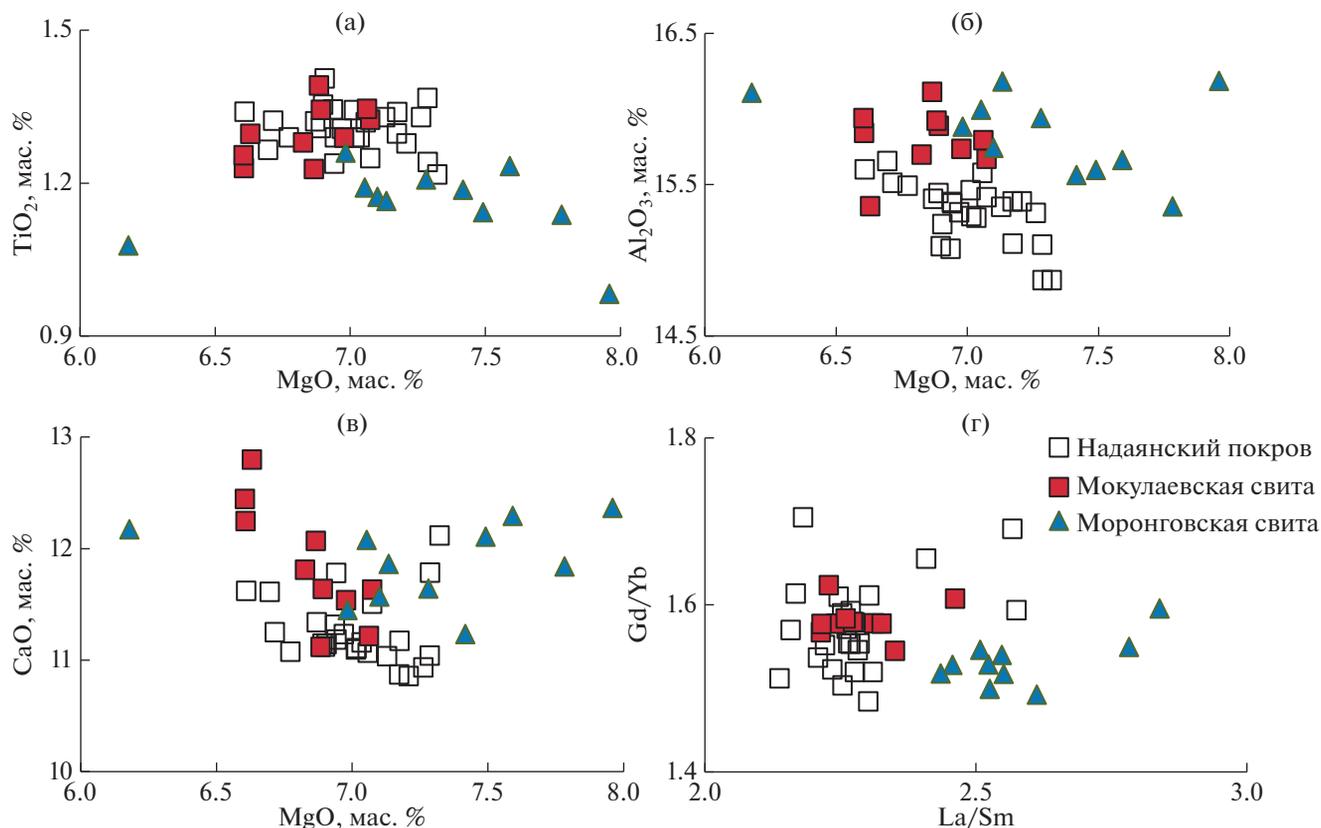


Рис. 5. Диаграммы MgO–TiO<sub>2</sub> (а), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (б), CaO (в), La/Sm–Gd/Yb (г) для пород надаянского покрова, моронговской и мокулаевской свит.

генофлуоресцентного метода (табл. 3 в Приложении). Исключение составляют только железо и калий, для которых значения RSD составляют 4.1 и 27 отн. % соответственно (по сравнению с 2.1 и 16 отн. %, установленными для стандартных образцов). Устойчивость состава выявлена и для вертикального разреза покрова, о чем свидетельствуют содержания петрогенных оксидов в образцах, отобранных от его подошвы к кровле (табл. 1, №№ образцов 1001, 1001/1, 1001/2).

Несмотря на небольшие вариации (таблица), составы пород моронговской и мокулаевской свит имеют отличия, которые используются при картировании. Особенно четко различия между свитами устанавливаются по содержанию TiO<sub>2</sub> (рис. 5а): в базальтах моронговской свиты они ниже 1.2 мас. %, а мокулаевской – выше (включая надаянский покров – среднее значение 1.3 мас. %). Различия по остальным породообразующим оксидам практически не проявлены, для алюминия и кальция они показаны на рис. 5б, 5в.

Концентрации редких элементов в породах надаянского горизонта варьируют в пределах ошибки метода определения для большинства из них (всего определено 38 элементов). Вариации, превышающие ошибки метода, характерны для

группы металлов переходной группы (Cu, Ni, Zn, V, Cr), крупноионных литофильных элементов (Cs, Ba, Rb) и, частично, легких редких земель (La, Ce, Pr), а также U, Th, Pb. Содержания цветных металлов (особенно меди) в базальтах определяются преимущественно количеством сульфидов, которые распределены неравномерно в породе. Концентрации таких элементов как барий, рубидий и т.д. могут меняться в результате проявления поздних гидротермальных процессов. Моронговская и мокулаевская свиты (включая надаянский покров) отличаются между собой по La/Sm отношению (рис. 5г).

Для полного сравнения трех выборок – надаянского покрова, мокулаевской и моронговской свит (обозначенных как NAD, MOR, MOK), нами выполнен однофакторный дисперсионный анализ с использованием программного обеспечения Statistica 13.3 RUS (TIBCO Software Inc., Талса, США) (табл. 4 в Приложении). С помощью теста Шапиро–Уилка была выполнена оценка нормальности распределения значений для каждой выборки. Поскольку значение теста было ( $p > 0.05$ ), свидетельствующее об отсутствии нормальности распределения, для дальнейшего

анализа взяты логарифмически преобразованные значения концентраций.

Образцы из каждой выборки ( $n = 27$  для NAD, 11 для МОК и 11 для MOR) рассматривались как мнимые повторности и использовались для формирования среднего значения. Для анализа различий между средними значениями концентрации оксидов и элементов в разных выборках мы использовали критерий Тьюки. Статистические гипотезы были проверены на уровне значимости 0.05 $p$ .

Основные линейные модели (GLM) выявили значительные различия между выборками в зависимости от содержания элементов ( $p < 0.002$ ). Максимальные отличия в содержаниях породообразующих оксидах установлены (табл.4 в Приложении) для  $TiO_2$ ,  $SiO_2$ ,  $Fe_2O_3$ , CaO. Среди элементов-примесей наибольшие отличия установлены для Co, V, Nb, а также тяжелых редких земель (Eu, Gd, Yb) и Y, Th, что нашло отражение на диаграмме La/Sm–Gd/Yb, на которой точки составов пород моронговской свиты располагаются обособленно от соответствующих значений для мокулаевской свиты (включая надаянский покров).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Несмотря на длительную историю изучения Сибирских траппов, их геохимические особенности изучены недостаточно, особенно в региональном масштабе. Крупные обобщения, рассматривающие сопоставление разрезов из разных структурных зон трапповой провинции, посвящены были в основном строению туфолавова толщи и выборочно составу пород из отдельных регионов (Золотухин и др., 1984, 1986, 1989). Большой объем прецизионных данных был получен для пород Норильского района (Lightfoot et al., 1990, 1993, 1994; Fedorenko et al., 1996). Сопоставление химического состава пород конкретных свит, включая отдельные покровы и потоки, до сих не проводилось.

Впервые полученные авторами данные по составу надаянского покрова представляют собой результат изучения однородности базальтов трапповой формации. Продемонстрированная выдержанность состава гламеропорфировых базальтов, установленная практически для всех породообразующих оксидов, а также основных элементов-примесей, свидетельствует о высокой перспективности использования геохимических данных для корреляции отдельных разрезов вулканитов, удаленных на значительные расстояния.

*Авторы признательны П.И. Тихоненкову за помощь в привязке образцов из коллекции Г.В. Нестеренко к геологической карте и К.Б. Гонгальскому за статистическую обработку аналитических данных.*

*Работа выполнена при поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (проект № 18-05-90074).*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Альмухамедов А.И., Медведев А.Я., Золотухин В.В. (2004) Вещественная эволюция пермотриасовых базальтов Сибирской платформы во времени и пространстве. *Петрология* 12 (4), 339-353.
- Геологический словарь (2013) С.-Петербург: ВСЕГЕИ, 3, 174-175.
- Додин Д.А. (1967) Петрология траппов Восточного Хараелаха. Автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. геол.-мин. наук. Л.: ВСЕГЕИ, 31 с.
- Золотухин В.В., Васильев Ю.Р., Дюжиков О.А. (1978) *Многообразие траппов и исходные магмы (на примере Сибирской платформы)*. Новосибирск: Наука, 248 с.
- Золотухин В.В., Виленский А.М., Васильев Ю.Р., Межвилк А.А., Рябов В.В., Щербакова З.В. (1984) *Магнезиальные базиты запада Сибирской платформы и вопросы никеленосности*. Новосибирск: Наука, 208 с.
- Золотухин В.В., Виленский А.М., Дюжиков О.А. (1986) *Базальты Сибирской платформы*. Новосибирск: Наука, 245 с.
- Криволицкая Н.А. *Эволюция траппового магматизма и рудообразование в Норильском районе* (2014) Москва: МГК, 321 с.
- Криволицкая Н.А., Рудакова А.В. (2009) Строение и геохимические особенности пород трапповой формации Норильской мульды (СЗ Сибирской платформы). *Геохимия* (7), 675-698.
- Krivolutskaia N.A., Rudakova A.V. (2009) Structural and geochemical characteristics of trap rocks from the Noril'sk trough, Northwestern Siberian craton. *Geochem. Int.* 47(7) 635-656.
- Методика количественного анализа (отраслевая методика III категории точности, № 118-х). Москва: ВИМС, 2011.
- Нестеренко Г.В., Тихоненков П.И., Ромашова Т.В. 1991. Базальты плато Путорана. *Геохимия* (10), 1419-1425.
- Нестеренко Г.В., Авилова Н.С., Смирнова Н.П. (1964) Редкие элементы в траппах Сибирской платформы. *Геохимия* (10), 1015-1021.
- Нестеренко Г.В., Колесов Г.М., Тихоненков П.И. (1990) Редкоземельные элементы в платобазальтах Сибирской платформы. *Геохимия* (6), 823-832.
- Павлов В.Э. Флуто Ф., Веселовский Р.В., Фетисова А.М., Латышев А.В. (2011) Вековые вариации геомагнитного поля и вулканические пульсы в пермо-триасовых траппах Норильской и Маймеча-Котуйской провинций. *Физика Земли* (5), 35-50.
- Рябов В.В., Шевко А.Я., Гора М.П. (2000) Магматические породы Норильского района. Новосибирск: *Нонпарель*, Т. 1, 2.
- Соболев А.В., Криволицкая Н.А., Кузьмин Д.В. (2009) Петрология родоначальных расплавов и мантийных источников магм Сибирской трапповой провинции. *Петрология* 17(3), 276-310.
- Старосельцев В.С. (1989) *Тектоника лавовых плато*. М.: Недра, 258 с.

- Федоренко В.А. (1981) Петрохимические серии эффузивных пород Норильского района. *Геология и геофизика* (6), 77-88.
- Федоренко В.А., Кулигин В.М., Витоженц Г.Ч. (1989) Редкоземельные элементы в магматических образованиях Норильского района. *Геология и геофизика* (8), 67-75.
- Фетисова А.М., Веселовский Р.В., Латышев А.В., Радько В.А., Павлов В.Э. (2014) Магнитная стратиграфия пермо-триасовых траппов долины реки Котуй (Сибирская платформа) в свете новых палеомагнитных данных. *Стратиграфия. Геологическая корреляция* 22 (4), 36-51.
- Fedorenko V.A., Lightfoot P.C., Naldrett A.J., Czamanske G.K., Hawkesworth C.J., Wooden J. L., Ebel D.S. (1996). Petrogenesis of the Siberian flood-basalt sequence at Noril'sk, north central Siberia. *Int. Geol. Rev.* 38, 99-135.
- Krivolutskaya N., Gongalsky B., Dolgal A., Svirskaya N., Vekshina T. (2016) Siberian Traps in the Noril'sk Area: A Corrected Scheme of Magmatism Evolution. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 44, Section 042008.
- Krivolutskaya N., Latyshev A.V., Dolgal A.S., Gongalsky B.I., Makareva E.M., Makarev A.A., Svirskaya N.M., Bychkova Y.V., Yakushev A.I., Asavin A.M. (2019) Unique PGE–Cu–Ni Noril'sk Deposits, Siberian Trap Province: Magmatic and Tectonic Factors in Their Origin. *Minerals* 9(1) 66.
- Lightfoot P.C., Naldrett A.J., Gorbachev N.S. (1990) Geochemistry of the Siberian trap of the Noril'sk area, USSR, with amplification for the relative contributions of crust and mantle to flood basalt magmatism. *Contrib. Mineral. Petrol.* 104, 631-644.
- Lightfoot P.C., Hawkesworth C.J., Hergt J., Naldrett A.J., Gorbachev N.S., Fedorenko V.A., Doherty W. (1993) Remobilisation of the continental lithosphere by a mantle plume: major-, trace-element, and Sr-, Nd-, and Pb-isotopic evidence from picritic and tholeiitic lavas of the Noril'sk District, Siberian Trap, Russia. *Contrib. Mineral. Petrol.* 114, 171-188.
- Lightfoot P.C., Naldrett A.J., Gorbachev N.S., Fedorenko V.A., Howkesworth C.J., Hergt J., Doherty W. (1994) Chemostratigraphy of Siberian Trap Lavas, Noril'sk District: Implication for the Source of Flood Basalt Magmas and their Associated Ni-Cu Mineralization. *Sudbury – Noril'sk Symposium. Ontario Geol. Surv. Spec.* 5(22), 283-312.
- Pavlov V.E., Fluteau F., Latyshev A.V., Fetisova A.M., Elkins-Tanton L.T., Black B.A., Burgess S.D., Veselovsky R.V. Geomagnetic secular variations at the Permian-Triassic boundary and pulsed magmatism during eruption of the Siberian traps. *Geochem. Geophys. Geosyst.*
- Sharma M. (1996) Siberian traps. Mahoney J.J., Coffin M.F. (eds.). Large Igneous Provinces. Continental, oceanic, and planetary flood volcanism. *AGU Geophys. Monogr.* 100, 273-295.
- Sluzhenikin S.F., Krivolutskaya N.A., Malitch K.N., Rad'ko V.A., Distler V.V., Fedorenko V.A. (2014) *Ultramafic intrusions, volcanic rocks and PGE-Cu-Ni sulfide deposits of the Noril'sk Province, Polar Siberia*. Yekaterinburg, 83 p.