

# ПАЛЕОПРОТЕРОЗОЙСКИЕ ГРАНИТОИДЫ ТИМ-ЯСТРЕБОВСКОЙ СТРУКТУРЫ ВОРОНЕЖСКОГО КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО МАССИВА: ГЕОХИМИЯ, ГЕОХРОНОЛОГИЯ И ИСТОЧНИКИ РАСПЛАВОВ

К. А. Савко, Н. С. Базиков, Е. Н. Козлова

Воронежский государственный университет

А. В. Самсонов

Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии (ИГЕМ)  
РАН, г. Москва

Поступила в редакцию 1 февраля 2014 г.

**Аннотация:** гранитоидные массивы Тим-Ястребовской структуры с возрастом 2,04–2,05 млрд лет представлены широким спектром пород (гранодиориты, тоналиты, диориты, кварцевые монзониты и монзониты), являются субщелочными, метаалюминиевыми, всегда содержат биотит и роговую обманку и по основным минералогическим критериям относятся к гранитам I-типа. Гранитоиды Роговского, Екатериновского и Северо-Щигровского массивов имеют близкие изотопно-геохимические характеристики, с отрицательными значениями  $\epsilon Nd(T)$  (от –6,0 до –9,3), предполагающие продолжительную коровую предысторию их источников. Гранодиориты, составляющие основной объем магматических пород в Тим-Ястребовской структуре, могли быть образованы при кристаллизационной дифференциации базальтовых магм, претерпевших умеренную контаминацию ТТГ-гнейсами.

**Ключевые слова:** гранитоиды, геохронология, геохимия, Воронежский кристаллический массив.

**Abstract:** 2,04–2,05 Intrusions of granitoids within the Tim-Yastrebovskaya structure are highly diverse in composition: granodiorites, tonalities, diorites, quartz monzonites, and monzonites. They are subalkalis, metaaluminous, always contain biotite and hornblende, and should be attributed to group I-granite based on mineralogical-geochemical criteria. Granitoids of Rogovskii, Ekaterinovskii, and North-Shchigrovskii massifs have closely similar isotopic-geochemical characteristics and negative  $\epsilon Nd(T)$  values (from –6,0 to –9,3). These characteristics suggest a long crustal prehistory of the protoliths. Granodiorites may be derived by basaltic magma crystallization differentiation, which were moderately contaminated by TTG gneisses.

**Key words:** granitoids, geochronology, geochemistry, Voronezh crystalline massif.

## Введение

В пределах архейского блока Курской магнитной аномалии (КМА) Воронежского кристаллического массива (ВКМ) палеопротерозойские отложения залегают в узких линейных зонах юго-восток–северо-западного простирания, которые представляют собой внутриконтинентальные рифты, заложившиеся в палеопротерозое на архейском основании и преобразованные позже в складчатые синформы. Самой крупной палеопротерозойской синформой является Тим-Ястребовская, расположенная на востоке центральной части ВКМ и протягивающаяся с северо-запада на юго-восток на 130 км при ширине 10–30 км (рис. 1).

В геологическом строении Тим-Ястребовской структуры и ее обрамления принимают участие образования архея и палеопротерозоя (рис. 1). Архей-

ские породы окаймляют Тим-Ястребовскую структуру и представлены высокометаморфизованными, часто сильно мигматизированными ТТГ-гнейсами обоянского комплекса и вулканогенно-осадочными образованиями михайловской серии. Сама Тим-Ястребовская структура выполнена преимущественно палеопротерозойскими хомогенно-терригенными породами курской и перекрывающей ее оскольской серии, прорванными многочисленными интрузиями от кислого до ультраосновного состава.

Впервые гранодиориты и диориты были выделены в стойло-николаевский комплекс при детальном изучении Стойло-Николаевского массива, расположенного на юго-восточном замыкании Тим-Ястребовской структуры и прорывающей породы курской и оскольской серий [1]. Палеопротерозойским гранитоидам КМА и собственно Тим-Ястребовской структуре посвящено очень небольшое количество работ, опубликованных в 60–70-х гг. прошлого века [1–3].

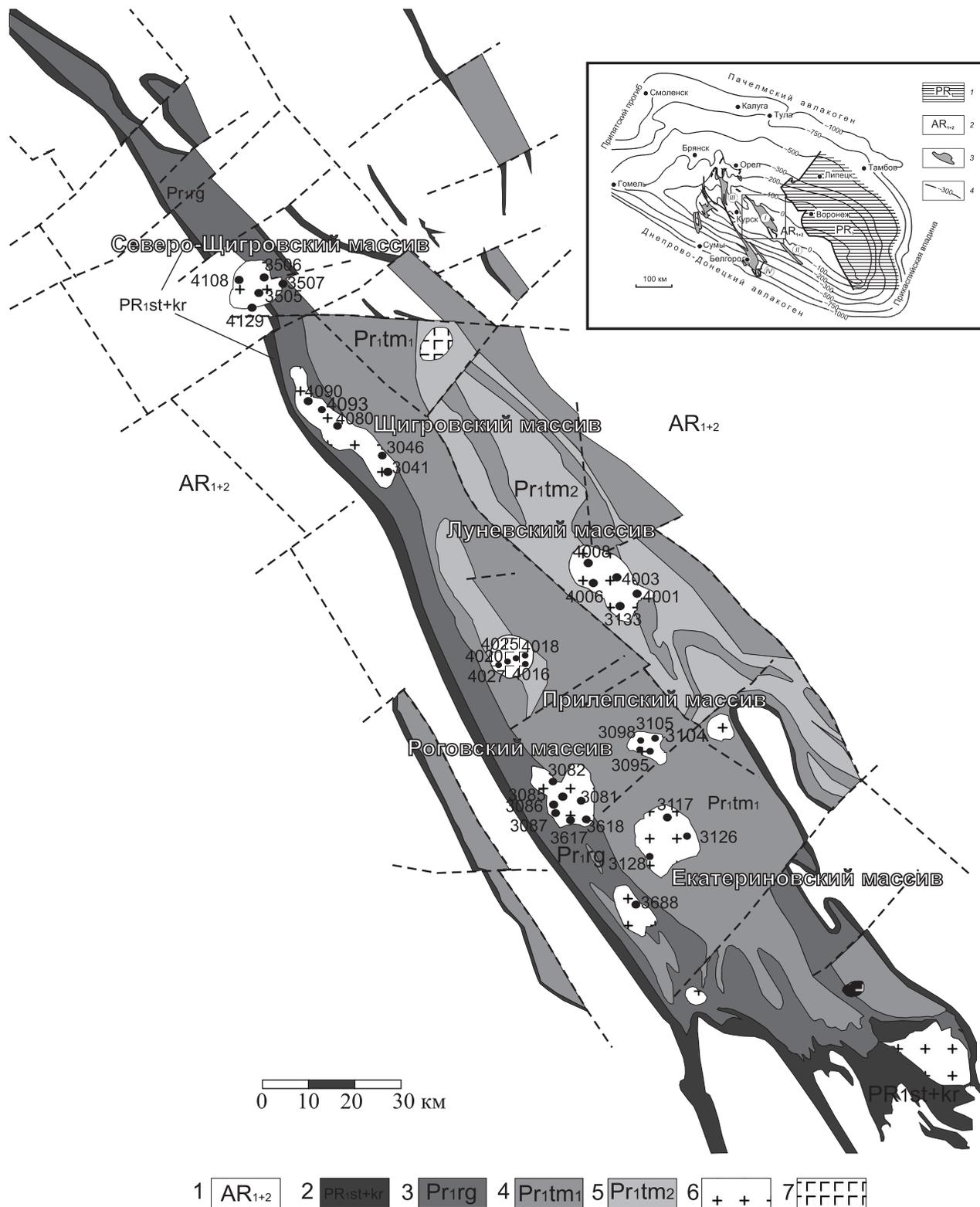


Рис. 1. Схематическая карта Тим-Ястребовской структуры. 1 – обоянский комплекс и михайловская серия; 2 – курская серия; 3 – роговская свита оскольской серии; 4 – нижняя подсвита тимской свиты оскольской серии; 5 – верхняя подсвита тимской свиты оскольской серии; 6 – гранитоиды стойло-николаевского комплекса; 7 – габброиды.

Врезка: схема структурного районирования докембрийского фундамента ВКМ: 1 – палеопротерозойские породы Воронежского блока; 2 – архейские образования Курского блока; 3 – синклиновые структуры, выполненные палеопротерозойскими породами (I – Тим-Ястребовская, II – Вологовская, III – Михайловская, IV – Белгородская); 4 – изогипсы абсолютных отметок залегания поверхности докембрийского фундамента

По общепринятому мнению, отраженному в геологических отчетах, все интрузивные породы в Тим-Ястребовской структуре от кислого до ультраосновного состава образовались из одного магматического очага, а их разнообразие обусловлено многократностью внедрения продуктов дифференциации магмы. По другим предположениям диориты и гранодиориты стойло-николаевского комплекса являются производными ассимиляции метаосадочных пород базальтовой магмой в промежуточных очагах [2, 3]. Кроме того, существует точка зрения, что на рубеже 2,1 млрд лет назад в результате столкновения Сарматии и Волгоуралии произошло закрытие рифтов Курского блока. В условиях сжатия возникли внутрикоровые зоны плавления, и в различных частях коллизионной структуры сформировался стойло-николаевский комплекс гранитоидов [4]. Эти гипотезы пока не подтверждаются исчерпывающими аргументами.

Цель данной статьи – оценка возраста, петрогенезиса и тектонической позиции палеопротерозойских гранитоидов Тим-Ястребовской структуры. Для изучения были выбраны три крупные интрузии – Екатериновская и Роговская в центральной части структуры и Северо-Щигровская – в северо-восточной. Полученные нами новые данные по изотопной геохимии и абсолютному возрасту для этих интрузий Тим-Ястребовской структуры КМА несут в себе информацию об источнике расплавов, составе и возрасте коры, а также о геодинамических режимах ее формирования.

#### **Геологическое строение и структурно-метаморфическая позиция гранитоидов**

Интрузии образуют изометричные и немного вытянутые в северо-западном или субмеридиональном направлении массивы и штокообразные тела площадью от 2,5 до 26 км<sup>2</sup>, ряд мелких тел и многочисленных дайки. Они отчетливо дискордантные, секут складчатые структуры вмещающих палеопротерозойских осадочно-метаморфических толщ курской (терригенные породы и железистые кварциты) и оскольской (терригенные, карбонатные породы и метабазиты) серий. Контакты четкие, резкие, секущие. Вмещающие породы на контакте ороговикованы, скарнированы и рассечены многочисленными апофизами интрузий. На контактах во вмещающих породах развита метаморфическая зональность, но признаки плавления отсутствуют. Отдельные массивы имеют зональное строение. Их периферические зоны сложены диоритами, которые через кварцевые диориты постепенно переходят в гранодиориты в центральных частях интрузий.

Выделяются три фазы внедрения: 1) небольшие массивы габброидов; 2) собственно крупные диорит-

гранодиоритовые интрузии; 3) разнообразные жилы и дайки (от пироксенитов до гранит-порфириров).

Изотопно-геохронологические исследования из интрузий стойло-николаевского комплекса были выполнены по биотит-роговообманковым диоритам (скв. 4071, инт. 480,5–488,3 м) и гранодиоритам (скв. 4074, инт. 261,0–262,0 м) [5] из небольших интрузивных тел по монофракциям цирконов. Уран-свинцовые изотопные отношения в цирконах из этих проб характеризуются очень малыми различиями, и для них была рассчитана общая изохрона, отвечающая изотопному возрасту  $2086 \pm 5$  млн лет.

#### *Метаморфизм*

Формирование метаморфического комплекса палеопротерозойских пород, слагающих Тим-Ястребовскую структуру, происходило в результате двух последовательных метаморфических событий. Метаморфические процессы первого этапа имели региональный характер. Они протекали синхронно со складчатостью и пластическими деформациями пород в результате повышения температуры от 350 до 560 °С и давления до 3,6 кбар [6, 7]. Геотермический градиент при региональном метаморфизме составлял 40–50 °С/км. Второй, более поздний, этап метаморфизма носил локальный характер и приурочен к контактовым ореолам интрузий гранодиоритов. Температурный градиент увеличился до 70–80 °С/км при снижении давления до 2,1 кбар [8].

Результаты исследования строения экзоконтактных зон Прилепского и Роговского массивов, изменчивости структурных особенностей присутствующих здесь жильных тел гранитоидов вместе с оценками параметров метаморфизма свидетельствуют, что внедрение интрузий происходило в более холодные вмещающие породы с образованием экзоконтактных ореолов значительных температурных градиентов. Это подтверждается уменьшением степени раскристаллизации пород в жильных телах и апофизах уже на расстоянии в первые сотни метров. Расчетное значение исходной температуры внедрявшегося расплава должно было несколько превышать 877 °С, а глубина формирования интрузий гранодиоритов составляла около 6,3 км [9].

#### **Методика аналитических исследований**

Анализы химического состава проб производили на спектрометре последовательного действия PW-2400 производства компании Philips Analytical B.V в ИГЕМ РАН. При калибровке спектрометра использованы отраслевые и государственные стандартные образцы химического состава горных пород и минерального сырья (14 ОСО, 56 ГСО). Подготовка препаратов для анализа породообразующих элементов выполнена путем плавления 0,3 г порошка пробы с

3 г тетрабората лития в индукционной печи с последующим отливом гомогенного стеклообразного диска. Точность анализа составляла 1–5 отн. % для элементов с концентрациями выше 0,5 мас. % и до 12 отн. % для элементов с концентрацией ниже 0,5 мас. %.

Малые и редкие элементы определяли методом индукционно-связанной плазмы с масс-спектрометрическим окончанием анализа (ICP-MS) в АСИЦ ИПТМ РАН. Разложение образцов пород в зависимости от их состава проводили путем кислотного вскрытия как в открытой, так и в закрытой системах. Пределы обнаружения для REE, Hf, Ta, Th, U составляли 0,02–0,03 ppm, для Nb, Be, Co – 0,03–0,05 ppm, для Li, Ni, Ga, Y – 0,1 ppm, для Zr – 0,2 ppm, для Rb, Sr, Ba – 0,3 ppm, для Cu, Zn, V, Cr – 1–2 ppm. Правильность анализа контролировалась путем измерения международных и российских стандартных образцов GSP-2, BM, СГД-1А, СТ-1. Ошибки определения концентраций составляли от 3 до 5 мас. % для большинства элементов.

Sm-Nd-изотопный анализ и изотопные исследования цирконов выполнены в Центре изотопных исследований ВСЕГЕИ (Санкт-Петербург). Измерения абсолютного возраста цирконов проводились на ионном микрозонде SHRIMP-II по стандартной методике [10, 11] с использованием эталонных цирконов «91500» и «Темога». При расчетах использовали константы распада, предложенные в работе [12] и вводили поправку на нерадиоγενный свинец по [13] на основе измеренного отношения  $^{204}\text{Pb} / ^{206}\text{Pb}$ . Полученные результаты обрабатывали с помощью программ «SQUID v1.12» [14] и «ISOPLOT/Ex 3.22» [15]. Поскольку для части проб результаты образовали дискордии с ненулевыми нижними пересечениями, оценка возраста проводилась по верхним пересечениям с конкордией; однако следует отметить, что полученные таким образом величины возраста неотличимы в пределах погрешности от средневзвешенных  $^{207}\text{Pb} / ^{206}\text{Pb}$  возрастов для результатов с умеренной дискордантностью. Под конкордантностью, следуя [16], понимается факт перекрытия линии конкордии  $2\sigma$  эллипсом погрешностей.

### Петрография и минералогия

Несмотря на большое количество массивов, их разнообразие по форме и размерам, они сложены преимущественно недеформированными гранодиоритами, розовато-серыми или серыми, среднезернистыми, массивными, иногда порфиридовидными. Их структура гипидиоморфно-зернистая, участками порфиридовидная за счет более крупных кристаллов плагиоклаза и микроклина (до 1 см в поперечнике). Состав: плагиоклаз – 45–55 %, микроклин – 10–15 %, кварц – 15–20 %, биотит – 5–10 %, роговая обманка –

5 %. Акцессорные – фтор-апатит, сфен, магнетит, рутил, циркон, вторичные – эпидот и хлорит (развиваются по роговой обманке и биотиту соответственно) и мусковит (замещает полевые шпаты). Микроклин и плагиоклаз нередко образуют мирмекитовые сростания. Ксенолиты основных пород (ММЕ – magmatic mafic enclaves) в гранодиоритах и диоритах нами не встречены.

Содержания  $\text{TiO}_2$  в биотитах из гранодиоритов и диоритов Екатериновской и Роговской интрузий невысокие (1,1–1,7 мас. %), а в биотитах из Северо-Щигровского массива достигают 2,3 мас. %. Биотиты из всех трех массивов характеризуются умеренными содержаниями  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и повышенной магнезиальностью ( $X_{\text{Mg}} = 0,54\text{--}0,61$ ) (табл. 1).

Амфибол в гранитоидах Северо-Щигровского массива относится к кальциевой подгруппе ( $\text{Na}_B = 0,10\text{--}0,17$ ,  $\text{Ca}_B = 1,83\text{--}1,90$  ф.е.) и представлен роговой обманкой по классификации [17] с повышенной магнезиальностью ( $X_{\text{Mg}} = 0,59\text{--}0,70$ ), невысокими содержаниями титана (0,09–0,18 ф.е.), алюминия (1,21–1,41 ф.е.) и щелочей ( $\text{Na} + \text{K}_A < 0,5$  ф.е.) (табл. 2). В гранодиоритах Роговской интрузии амфиболы содержат больше щелочей ( $\text{Na} + \text{K}_A \approx 0,5$  ф.е.) при  $X_{\text{Mg}} = 0,54\text{--}0,57$ , и их составы смещаются в поле эденитов.

Плагиоклаз характеризуется химической зональностью, выраженной в увеличении альбитового компонента от центральных частей зерен к краевым. Наиболее основной плагиоклаз установлен в гранитоидах Северо-Щигровского массива (табл. 3). В центральных частях зерен он по составу отвечает андезину ( $\text{Ab}_{65\text{--}67}$ ), а в краевых – олигоклазу ( $\text{Ab}_{78\text{--}83}$ ). Более кислый состав плагиоклаза характерен для Екатериновской и Роговской интрузий: в центральных частях зерен он представлен в основном олигоклазом ( $\text{Ab}_{74\text{--}83}$ ), а в краевых – альбитом ( $\text{Ab}_{94\text{--}98}$ ).

Калиевый полевой шпат представлен микроклином с примесью альбитового компонента от 2 до 6 % (табл. 3).

Диориты слагают краевые части изучаемых гранитоидных массивов (Роговского, Екатериновского и Северо-Щигровского). Переход от гранодиоритов к диоритам постепенный, с увеличением количества биотита, роговой обманки и плагиоклаза, уменьшения – кварца и микроклина, при этом составы минералов не изменяются. К примеру, в кварцевых диоритах из периферийных частей Роговского массива (скв. 3618) составы биотитов, плагиоклазов и роговых обманок не отличаются от составов этих минералов в гранодиоритах (скв. 3617).

Вместе с гранитоидными массивами в Тим-Ястребовской структуре установлены интрузивные массивы, сложенные базитами. Самый крупный из

Таблица 1

Составы биотитов из гранитоидов стойло-николаевского комплекса

	Северо-Щигровский массив												Екатериновский массив																
	тоналит обр. 3507/237						диорит обр. 4129/282						гранодиорит обр. 3117/321						гранодиорит обр. 3126/161,3										
	Вт-1	Вт-2	Вт-3	Вт-4	Вт-5	Вт-6	Вт-1	Вт-8	Вт-12	Вт-18	Вт-26	Вт-1	Вт-2	Вт-3	Вт-4	Вт-5	Вт-6	Вт-1	Вт-2	Вт-3	Вт-4	Вт-5	Вт-6	Вт-1	Вт-2	Вт-3	Вт-4	Вт-5	Вт-6
SiO <sub>2</sub>	37,99	37,92	37,88	37,43	38,04	38,13	39,91	39,29	39,59	36,46	37,55	38,56	38,13	38,15	37,81	38,16	37,80	37,66	38,10	38,10	37,66	37,66	37,66	37,66	38,10	38,10	37,30	37,30	37,58
TiO <sub>2</sub>	2,09	2,19	1,69	2,28	2,12	2,15	1,30	0,76	1,75	2,45	1,51	1,54	1,45	1,69	1,71	1,35	1,52	1,74	1,59	1,47	1,74	1,74	1,74	1,59	1,47	1,47	1,47	1,64	1,64
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,69	15,60	15,63	15,56	15,76	16,04	15,66	16,67	15,86	15,56	15,09	15,30	14,78	14,66	15,11	14,95	14,19	14,70	15,42	14,58	14,70	14,70	14,70	15,42	14,58	14,58	14,58	14,42	14,42
FeO	17,29	17,49	17,02	17,81	17,28	16,66	17,49	15,88	13,33	17,15	16,79	16,03	17,70	17,50	18,15	18,05	18,03	18,68	18,61	17,26	18,68	18,68	18,68	18,61	17,26	17,26	17,26	17,65	17,65
MnO	0,36	0,26	0,28	0,28	0,27	0,34	0,16	0,17	0,20	0,12	0,57	0,23	0,33	0,38	0,36	0,28	0,28	0,64	0,17	0,12	0,64	0,64	0,64	0,17	0,12	0,12	0,12	0,32	0,32
MgO	12,41	12,55	12,47	12,00	12,51	12,34	14,77	14,09	17,29	12,63	12,93	12,84	12,90	12,99	12,24	12,73	12,65	12,96	13,84	12,53	12,96	12,96	12,96	13,84	12,53	12,53	12,72	12,72	
CaO	0,01	0,01	0,00	0,07	0,00	0,02	0,01	0,27	0,00	0,09	0,14	0,01	0,00	0,02	0,02	0,01	0,01	0,15	0,13	0,09	0,15	0,15	0,15	0,13	0,09	0,10	0,10	0,10	
Na <sub>2</sub> O	0,03	0,05	0,04	0,09	0,08	0,11	0,09	0,09	0,36	0,14	0,44	0,01	0,08	0,02	0,06	0,08	0,05	–	0,13	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
K <sub>2</sub> O	9,98	9,85	9,94	9,55	9,92	9,52	9,71	7,56	10,46	9,3	9,48	10,17	10,09	9,99	9,93	10,07	9,96	9,63	9,78	9,25	9,63	9,63	9,63	9,78	9,25	9,25	9,25	9,26	9,26
Сумма	95,86	95,95	94,96	95,09	95,97	95,31	99,10	94,78	98,84	93,9	94,5	94,86	95,49	95,46	95,40	95,71	94,52	96,32	97,99	92,61	96,32	96,32	96,32	97,99	92,61	92,61	92,61	93,78	93,78
Si	2,92	2,91	2,93	2,91	2,92	2,94	2,94	3,02	2,86	2,86	2,91	2,98	2,93	2,94	2,93	2,93	2,95	2,89	2,86	2,96	2,89	2,89	2,89	2,86	2,96	2,96	2,96	2,96	2,96
Al	1,08	1,09	1,07	1,09	1,08	1,06	1,06	0,98	1,14	1,14	1,09	1,02	1,07	1,06	1,07	1,07	1,05	1,11	1,14	1,04	1,11	1,11	1,11	1,14	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04
Σ	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Al	0,34	0,33	0,36	0,34	0,34	0,40	0,30	0,53	0,21	0,29	0,28	0,38	0,28	0,27	0,30	0,29	0,25	0,22	0,22	0,33	0,22	0,22	0,22	0,22	0,33	0,33	0,29	0,29	0,29
Fe	1,11	1,12	1,10	1,16	1,11	1,07	1,08	1,02	0,80	1,12	1,09	1,04	1,14	1,13	1,17	1,16	1,17	1,20	1,17	1,15	1,20	1,20	1,20	1,17	1,15	1,15	1,16	1,16	1,16
Mg	1,42	1,44	1,44	1,39	1,43	1,42	1,62	1,61	1,86	1,47	1,49	1,48	1,48	1,49	1,41	1,46	1,47	1,48	1,55	1,48	1,48	1,48	1,48	1,55	1,48	1,48	1,49	1,49	1,49
Ti	0,12	0,13	0,10	0,13	0,12	0,12	0,07	0,04	0,10	0,14	0,09	0,09	0,08	0,10	0,10	0,08	0,09	0,10	0,09	0,09	0,10	0,10	0,10	0,09	0,09	0,09	0,10	0,10	0,10
Mn	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,04	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,04	0,01	0,01	0,04	0,04	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Ca	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Na	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,05	0,02	0,07	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Σ	3,01	3,03	3,02	3,06	3,03	3,06	3,09	3,25	3,04	3,07	3,06	3,00	3,01	3,02	3,02	3,01	3,01	3,05	3,06	3,06	3,05	3,05	3,05	3,06	3,06	3,06	3,07	3,07	3,07
K	0,98	0,97	0,98	0,95	0,97	0,94	0,91	0,74	0,96	0,93	0,94	1,00	0,99	0,98	0,98	0,99	0,99	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,93	0,93
X(Mg)	0,56	0,56	0,56	0,54	0,56	0,56	0,60	0,61	0,70	0,57	0,57	0,58	0,56	0,56	0,54	0,55	0,55	0,54	0,57	0,56	0,54	0,54	0,54	0,57	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56

Окончание табл. 1

	Роговский массив																	
	диорит обр. 3618/183,5							гранодиорит обр. 3617/227,5										
	Bt-1	Bt-2	Bt-3	Bt-4	Bt-5	Bt-6	Bt-1	Bt-2	Bt-3	Bt-4	Bt-5	Bt-6	Bt-1	Bt-3	Bt-8	Bt-10	Bt-12	Bt-14
SiO <sub>2</sub>	37,95	37,84	38,22	38,69	38,82	38,70	38,65	38,26	38,47	38,61	38,56	38,29	38,35	38,67	38,60	39,18	38,34	38,20
TiO <sub>2</sub>	1,40	1,39	1,24	1,67	1,70	1,51	1,46	1,45	1,36	1,29	1,34	1,43	1,50	1,41	1,29	1,35	1,11	1,15
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,11	14,89	15,24	15,21	15,19	15,26	15,08	14,80	14,86	14,96	15,11	14,79	13,58	14,09	14,47	14,05	14,57	13,38
FeO	17,11	17,21	16,77	15,65	15,93	15,85	16,70	16,56	17,22	16,78	16,80	17,00	16,41	17,08	17,73	16,20	16,45	18,37
MnO	0,23	0,25	0,26	0,26	0,22	0,34	0,22	0,23	0,31	0,29	0,25	0,25	0,20	0,02	0,43	0,23	0,36	0,30
MgO	13,54	13,54	13,74	14,17	14,36	14,34	13,48	13,11	13,14	13,33	13,07	12,99	14,87	14,00	14,78	14,58	14,85	13,61
CaO	0,02	0,01	0,00	0,02	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,03	0,00	0,01	—	0,01	0,04	0,15	—	0,17
Na <sub>2</sub> O	0,06	0,05	0,06	0,05	0,08	0,04	0,05	0,04	0,11	0,08	0,05	0,02	0,12	0,24	0,23	0,14	—	—
K <sub>2</sub> O	9,83	9,91	10,08	10,09	10,15	10,03	10,13	10,01	10,07	10,13	10,20	10,11	9,82	9,88	9,76	9,43	9,56	9,53
Сумма	95,28	95,14	95,62	95,85	96,47	96,11	95,80	94,57	95,66	95,59	95,46	94,90	94,87	95,41	97,34	95,32	95,24	94,72
Si	2,92	2,91	2,92	2,94	2,93	2,93	2,95	2,97	2,95	2,96	2,96	2,96	2,94	2,96	2,89	3,00	2,93	2,97
Al	1,08	1,09	1,08	1,06	1,07	1,07	1,05	1,03	1,05	1,04	1,04	1,04	1,06	1,04	1,11	1,00	1,07	1,03
Σ	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Al	0,28	0,26	0,29	0,30	0,28	0,30	0,31	0,32	0,30	0,31	0,33	0,31	0,17	0,23	0,17	0,26	0,24	0,19
Fe	1,10	1,11	1,07	0,99	1,00	1,00	1,06	1,07	1,10	1,07	1,08	1,10	1,05	1,09	1,11	1,03	1,05	1,19
Mg	1,55	1,55	1,56	1,60	1,62	1,62	1,53	1,51	1,50	1,52	1,50	1,50	1,70	1,60	1,65	1,66	1,69	1,57
Ti	0,08	0,08	0,07	0,10	0,10	0,09	0,08	0,08	0,08	0,07	0,08	0,08	0,09	0,08	0,07	0,08	0,06	0,07
Mn	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,00	0,03	0,01	0,02	0,02
Ca	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01
Na	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,00	0,02	0,04	0,03	0,02	0,00	0,00
Σ	3,03	3,03	3,02	3,02	3,02	3,03	3,01	3,01	3,01	3,00	3,00	3,00	3,04	3,04	3,07	3,08	3,07	3,06
K	0,96	0,97	0,98	0,98	0,98	0,97	0,99	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00	0,96	0,96	0,93	0,92	0,93	0,94
X(Mg)	0,58	0,58	0,59	0,61	0,61	0,61	0,59	0,58	0,57	0,58	0,58	0,57	0,61	0,59	0,59	0,61	0,61	0,57

Составы амфиболов из гранитоидов стойло-николаевского комплекса

	Северо-Щигровский массив											
	тоналит обр. 3507/237									диорит обр. 4129/282		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	7	23	24
SiO <sub>2</sub>	47,11	48,19	46,20	46,44	46,25	46,07	46,62	48,07	46,40	45,88	46,53	46,30
TiO <sub>2</sub>	0,80	1,25	1,68	1,55	1,58	1,54	1,19	1,27	1,56	0,43	1,06	1,53
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,54	6,90	8,14	8,06	8,15	8,15	8,00	6,70	7,76	8,17	7,03	8,02
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,04	0,00	0,00	0,06	0,00	0,02	0,03	0,00	0,00	–	0,12	0,05
FeO	15,96	13,51	15,34	15,68	15,21	15,84	16,23	14,34	15,67	16,77	16,38	13,96
MnO	0,47	0,42	0,39	0,42	0,42	0,37	0,34	0,45	0,38	0,42	0,47	0,44
MgO	11,85	13,41	11,56	11,41	11,84	11,41	11,28	12,58	11,71	11,96	12,83	12,92
CaO	11,86	11,56	11,73	11,82	11,76	11,61	11,81	11,99	11,58	11,61	11,77	11,88
Na <sub>2</sub> O	1,12	1,23	1,33	1,20	1,28	1,30	1,10	1,02	1,22	1,44	1,08	1,24
K <sub>2</sub> O	0,76	0,69	0,90	0,92	0,85	0,95	0,88	0,67	0,89	0,86	0,61	0,69
Сумма	97,50	97,16	97,29	97,56	97,33	97,24	97,48	97,09	97,17	97,54	97,87	97,03
Si	6,96	7,05	6,87	6,89	6,85	6,85	6,92	7,10	6,89	6,78	6,80	6,82
Al <sup>IV</sup>	1,04	0,95	1,13	1,11	1,15	1,15	1,08	0,90	1,11	1,22	1,20	1,18
Σ	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Al	0,27	0,26	0,30	0,31	0,27	0,28	0,32	0,27	0,25	0,20	0,01	0,21
Ti	0,09	0,14	0,19	0,17	0,18	0,17	0,13	0,14	0,17	0,05	0,12	0,17
Cr <sup>3+</sup>	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
Fe <sup>3+</sup>	0,37	0,34	0,16	0,18	0,26	0,26	0,26	0,14	0,32	0,68	0,82	0,38
Mn <sup>3+</sup>	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,06	0,05	0,05	0,06	0,05
Mg	2,61	2,92	2,56	2,52	2,61	2,53	2,49	2,77	2,59	2,63	2,80	2,84
Fe <sup>2+</sup>	1,59	1,29	1,74	1,77	1,62	1,70	1,75	1,63	1,63	1,39	1,18	1,34
Σ	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
Fe <sup>2+</sup>	–	0,02	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Ca	1,88	1,81	1,87	1,88	1,87	1,85	1,88	1,90	1,84	1,84	1,84	1,88
Na	0,12	0,19	0,13	0,12	0,13	0,15	0,12	0,10	0,16	0,16	0,16	0,12
Σ	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Na	0,20	0,16	0,25	0,22	0,24	0,22	0,20	0,19	0,19	0,25	0,15	0,23
K	0,14	0,13	0,17	0,17	0,16	0,18	0,17	0,13	0,17	0,16	0,11	0,13
OH	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
	Роговский массив											
	Гранодиорит обр. 3617/227,5									Диорит обр. 3618/183,5		
	1	2	3	4	5	6	7	5	6			
SiO <sub>2</sub>	45,79	45,48	46,09	45,47	45,13	45,36	45,18	46,03	45,73			
TiO <sub>2</sub>	1,31	1,49	0,57	1,54	1,02	1,57	1,52	1,06	1,51			
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,47	8,52	8,77	8,32	8,73	8,41	8,60	8,50	8,38			
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,02	0,01	0,00	0,01	0,02	0,03	0,01	0,00			
FeO	16,99	17,09	17,14	17,77	17,44	17,21	17,47	17,07	16,95			
MnO	0,33	0,38	0,37	0,32	0,40	0,40	0,37	0,40	0,36			
MgO	10,70	10,58	10,77	10,61	10,57	10,50	10,52	11,15	11,16			

	Роговский массив								
	Гранодиорит обр. 3617/227,5							Диорит обр. 3618/183,5	
	1	2	3	4	5	6	7	5	6
CaO	11,68	11,65	11,66	11,60	11,60	11,73	11,71	11,65	11,56
Na <sub>2</sub> O	1,41	1,42	1,43	1,58	1,47	1,56	1,50	1,43	1,64
K <sub>2</sub> O	1,13	1,20	1,03	1,14	1,15	1,21	1,19	1,10	1,13
Сумма	97,81	97,82	97,84	98,36	97,51	97,98	98,09	98,39	98,42
Si	6,83	6,80	6,85	6,77	6,76	6,79	6,75	6,80	6,77
Al <sup>IV</sup>	1,17	1,20	1,15	1,23	1,24	1,21	1,25	1,20	1,23
Σ	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Al	0,32	0,30	0,39	0,23	0,30	0,27	0,26	0,28	0,23
Ti	0,15	0,17	0,06	0,17	0,11	0,18	0,17	0,12	0,17
Cr <sup>3+</sup>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	–	–
Fe <sup>3+</sup>	0,20	0,20	0,33	0,29	0,35	0,13	0,24	0,39	0,32
Mn <sup>3+</sup>	0,04	0,05	0,05	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04
Mg	2,38	2,35	2,38	2,35	2,36	2,34	2,34	2,45	2,46
Fe <sup>2+</sup>	1,91	1,93	1,79	1,92	1,83	2,02	1,94	1,71	1,78
Σ	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
Ca	1,87	1,86	1,85	1,85	1,86	1,88	1,87	1,84	1,83
Na	0,13	0,14	0,15	0,15	0,14	0,12	0,13	0,16	0,17
Σ	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Na	0,28	0,27	0,26	0,31	0,29	0,33	0,30	0,25	0,30
K	0,22	0,23	0,20	0,22	0,22	0,23	0,23	0,21	0,21
ОН	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00

них – Гнилушинский массив (см. рис. 1) округлой формы, площадью 9,0 км, сложен биотит-амфиболовыми габброидами темно-зеленого цвета, от средне- до крупнозернистых, имеющими следующий состав: плагиоклаз – 35 %, роговая обманка – 35 %, биотит – 20–25 %, присутствуют карбонат, рутил, ильменит.

### Геохимия

Самый крупный **Екатериновский массив** (26 км<sup>2</sup>), опробованный по скв. 3117, 3126, имеет очень однородные петрогеохимические характеристики (табл. 4, рис. 2, 3). Это субщелочные, метаглиноземистые Na-K-гранодиориты, в которых при небольших вариациях концентраций SiO<sub>2</sub> от 65,42 до 67,86 мас. % отмечается заметное закономерное снижение концентраций Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO при небольших незакономерных вариациях других петрогенных элементов. По геохимическим особенностям гранодиориты также очень однородны и характеризуются повышенными концентрациями Rb, Ba, U, Th, умеренными концентрациями РЗЭ с сильным фракционированием легких и слабым фракционированием

тяжелых лантаноидов (La<sub>N</sub>/Sm<sub>N</sub> – от 4,6 до 7,4; Gd<sub>N</sub>/Yb<sub>N</sub> от 1,6 до 1,9) при небольших отрицательных Eu, резких отрицательных аномалиях Nb, Ti и Sr и заметной положительной аномалии Zr (рис. 3).

**Роговский массив** размером 18 км<sup>2</sup>, имеющий в плане изометричную форму (см. рис. 1), лучше других изучен бурением и отличается кольцевым строением. В краевой части массива вскрыты диориты (скв. 3618). Гранитоиды Роговского массива по составу близки к породам Екатериновского массива, но отличаются неоднородностью петрогеохимических характеристик (табл. 4, рис. 2, 3). Краевые части массива сложены диоритами с пониженными содержаниями SiO<sub>2</sub> (61,48 мас. %), увеличением концентраций Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (6,45 мас. %) при такой же магнезиальности (X<sub>Mg</sub> = 0,48), TiO<sub>2</sub> (0,65 мас. %), MgO (3,06 мас. %) и CaO (4,25 мас. %) (табл. 4). На классификационной диаграмме (рис. 4) точки составов гранитоидов из центральных частей Роговской интрузии попадают в поля кварцевых монцонитов и гранодиоритов, а из периферических – в поля монцонитов.

Таблица 3

Составы полевых шпатов из гранитоидов стойло-николаевского комплекса

	Северо-Щигровский массив																			
	тоналит обр. 3507/237										диорит обр. 4129/282									
	Kfs-1	Kfs-2	Kfs-3	Pl-1-кр	Pl-2 ц	Pl-3 ц	Pl-4 ц	Pl-5 кр.	Pl-6 ц	Kfs-6	Pl-13 кр	Pl-15 ц	Pl-16 кр	Pl-19 кр	Pl-20 ц	Kfs-22	Kfs-25			
SiO <sub>2</sub>	64,72	64,69	64,96	63,24	60,19	63,48	60,12	63,24	58,53	66,21	64,41	59,40	61,12	62,30	59,72	63,96	63,79			
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,39	18,24	18,31	22,99	25,13	23,26	24,97	23,33	26,41	17,95	22,92	24,49	23,30	21,88	26,27	17,65	17,39			
FeO	0,08	0,09	0,06	0,06	0,06	0,06	0,07	0,00	0,05	–	0,37	0,09	0,51	0,37	0,28	0,08	0,01			
CaO	0,03	0,02	0,00	4,44	6,70	4,47	6,97	4,50	8,15	0,29	2,94	7,09	5,65	3,87	6,05	–	–			
Na <sub>2</sub> O	0,61	0,45	0,44	9,08	7,86	9,02	7,48	9,21	6,83	0,42	10,41	8,36	10,00	8,85	8,54	0,57	0,25			
K <sub>2</sub> O	15,85	16,28	16,38	0,11	0,10	0,08	0,14	0,07	0,10	15,28	0,66	0,17	0,10	1,70	1,17	14,90	15,72			
Сумма	99,69	99,76	100,15	99,93	100,04	100,35	99,76	100,35	100,06	100,19	101,79	99,68	100,90	98,97	102,03	97,24	97,19			
Si	3,00	3,00	3,00	2,80	2,68	2,80	2,69	2,79	2,62	3,06	2,78	2,64	2,67	2,78	2,58	3,04	3,03			
Al <sup>IV</sup>	1,00	1,00	1,00	1,20	1,32	1,21	1,32	1,21	1,39	0,98	1,16	1,28	1,20	1,15	1,34	0,99	0,97			
Fe <sup>3+</sup>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00			
Σ	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,01	4,01	4,00	4,01	4,04	3,95	3,92	3,89	3,94	3,94	4,03	4,01			
Ca	0,00	0,00	0,00	0,21	0,32	0,21	0,33	0,21	0,39	0,01	0,14	0,34	0,26	0,18	0,28	0,00	0,00			
Na	0,05	0,04	0,04	0,78	0,68	0,77	0,65	0,79	0,59	0,04	0,87	0,72	0,85	0,76	0,72	0,05	0,02			
K	0,94	0,96	0,96	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,90	0,04	0,01	0,01	0,10	0,06	0,90	0,95			
Σ	0,99	1,00	1,00	1,00	1,01	0,98	0,99	1,00	0,99	0,95	1,05	1,07	1,12	1,04	1,06	0,95	0,97			
Ort	0,94	0,96	0,96	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,95	0,03	0,01	0,00	0,09	0,06	0,95	0,98			
Ab	0,06	0,04	0,04	0,78	0,68	0,78	0,65	0,78	0,60	0,04	0,83	0,67	0,76	0,73	0,67	0,05	0,02			
An	0,00	0,00	0,00	0,21	0,32	0,21	0,34	0,21	0,39	0,02	0,13	0,32	0,24	0,18	0,26	0,00	0,00			

	Екатериновский массив																
	гранодиорит обр. 3117/321							гранодиорит обр. 3126/161,3									
	Fsp-1	Fsp-2	Fsp-3	Pl-1 ц	Pl-2 ц	Pl-3 ц	Pl-4 ц	Pl-5 ц	Pl-6 ц	Kfs-7	Kfs-9	Kfs-21	Pl-22 кр	Kfs-23	Kfs-26	Kfs-31	Pl-34 кр
SiO <sub>2</sub>	63,96	63,95	64,89	61,79	62,96	63,91	62,78	62,00	62,34	64,42	65,27	64,78	66,81	65,73	65,25	65,31	63,68
TiO <sub>2</sub>	0,03	0,06	0,01	0,00	0,02	0,00	0,01	0,01	0,00	–	–	–	–	–	–	–	–
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,27	18,41	18,37	23,47	22,92	22,27	23,38	23,75	23,55	17,79	17,92	17,82	18,91	18,02	18,16	17,53	21,80
FeO	0,04	0,01	0,01	0,06	0,07	0,01	0,00	0,05	0,00	0,35	–	–	–	–	–	–	–
CaO	0,00	0,00	0,00	5,29	4,40	3,66	4,49	5,19	4,95	0,29	0,03	0,40	0,15	–	0,35	–	1,84
Na <sub>2</sub> O	0,59	0,62	0,59	8,44	9,27	9,55	9,17	8,89	8,91	0,49	0,67	0,56	13,01	0,12	2,87	0,67	11,14
K <sub>2</sub> O	15,95	15,78	16,38	0,09	0,10	0,05	0,06	0,10	0,06	16,00	15,54	15,80	0,18	15,55	12,73	15,64	0,96
Сумма	98,81	98,75	100,17	99,13	99,72	99,42	99,88	99,97	99,80	99,34	99,42	99,36	99,05	99,43	99,36	99,15	99,42

Продолжение табл. 3

		Екатериновский массив																	
		гранодиорит обр. 3117/321									гранодиорит 3126/161.3								
		Fsp-1	Fsp-2	Fsp-3	Pl-1 ц	Pl-2 ц	Pl-3 ц	Pl-4 ц	Pl-5 ц	Pl-6 ц	Kfs-7	Kfs-9	Kfs-21	Pl-22 кр	Kfs-23	Kfs-26	Kfs-31	Pl-34 кр	
Si	2,99	2,99	2,99	2,77	2,79	2,84	2,78	2,74	2,77	2,99	3,01	2,91	3,06	2,99	3,03	3,03	2,78		
Al <sup>IV</sup>	1,01	1,01	1,00	1,24	1,20	1,16	1,22	1,24	1,23	0,97	0,98	0,97	0,99	0,98	0,98	0,96	1,12		
Fe <sup>3+</sup>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00		
Σ	4,00	4,00	3,99	4,01	3,99	4,00	4,00	3,98	4,00	3,97	4,01	3,99	4,05	3,97	3,97	3,99	3,90		
Ca	0,00	0,00	0,00	0,25	0,21	0,17	0,21	0,25	0,24	0,01	0,00	0,02	0,01	0,00	0,02	0,00	0,09		
Na	0,05	0,06	0,05	0,73	0,80	0,82	0,79	0,76	0,77	0,04	0,06	0,05	1,10	0,01	0,26	0,06	0,94		
K	0,95	0,94	0,96	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,95	0,92	0,94	0,01	0,92	0,74	0,92	0,05		
Σ	1,00	1,00	1,01	0,98	1,02	0,99	1,00	1,02	1,01	1,00	0,98	1,01	1,12	0,93	1,02	0,98	1,08		
Ort	0,95	0,94	0,95	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,94	0,94	0,93	0,01	0,99	0,73	0,94	0,05		
Ab	0,05	0,06	0,05	0,74	0,79	0,82	0,78	0,75	0,76	0,04	0,06	0,05	0,98	0,01	0,25	0,06	0,87		
An	0,00	0,00	0,00	0,26	0,21	0,17	0,21	0,24	0,23	0,01	0,00	0,02	0,01	0,00	0,02	0,00	0,08		

		Роговский массив																	
		диорит обр. 3618/183,5									гранодиорит обр. 3617/227,5								
		Pl-1 кр	Pl-2 кр	Pl-3 ц	Pl-4 ц	Pl-5 кр	Pl-6 кр	Pl-7 ц	Pl-8 ц	Pl-1 ц	Pl-2 к	Pl-3 к	Pl-3 ц	Pl-4 к	Pl-4 ц	Kfs-1			
SiO <sub>2</sub>	67,30	67,83	62,69	63,49	67,95	68,05	63,26	61,71	64,84	68,37	68,28	63,03	67,60	62,76	65,53				
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,30	20,37	23,67	23,12	20,07	19,93	23,51	24,44	22,28	19,80	20,09	23,79	20,79	23,99	18,42				
FeO	0,02	0,00	0,06	0,02	0,05	0,03	0,03	0,04	0,01	0,02	0,01	0,03	0,04	0,02	0,07				
CaO	1,08	1,05	4,84	4,32	0,77	0,60	4,77	5,74	3,46	0,46	0,67	5,06	1,30	5,27	0,01				
Na <sub>2</sub> O	11,06	11,18	8,88	9,15	11,59	11,51	9,12	8,59	9,59	11,39	11,31	8,72	10,92	8,64	0,69				
K <sub>2</sub> O	0,09	0,06	0,10	0,06	0,08	0,08	0,05	0,09	0,06	0,07	0,07	0,08	0,06	0,08	16,14				
Сумма	99,85	100,49	100,24	100,16	100,51	100,19	100,72	100,61	100,26	100,12	100,44	100,71	100,69	100,75	100,86				
Si	2,95	2,96	2,77	2,80	2,95	2,97	2,78	2,72	2,86	2,99	2,98	2,78	2,95	2,76	3,00				
Al <sup>IV</sup>	1,05	1,05	1,23	1,20	1,03	1,02	1,22	1,27	1,16	1,02	1,03	1,23	1,07	1,24	0,99				
Fe <sup>3+</sup>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				
Σ	4,00	4,01	4,00	4,00	3,98	3,99	4,00	3,99	4,02	4,01	4,01	4,01	4,02	4,00	3,99				
Ca	0,05	0,05	0,23	0,20	0,04	0,03	0,22	0,27	0,16	0,02	0,03	0,24	0,06	0,25	0,00				
Na	0,94	0,94	0,76	0,78	0,98	0,97	0,78	0,73	0,82	0,96	0,96	0,74	0,92	0,74	0,06				
K	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,94				
Σ	0,99	0,99	1,00	0,98	1,02	1,01	1,00	1,01	0,98	0,98	0,99	0,98	0,98	0,99	1,00				
Ort	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,94				
Ab	0,94	0,95	0,76	0,79	0,96	0,97	0,77	0,73	0,83	0,97	0,96	0,75	0,94	0,74	0,06				
An	0,05	0,05	0,23	0,21	0,04	0,03	0,22	0,27	0,17	0,02	0,03	0,24	0,06	0,25	0,00				

	Роговский массив														
	Гранодиорит обр. 3617/227,5														
	Kfs-3	Kfs-3	Kfs-4	Kfs-4	Kfs-6	Kfs-7	Kfs-11	Kfs-15	Kfs-16	Kfs-19	Pl-20 кр	Pl-21 кр	Pl-23 ц	Pl-25 ц	
SiO <sub>2</sub>	65,89	65,57	64,99	65,10	64,52	64,54	64,26	64,50	65,19	64,73	67,22	69,49	62,39	62,21	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,66	18,51	18,54	17,75	17,43	17,99	17,85	18,22	18,08	17,76	20,49	19,18	23,54	24,30	
FeO	0,04	0,02	0,01	–	–	0,21	0,04	0,12	0,04	0,18	–	–	0,14	–	
CaO	0,00	0,00	0,00	–	0,10	–	0,10	0,01	–	0,20	1,90	0,53	4,96	5,81	
Na <sub>2</sub> O	0,53	0,43	0,63	0,76	0,35	0,59	0,72	0,74	0,52	0,80	12,04	12,98	10,17	9,40	
K <sub>2</sub> O	16,39	16,51	15,93	15,26	15,89	15,41	15,34	15,66	15,85	15,66	–	0,07	0,21	0,11	
Сумма	101,51	101,05	100,11	98,87	98,28	98,83	98,53	99,26	99,68	99,34	101,65	102,26	101,40	102,04	
Si	3,00	3,00	3,00	3,04	3,04	3,01	3,01	3,00	3,02	2,99	2,88	2,95	2,70	2,69	
Al <sup>IV</sup>	1,00	1,00	1,01	0,98	0,97	0,99	0,99	1,00	0,99	0,97	1,03	0,96	1,20	1,24	
Fe <sup>3+</sup>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	
Σ	4,00	4,00	4,01	4,02	4,01	4,01	4,00	4,00	4,01	3,97	3,91	4,01	3,91	3,93	
Ca	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,09	0,02	0,23	0,27	
Na	0,05	0,04	0,06	0,07	0,03	0,05	0,07	0,07	0,05	0,07	1,00	1,07	0,85	0,79	
K	0,95	0,96	0,94	0,91	0,95	0,92	0,92	0,93	0,94	0,92	0,00	0,00	0,01	0,01	
Σ	1,00	1,00	1,00	0,98	0,99	0,97	1,00	1,00	0,99	1,01	1,09	1,09	1,09	1,07	
Ort	0,95	0,96	0,94	0,93	0,96	0,95	0,93	0,93	0,95	0,92	0,00	0,00	0,01	0,01	
Ab	0,05	0,04	0,06	0,07	0,03	0,05	0,07	0,07	0,05	0,07	0,92	0,97	0,78	0,74	
An	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,08	0,02	0,21	0,25	

Таблица 4

Содержания петрогенных, редких и редкоземельных элементов в гранитоидах стойло-николаевского комплекса и габброидах Гнилушинского массива

Массив	Екатериновский					Роговский					
	Скв. / глуб.	3117/ 255	3117/ 267	3117/ 321	3126/ 161,7	3126/ 165,5	3085/ 185	3085/ 236	3617/ 178	3617/ 227,5	3617/ 228,5
SiO <sub>2</sub>	66,95	67,86	67,20	66,84	65,42	67,86	65,90	65,92	65,19	66,92	61,48
TiO <sub>2</sub>	0,44	0,41	0,47	0,41	0,49	0,46	0,56	0,52	0,56	0,49	0,65
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,61	14,11	14,60	15,35	15,30	14,20	14,97	14,35	14,35	13,86	15,37
Fe <sub>2</sub> O <sub>3tot</sub>	4,52	4,17	5,21	3,76	4,51	3,90	3,79	4,72	5,04	4,46	6,45
MgO	1,64	1,67	1,60	1,56	1,97	2,13	2,30	2,06	2,40	2,01	3,06
MnO	0,06	0,06	0,05	0,06	0,06	0,06	0,04	0,06	0,07	0,06	0,08
CaO	2,98	2,82	2,83	2,77	3,10	3,51	3,33	3,43	3,38	2,83	4,25
Na <sub>2</sub> O	3,02	3,38	2,97	3,07	2,93	2,99	3,99	2,79	3,08	3,02	2,92
K <sub>2</sub> O	4,97	4,58	5,21	4,96	4,80	4,15	3,80	5,17	4,48	4,96	4,23
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,19	0,18	0,16	0,12	0,16	0,17	0,29	0,22	0,20	0,19	0,24
ППП	0,28	0,44	0,47	0,79	0,89	0,22	0,49	0,39	0,55	0,52	0,88
Сумма	99,66	99,68	100,77	99,69	99,63	99,65	99,46	99,63	99,30	99,32	99,61
XMg	0,42	0,44	0,38	0,45	0,46	0,52	0,55	0,46	0,49	0,47	0,48
K <sub>2</sub> O / Na <sub>2</sub> O	1,65	1,36	1,75	1,62	1,64	1,39	0,95	1,85	1,45	1,64	1,45
K <sub>2</sub> O + Na <sub>2</sub> O	7,99	7,96	8,18	8,03	7,73	7,14	7,79	7,96	7,56	7,98	7,15
A / CNK	0,93	0,90	0,93	0,99	0,98	0,90	0,89	0,87	0,89	0,89	0,90
Li	37,9	30,1	36,3	35,4	35,0	34,1	25,0	30,8	24,7	41,4	27,1
Be	2,1	1,8	2,1	1,5	1,8	1,9	1,9	2,0	1,7	2,2	1,5
Sc	7,9	8,5	7,4	6,5	6,8	8,4	7,0	12,0	9,6	10,0	13,2
V	62,7	68,6	66,4	61,9	78,9	64,2	66,4	77,2	81,6	89,2	110
Cr	13,0	13,4	9,7	17,4	24,7	52,8	62,4	22,3	23,4	38,7	32,2
Co	9,3	7,2	9,1	7,9	8,4	11,9	13,0	12,0	7,9	14,1	15,1
Ni	7,9	14,2	7,5	11,6	10,5	19,3	52,5	15,2	19,1	20,5	26,8
Cu	39,0	25,7	23,2	17,3	16,3	25,0	18,1	111	103	112	64,5
Zn	62,0	48,6	46,5	42,0	57,3	44,3	46,1	52,5	51,0	58,3	66,4
Ga	15,9	13,8	15,9	14,9	16,9	16,3	20,6	15,7	11,7	17,4	15,8
Rb	225	169	221	194	229	117	132	214	149	207	142
Sr	449	396	400	332	354	496	870	550	395	552	530
Y	18,3	15,5	23,1	23,4	26,3	14,3	9,7	28,2	22,6	23,6	27,0
Zr	403	315	386	268	305	229	309	341	256	302	254
Nb	13,8	12,7	17,6	19,5	16,0	11,4	19,9	18,1	17,8	19,6	18,1
Mo	0,81	0,86	1,1	1,6	1,0	0,70	7,5	1,6	1,2	1,1	1,0
Cs	7,3	7,6	7,3	4,4	4,8	2,7	2,6	4,4	5,4	7,9	5,1
Ba	1158	1096	1223	1072	1059	1224	2618	1402	1397	1413	1230
La	56,4	50,0	53,8	48,4	48,3	34,6	84,9	72,9	130	136	42,8
Ce	90,5	90,4	94,7	89,7	90,0	61,0	148	126	219	127	92,9
Pr	8,8	9,5	10,3	10,8	10,0	6,7	14,0	13,3	22,9	13,1	10,7
Nd	30,4	32,9	36,7	38,6	36,4	25,5	45,6	48,0	66,7	45,5	41,3
Sm	4,8	5,4	6,1	6,4	6,6	4,7	6,3	7,9	9,3	7,6	7,6
Eu	1,0	1,1	1,2	1,1	1,3	1,2	1,3	1,5	1,7	1,5	1,7
Gd	3,8	4,0	4,8	5,3	5,8	3,8	4,1	6,2	6,3	5,9	6,5
Tb	0,55	0,60	0,67	0,78	0,85	0,5	0,50	0,91	0,88	0,9	0,93
Dy	2,9	3,5	3,6	4,1	4,8	2,8	2,2	4,9	5,0	4,5	5,1
Ho	0,58	0,66	0,73	0,81	0,94	0,56	0,36	0,95	0,95	0,88	0,99
Er	1,8	2,0	2,2	2,4	2,8	1,7	1,0	2,7	2,9	2,6	2,9
Tm	0,26	0,29	0,31	0,34	0,41	0,24	0,13	0,37	0,41	0,37	0,40
Yb	1,8	2,0	2,1	2,3	2,7	1,7	0,9	2,5	2,8	2,5	2,7
Lu	0,29	0,32	0,34	0,36	0,40	0,24	0,12	0,38	0,42	0,38	0,41
Hf	10,5	8,6	10,0	8,1	8,5	6,8	7,3	9,1	7,2	7,9	7,1
Ta	0,93	1,0	1,3	2,0	1,5	1,1	1,1	1,4	1,8	2,25	1,5
W	0,83	0,67	2,1	0,55	1,3	0,31	1,6	0,86	1,5	144	0,73
Pb	25,2	24,1	27,5	21,8	24,9	25,9	20,2	31,0	24,4	25,0	19,5
Bi	0,17	0,14	0,15	0,086	0,10	0,12	0,18	0,52	0,66	0,32	0,198
Th	10,2	13,1	49,5	20,7	63,3	7,5	24,9	25,8	63,9	23,1	12,6
U	3,9	4,3	9,4	5,6	9,1	3,0	5,2	6,1	3,6	3,3	3,4
ΣREE	203,9	202,7	217,6	211,4	211,3	145,2	309,4	288,5	469,3	348,7	216,9
Eu / Eu*	0,72	0,72	0,68	0,58	0,64	0,87	0,78	0,66	0,68	0,68	0,74
(Gd / Yb) <sub>n</sub>	1,75	1,65	1,89	1,91	1,78	1,85	3,77	2,05	1,86	1,95	1,99
(La / Yb) <sub>n</sub>	22,48	17,93	18,38	15,09	12,83	14,60	67,67	20,92	33,30	39,02	11,37
Sr / Y	25	26	17	14	13,46	35	90	20	17	23	20
La / Yb	31	25	26	21	17,89	20	94	29	46	54	16

Массив	Северо-Щигровский							Гнилушинский				
	Скв. / глуб.	3507/1	3507/237	3507/258,2	3507/277,5	3505/270	3505/278,1	4129/282	4016/317,1	4018/303	4018/223,9	4020/250,3
SiO <sub>2</sub>	60,91	61,36	61,78	60,28	57,34	59,72	58,61	47,18	48,38	47,96	46,47	49,38
TiO <sub>2</sub>	0,59	0,60	0,60	0,59	0,80	0,65	0,83	0,81	0,64	0,73	0,62	0,61
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,83	16,11	15,69	16,00	16,17	16,34	15,69	11,24	20,95	12,31	22,60	17,82
Fe <sub>2</sub> O <sub>3tot</sub>	6,17	6,16	6,79	7,16	8,62	7,01	7,75	9,41	7,65	9,67	8,38	6,84
MgO	2,49	2,76	2,81	2,90	3,49	2,99	3,47	11,24	5,46	13,07	4,08	5,20
MnO	0,09	0,09	0,09	0,09	0,11	0,09	0,10	0,11	0,11	0,12	0,08	0,07
CaO	5,10	4,58	4,24	4,71	5,29	4,98	5,55	10,77	10,18	9,89	10,75	8,61
Na <sub>2</sub> O	3,19	3,52	3,33	3,50	3,17	3,55	3,39	1,91	2,69	1,86	2,08	2,44
K <sub>2</sub> O	3,15	2,96	3,19	2,97	2,81	2,82	2,95	1,70	1,81	1,86	2,05	2,32
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,27	0,22	0,20	0,24	0,29	0,23	0,41	0,29	0,39	0,10	0,71	0,54
ППП	2,70	1,24	1,29	1,17	1,46	1,20	0,59	0,98	1,14	1,53	1,00	н.о.
Сумма	99,49	99,60	100,01	99,61	99,55	99,58	99,34	95,64	99,40	99,10	98,82	93,83
XMg	0,44	0,47	0,45	0,45	0,44	0,46	0,47	0,70	0,59	0,73	0,49	0,60
K <sub>2</sub> O / Na <sub>2</sub> O	0,99	0,84	0,96	0,85	0,89	0,79	0,85	0,89	0,67	1,00	0,99	0,95
K <sub>2</sub> O+Na <sub>2</sub> O	6,34	6,48	6,52	6,47	5,98	6,37	6,44	3,61	4,50	3,72	4,13	4,76
A / CNK	0,83	0,93	0,94	0,91	0,90	0,91	0,80	0,46	0,84	0,53	0,90	0,80
Li	25,8	20,0	17,0	19,5	23,8	23,0	18,0	16	17,1	14,8	18,0	18,4
Be	1,4	1,5	1,5	1,3	1,3	1,3	1,8	0,84	1,00	0,62	0,85	1,2
Sc	13,3	12,4	6,4	11,6	17,2	16,2	17,3	32,5	33,2	37,5	8,7	13,9
V	99,6	91,2	72,4	107	163	107	149	215	218	193	176	140
Cr	10,7	15,2	10,9	14,9	24,5	19,3	37,5	284	43,3	427	14,3	25,3
Co	16,6	13,7	10,0	15,3	22,1	20,5	19,9	41,6	31	72	17,2	23,6
Ni	14,5	19,6	14,8	20,8	32,0	29,2	36,7	121	15	241	12,7	34,2
Cu	38,5	14,5	16,8	20,4	19,6	12,6	43,0	71,9	41,9	239	62,4	60,6
Zn	58,9	70,3	40,2	63,5	94,2	86,2	119	64,3	80,1	74,2	66,7	60,6
Ga	16,7	20,2	22,3	18,1	19,3	19,5	18,3	15,5	9,9	13,6	20,2	17,2
Rb	90,3	62,5	46,8	78,8	78,0	75,0	78,3	33,5	72,3	55	40,8	36,3
Sr	698	695	573	710	781	772	897	500	801	315	904	752
Y	24,0	24,1	12,6	15,5	27,4	24,5	33,9	22,9	30	26,4	15,5	18,8
Zr	223	157	162	142	220	243	312	77,8	158	83,7	68,6	86,2
Nb	12,2	11,3	6,4	6,9	12,8	9,9	14,4	7,4	10	5,9	6,3	8,8
Mo	1,0	0,90	0,48	1,0	0,72	0,50	1,5	0,61	0,78	0,17	0,2	1,3
Cs	2,5	1,8	1,7	2,3	1,8	1,6	1,5	1,1	1,6	1,9	1,9	1,7
Ba	1270	1242	1122	1205	1460	1460	1496	508	1149	588	843	1216
La	65,2	32,1	28,7	30,6	41,3	38,0	45,3	21,4	31,8	14,2	23	27,5
Ce	109	63,0	49,9	57,7	89,0	76,6	97,4	59,8	75	35,2	52,2	61,9
Pr	10,8	7,6	5,3	6,2	10,8	8,9	10,9	7,8	11	5,3	6,5	7,2
Nd	38,3	30,6	19,6	23,3	42,8	35,0	43,0	35,6	45,4	24	27,9	32,3
Sm	6,2	6,2	3,3	4,2	7,7	6,3	8,1	7,7	9,0	6,0	5,6	6,8
Eu	1,5	1,6	1,0	1,2	2,0	1,7	2,1	2,1	2,1	1,7	1,5	2,0
Gd	5,1	5,5	2,9	3,7	6,5	5,5	7,0	6,8	7,7	6	4,6	6,0
Tb	0,74	0,83	0,42	0,53	0,96	0,80	0,98	0,92	1,1	0,9	0,61	0,78
Dy	4,0	4,5	2,3	2,9	5,0	4,5	5,5	4,7	5,6	5,0	3,3	4,2
Ho	0,82	0,88	0,45	0,58	0,98	0,87	1,1	0,84	1,00	1,00	0,64	0,78
Er	2,3	2,5	1,3	1,7	2,9	2,5	3,1	2,3	3,0	2,8	1,8	2,1
Tm	0,33	0,34	0,18	0,23	0,41	0,36	0,46	0,29	0,41	0,38	0,24	0,27
Yb	2,3	2,1	1,2	1,6	2,7	2,3	3,0	1,9	2,7	2,4	1,6	1,7
Lu	0,35	0,31	0,19	0,24	0,40	0,36	0,45	0,27	0,39	0,35	0,22	0,25
Hf	5,9	5,2	12,2	4,4	6,2	6,5	7,4	3,4	4,0	2,9	2,1	2,5
Ta	1,0	1,4	0,60	0,50	1,2	0,68	1,32	0,66	0,55	0,51	0,51	0,71
W	0,47	0,26	0,69	0,33	0,28	0,31	0,40	0,24	0,21	0,23	0,34	0,29
Pb	21,7	15,2	12,4	15,2	13,2	14,1	17,4	6,1	5,9	4,2	7,4	11,1
Bi	0,26	0,052	0,051	0,087	0,064	0,061	0,14	0,09	0,08	0,11	0,09	0,09
Th	13,4	4,8	4,8	6,8	6,3	7,5	7,8	3,5	2,1	3,1	2,3	5,1
U	4,3	2,1	1,0	2,3	2,3	2,8	4,1	1,3	0,9	1,2	1,1	1,0
ΣREE	246,9	158,1	116,7	134,7	213,5	183,7	228,4	152,4	196,2	105,2	129,7	153,8
Eu / Eu*	0,82	0,84	0,99	0,93	0,86	0,88	0,85	0,89	0,77	0,87	0,90	0,96
(Gd / Yb)n	1,83	2,17	2,00	1,91	1,99	1,98	1,93	2,96	2,36	2,07	2,38	2,92
(La / Yb)n	20,33	10,96	17,16	13,72	10,97	11,85	10,83	8,08	8,45	4,24	10,31	11,60
Sr / Y	29	29	45	46	29	32	26	22	27	12	58	40
La / Yb	28	15	24	19	15	17	15	11	12	6	14	16

XMg = MgO / (MgO + Fe<sub>2</sub>O<sub>3tot</sub> · 0,8997) (молярные количества)

A / CNK = Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> / (CaO + Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O) (молярные количества)

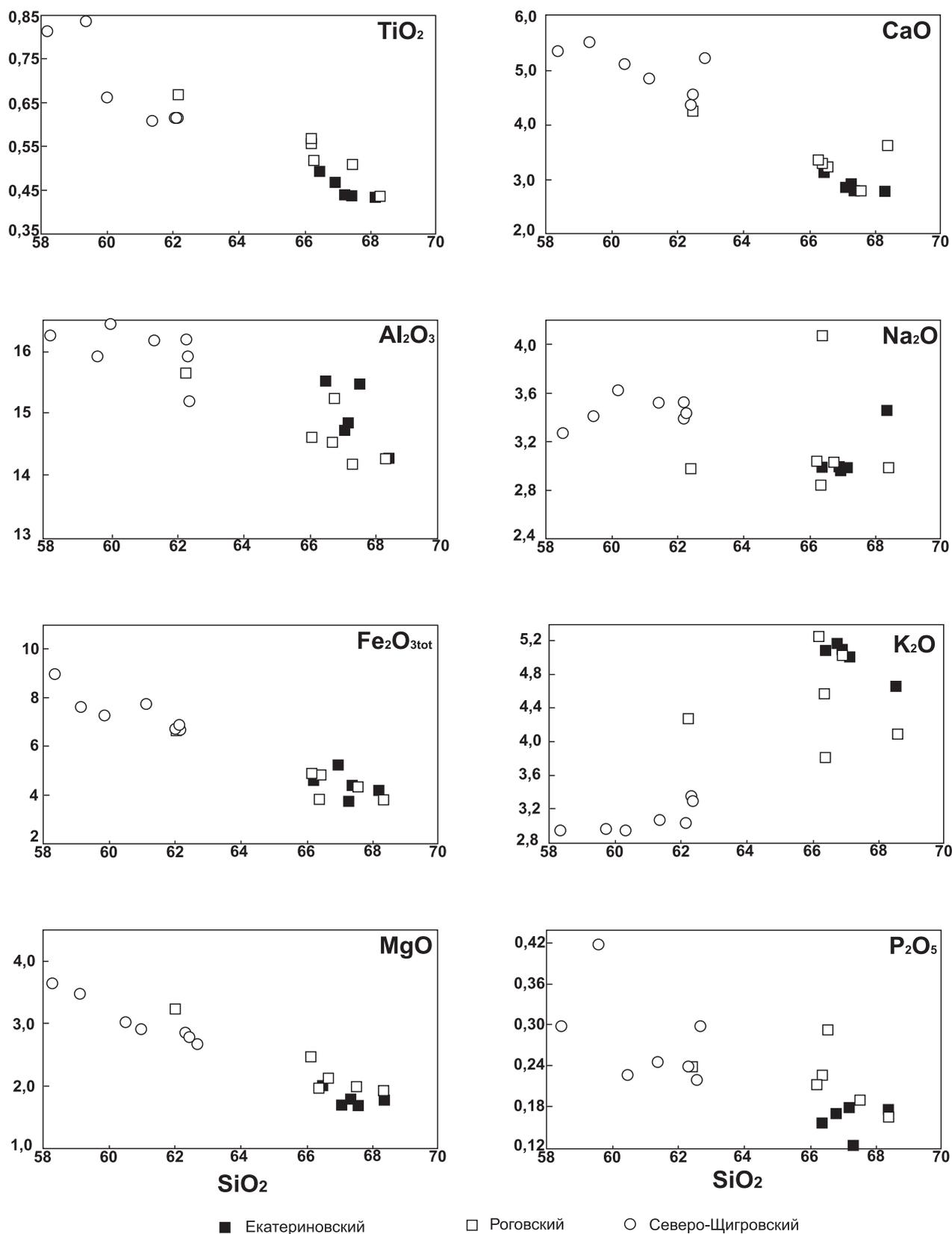


Рис. 2. Вариационные диаграммы Харкера для гранитоидов стойло-николаевского комплекса

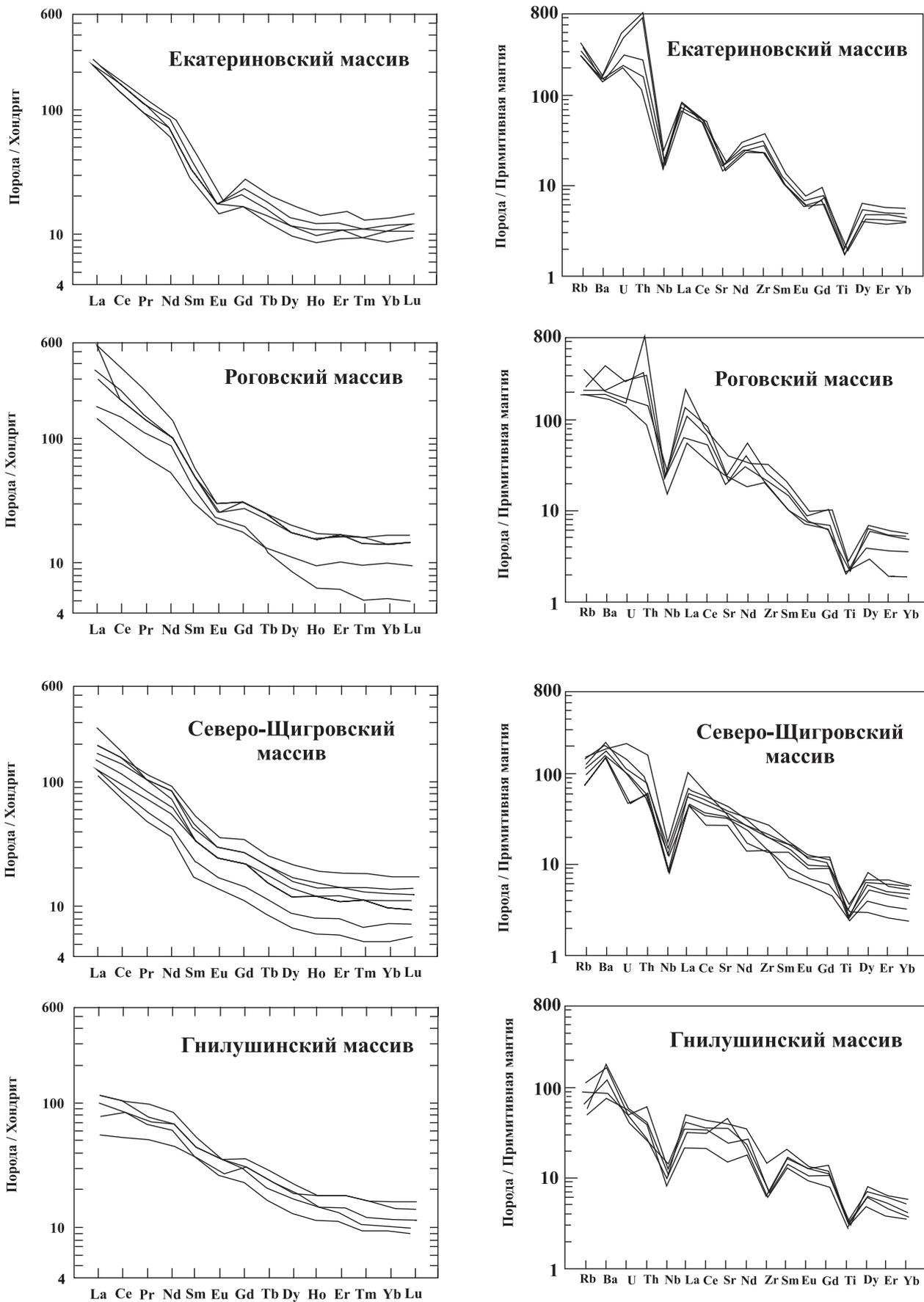


Рис. 3. Распределения редких и редкоземельных элементов в гранитоидах стойло-никалаевского комплекса

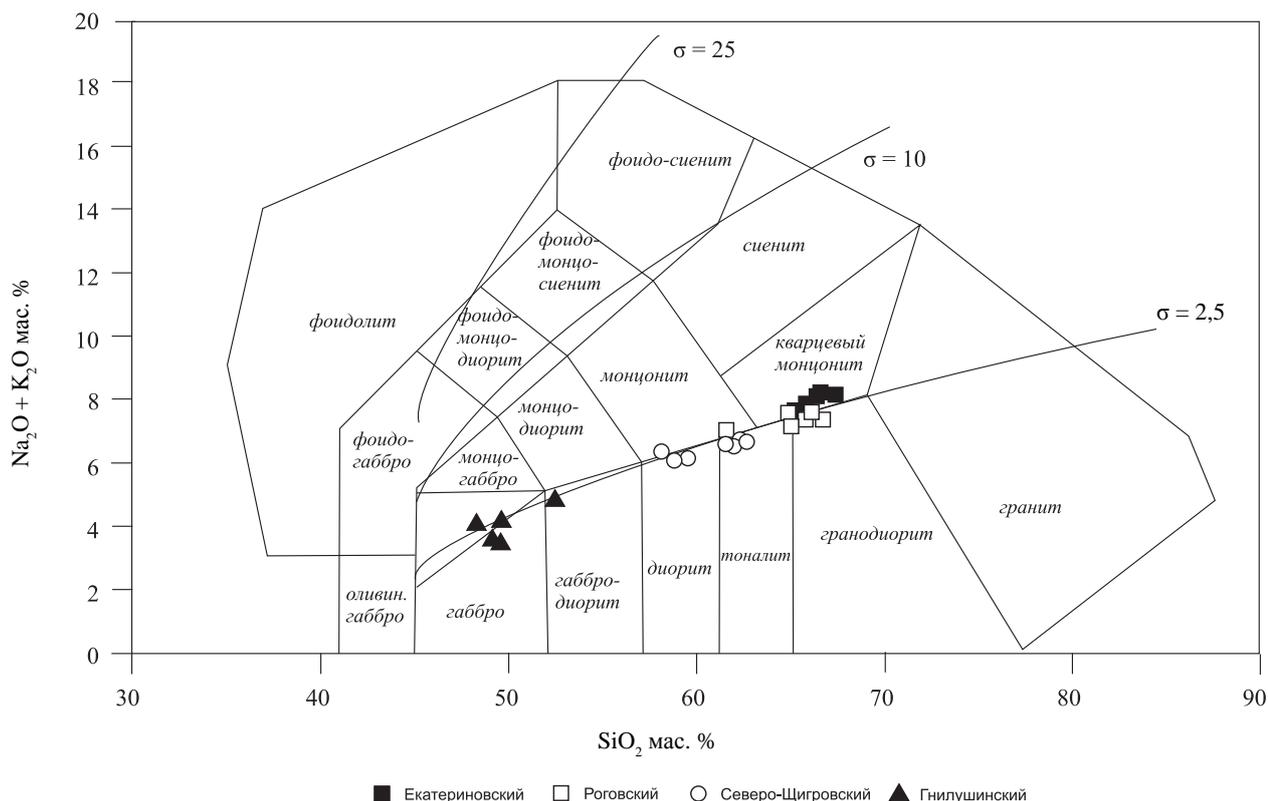


Рис. 4. Гранитоиды и габброиды стойло-николаевского комплекса на классификационной диаграмме по [18]

Гранитоиды Роговского массива близки к гранитоидам Екатериновского по содержаниям литофильных и высокозарядных элементов с отрицательной Nb-аномалией, также обогащены Sr и Ba (1220–1620 ppm), но отличаются более высокими концентрациями редкоземельных элементов, за исключением одного анализа (обр. 3085/185), с большим разбросом значений ( $\sum REE = 289\text{--}470$  ppm). В их распределении отмечается обогащение LREE с сильным их фракционированием  $[(La / Yb)_n = 15\text{--}68]$  и слабо выраженным Eu-минимумом ( $Eu / Eu^* = 0,66\text{--}0,87$ ) (см. табл. 4, рис. 3).

Один образец Na-K-гранодиорита из Роговского массива (3085/236) отличается от остальных гранитоидов резко фракционированным спектром РЗЭ, низкими концентрациями тяжелых лантаноидов и Y и высокими – Sr.

Диориты из периферийной части массива (скв. 3618) по геохимическим параметрам близки к гранодиоритам.

**Северо-Щигровский массив** находится на северо-западной границе Тим-Ястребовской структуры с архейским гнейсово-мигматитовым полем. На классификационной диаграмме (рис. 4) гранитоиды из центральных частей Северо-Щигровского массива попадают в поле тоналитов и диоритов, а из краевых (скв. 4129) – в поле монцонитов. В целом, гранитоиды

Северо-Щигровского массива отличаются пониженным содержанием  $SiO_2$  (57,34–61,78 мас. %) и щелочей ( $K_2O + Na_2O = 6,0\text{--}6,5$ ) при преобладании натрия ( $K_2O / Na_2O = 0,84\text{--}0,99$ ), повышенным – «мафитовых» компонентов (MgO, FeO) и CaO по сравнению с гранитоидами Екатериновской и Роговской интрузий.

Гранодиориты Северо-Щигровского массива характеризуются высокими содержаниями Sr (570–780 ppm), Ba (> 1100 ppm), пониженными – высокозарядных Zr (140–220 ppm), Y (12–27 ppm) с отрицательной Nb-аномалией (см. рис. 3, табл. 4) и широким разбросом концентраций редкоземельных элементов ( $\sum REE = 117\text{--}247$  ppm), низкими – Sr и Ni. Также отмечается обогащение легкими редкоземельными элементами относительно тяжелых с сильным фракционированием  $[(La / Yb)_n = 11\text{--}20]$  и отсутствие Eu-аномалий ( $Eu / Eu^* = 0,82\text{--}0,99$ ). Диориты из скв. 4189 по распределению редких и редкоземельных элементов близки к гранодиоритам центральных частей массива.

#### U-Pb-геохронология по цирконам и изотопная геохимия

Нами были выполнены определения возраста цирконов на ионном микрозонде SHRIMP-II из гранодиоритов Роговской интрузии (скв. 3617) в центральной части Тим-Ястребовской структуры и тона-

литов Северо-Щигровского массива (скв. 3507) у ее северо-западной границы (см. рис. 1). Акцессорные цирконы из гранодиоритов Северо-Щигровского массива представлены в основном бесцветными субидiomорфными и идиоморфными короткопризматическими кристаллами размером от 100 до 250 мкм, часто трещиноватыми, а также содержащими включения других минеральных фаз, а также флюидные включения. В катодной люминесценции в цирконах отмечается осцилляционная концентрационная зональность.

Цирконы из гранодиоритов Роговской интрузии отличаются от вышеописанных цирконов из Северо-Щигровской интрузии меньшим идиоморфизмом, присутствием значительного количества округлых зерен и длиннопризматических кристаллов с острыми пирамидальными вершинами. Кристаллы в основном бесцветные.

Результаты изотопного датирования приведены на рис. 5 и в табл. 5. Возраст гранодиоритов Северо-Щигровского массива составляет  $2049 \pm 10$  (N = 23), гранодиоритов Роговского массива –  $2045 \pm 15$  млн лет (N = 9) (рис. 5).

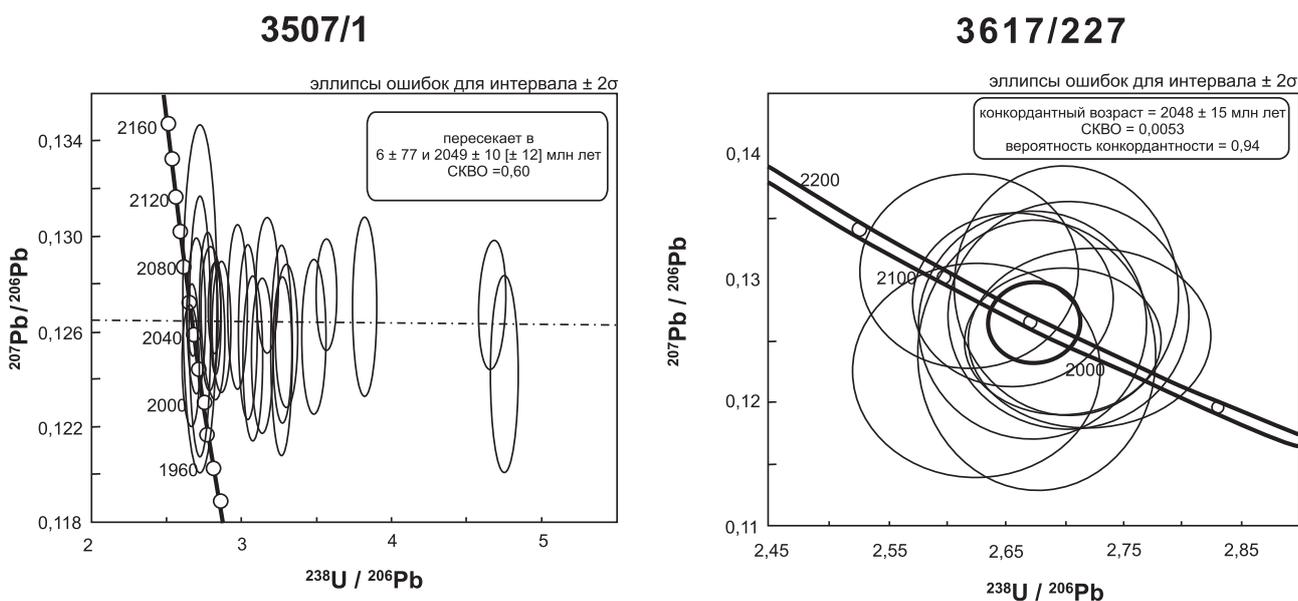


Рис 5. Результаты изотопного датирования цирконов из гранитоидов стойло-николаевского комплекса

По Sm-Nd-изотопно-геохимическим данным гранитоиды всех трех массивов характеризуются отрицательными величинами  $\epsilon_{\text{Nd}}(T)$  (табл. 6). При этом более меланократовые гранодиориты Северо-Щигровского массива имеют менее радиогенный изотопный состав неодима ( $\epsilon_{\text{Nd}}(2050) -9,3$ ) по сравнению с гранодиоритами Роговского и Екатериновского массивов ( $\epsilon_{\text{Nd}}(2050)$  от  $-6,0$  до  $-6,1$ ). Габбро Гнилушинского массива также характеризуются отрицательными значениями ( $\epsilon_{\text{Nd}}(T)$ ), но имеют более радиогенный состав неодима по сравнению с гранитоидами ( $\epsilon_{\text{Nd}}(2060) -4,3$ ).

### Интерпретация полученных результатов

#### Геохимическая типизация гранитоидов стойло-николаевского комплекса

Гранитоиды стойло-николаевского комплекса имеют отрицательные значения  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  и, следовательно, не могут принадлежать к гранитам М-типа, которые образуются из ювенильного мантийного материала [19].

Граниты А-типа обычно содержат безводные высокотемпературные фазы, такие как пироксен и фаялит, и кристаллизующиеся последними (в интерстициях) биотит и амфибол. В изученных гранитах отсутствуют пироксены и фаялит, а биотит и роговая обманка не кристаллизуются последними. Амфибол отвечает по составу магнизиальной роговой обманке и эдениту, что также противоречит принадлежности изученных гранитов к гранитам А-типа, в которых обычно присутствуют щелочные амфиболы. Кроме того, полевые шпаты в гранитах А-типа представлены преимущественно альбит-ортоклазовыми растворами [20], чего также не наблюдается в гранитоидах стойло-николаевского комплекса. Таким образом, типичные для гранитов А-типа петрографические признаки не были установлены. Граниты А-типа отличаются обогащением высокочargedных и редкоземельных элементов [21]. Относительно невысокие содержания Zr, Y и PЗЭ вместе с данными по петрографии и составам минералов свидетельствуют о том,

Таблица 5

Результаты U-Pb-датирования цирконов из гранитоидов стайло-николаевского комплекса

Наименование точки	% нерадио-генный <sup>206</sup> Pb	мкг/г U	мкг/г Th	<sup>232</sup> Th / <sup>238</sup> U	мкг/г радио-генный <sup>206</sup> Pb	(1) <sup>206</sup> Pb / <sup>238</sup> U возраст	1σ ошиб-ка	(1) <sup>207</sup> Pb / <sup>206</sup> Pb возраст	1σ ошиб-ка	% дис-кор-дант-ности	(1) <sup>238</sup> U / <sup>206</sup> Pb*	± %	(1) <sup>207</sup> Pb* / <sup>206</sup> Pb*	± %	(1) <sup>207</sup> Pb* / <sup>235</sup> U	± %	(1) <sup>206</sup> Pb* / <sup>238</sup> U	± %	егг сорг
3507-1.10.1	0,25	702	371	0,55	127,3	1231,2	9,0	2018	24	64	4,75	0,8	0,1242	1,4	3,60	1,6	0,2105	0,8	0,507
3507-1.2.1	0,13	612	312	0,53	112,9	1252,0	8,9	2058	15	64	4,66	0,8	0,1271	0,9	3,76	1,2	0,2144	0,8	0,666
3507-1.6.1	0,15	220	151	0,71	49,4	1496,9	12,4	2057	21	37	3,82	0,9	0,1270	1,2	4,58	1,5	0,2614	0,9	0,614
3507-1.5.1	0,01	393	269	0,71	94,6	1592,6	11,6	2064	13	30	3,57	0,8	0,1275	0,8	4,93	1,1	0,2802	0,8	0,735
3507-1.10.2	0,37	379	223	0,61	94,0	1627,6	12,6	2040	19	25	3,48	0,9	0,1258	1,1	4,98	1,4	0,2872	0,9	0,631
3507-1.8.1	0,12	289	161	0,57	75,5	1705,8	13,7	2040	17	20	3,30	0,9	0,1258	1,0	5,25	1,3	0,3029	0,9	0,679
3507-1.3.1	0,19	455	282	0,64	119,5	1715,8	12,2	2032	18	18	3,28	0,8	0,1252	1,0	5,26	1,3	0,3050	0,8	0,622
3507-1.9.2	0,52	347	156	0,47	91,5	1717,8	14,5	2032	25	18	3,27	1,0	0,1252	1,4	5,27	1,7	0,3054	1,0	0,555
3507-1.4.2	0,15	339	204	0,62	92,0	1765,5	14,9	2070	16	17	3,17	1,0	0,1279	0,9	5,56	1,3	0,3150	1,0	0,723
3507-1.12.1	0,24	369	280	0,78	101,0	1779,8	13,7	2029	19	14	3,14	0,9	0,1250	1,1	5,48	1,4	0,3180	0,9	0,635
3507-1.12.2	0,24	262	179	0,71	73,5	1814,8	14,9	2028	20	12	3,07	0,9	0,1249	1,1	5,60	1,5	0,3251	0,9	0,642
3507-1.5.2	0,11	234	110	0,49	66,2	1833,4	14,5	2042	21	11	3,04	0,9	0,1260	1,2	5,71	1,5	0,3290	0,9	0,606
3507-1.11.1	0,14	222	166	0,77	64,2	1867,1	15,6	2057	19	10	2,98	1,0	0,1270	1,1	5,88	1,5	0,3359	1,0	0,663
3507-1.8.2	0,06	250	142	0,58	75,0	1928,4	15,5	2046	16	6	2,87	0,9	0,1262	0,9	6,07	1,3	0,3487	0,9	0,724
3507-1.7.2	0,17	289	188	0,67	88,0	1950,9	15,3	2043	17	5	2,83	0,9	0,1260	0,9	6,14	1,3	0,3534	0,9	0,693
3507-1.12.3	0,11	278	174	0,64	85,6	1969,9	15,6	2051	17	4	2,80	0,9	0,1266	1,0	6,24	1,3	0,3574	0,9	0,693
3507-1.1.1	0,15	203	113	0,57	63,0	1980,1	15,8	2054	19	4	2,78	0,9	0,1268	1,1	6,29	1,4	0,3596	0,9	0,656
3507-1.2.2	0,09	279	167	0,62	86,9	1992,6	14,8	2060	15	3	2,76	0,9	0,1272	0,9	6,35	1,2	0,3622	0,9	0,704
3507-1.9.1	0,30	44	47	1,09	14,1	2015,9	29,3	2061	42	2	2,72	1,7	0,1273	2,4	6,45	2,9	0,3671	1,7	0,582
3507-1.4.1	0,25	81	59	0,75	25,8	2016,0	21,5	2045	32	1	2,72	1,2	0,1261	1,8	6,39	2,2	0,3671	1,2	0,570
3507-1.11.2	0,20	260	128	0,51	82,9	2028,1	16,3	2052	19	1	2,70	0,9	0,1266	1,1	6,45	1,4	0,3697	0,9	0,660
3507-1.7.1	0,08	354	293	0,86	113,2	2040,2	14,4	2061	14	1	2,69	0,8	0,1273	0,8	6,54	1,1	0,3723	0,8	0,724
3507-1.3.2	0,29	337	175	0,54	108,7	2050,3	15,0	2028	18	-1	2,67	0,9	0,1250	1,0	6,45	1,3	0,3745	0,9	0,652
Образец 3617/227																			
3617-227.5.7.2	0,30	46	35	0,77	14,7	2015,9	26,6	2033	42	1	2,72	1,5	0,1253	2,4	6,34	2,8	0,3671	1,5	0,545
3617-227.5.3.1	0,97	58	69	1,24	18,5	2025,9	25,2	2085	57	3	2,70	1,4	0,1291	3,3	6,57	3,6	0,3693	1,4	0,407
3617-227.5.10.1	0,63	47	59	1,29	15,1	2026,2	27,1	2057	52	2	2,70	1,6	0,1270	2,9	6,47	3,3	0,3693	1,6	0,470
3617-227.5.2.1	0,32	68	80	1,20	21,8	2030,6	22,3	2027	34	0	2,70	1,3	0,1249	1,9	6,38	2,3	0,3702	1,3	0,558
3617-227.5.4.1	0,53	52	60	1,20	16,7	2044,4	27,1	2011	65	-2	2,68	1,5	0,1238	3,6	6,37	4,0	0,3732	1,5	0,391
3617-227.5.9.1	0,69	56	69	1,26	18,2	2045,2	25,6	2047	53	0	2,67	1,5	0,1263	3,0	6,50	3,3	0,3734	1,5	0,438
3617-227.5.7.1	0,40	71	91	1,31	23,2	2058,2	23,1	2076	39	1	2,66	1,3	0,1284	2,2	6,66	2,6	0,3761	1,3	0,510
3617-227.5.5.1	0,48	40	40	1,01	13,3	2078,1	29,2	1994	52	-4	2,63	1,6	0,1226	2,9	6,43	3,3	0,3804	1,6	0,493
3617-227.5.6.1	0,51	57	67	1,21	18,8	2082,2	25,6	2107	43	1	2,62	1,4	0,1306	2,5	6,87	2,8	0,3813	1,4	0,505

Изотопно-геохимические характеристики гранитоидов стойло-николаевского комплекса

№	Порода	Sm, мкг/г	Nd, мкг/г	<sup>147</sup> Sm/ <sup>144</sup> Nd	<sup>143</sup> Nd/ <sup>144</sup> Nd	τ	ε	T-DM Gol	T-DM De-Paol
3617/178	Гранодиорит	6,6	37,8	0,10 580	0,511 106	2050	-6,0	2872	2762
3126/361,7	Гранодиорит	5,3	29,5	0,10 770	0,511 125	2050	-6,1	2896	2786
3507/237	Тоналит	7,8	38,8	0,12 100	0,511 140	2050	-9,3	3283	3190
4018/303	Габбро	8,2	42,5	0,11 660	0,511 330	2060	-4,3	2842	2717

что гранитоиды стойло-николаевского комплекса являются гранитами А-типа.

Граниты S-типа являются перглиноземистыми (A / CNK > 1,1), содержат глиноземистые минералы, такие как мусковит, кордиерит или гранат, в цирконах присутствуют унаследованные ядра.

Изученные гранитоиды метаглиноземистые (A / CNK < 1,0), всегда содержат амфибол и по основным критериям [22] относятся к гранитам I типа. На

дискриминантных диаграммах они попадают в поля островодужных гранитов (рис. 6).

Таким образом, гранитоиды стойло-николаевского комплекса являются метаглиноземистыми, субщелочными, умеренно железистыми гранитоидами I типа, обогащенными литофильными элементами, особенно Ba и Sr, и легкими РЗЭ, с сильным фракционированием тяжелых и легких РЗЭ, низкими содержаниями Cr и Ni.

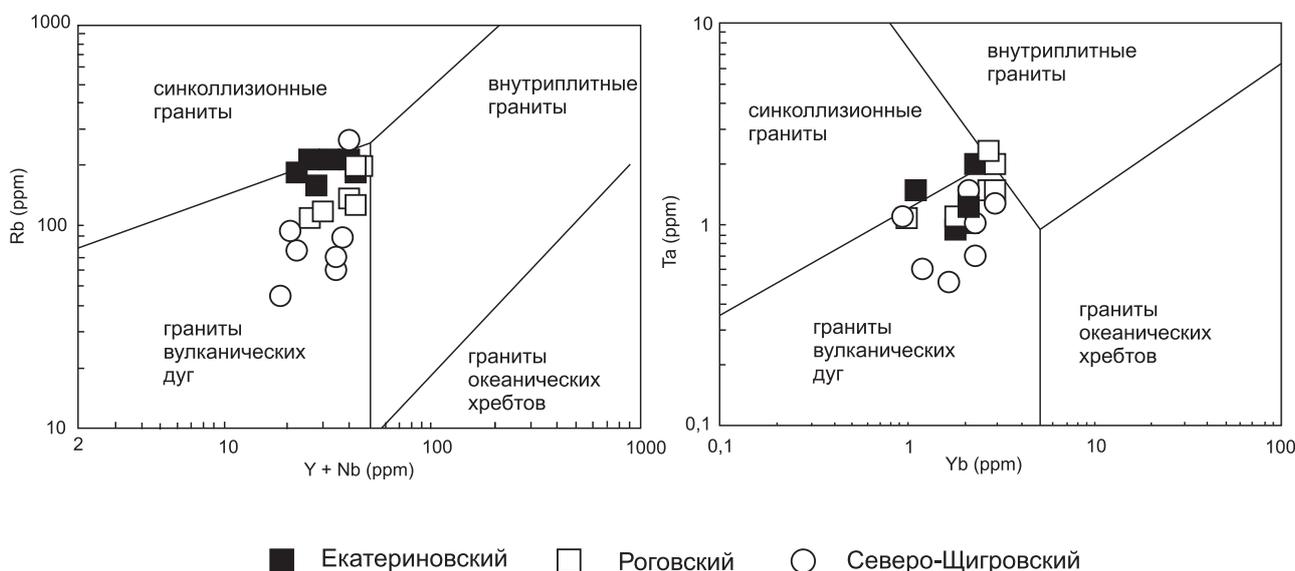


Рис. 6. Гранитоиды стойло-николаевского комплекса на дискриминационной диаграмме по [23]

*Петрологическая интерпретация полученных данных*

Все рассмотренные гранитоидные массивы Тим-Ястребовской структуры занимают единую геолого-структурную позицию, имеют черты сходства строения и состава и представляют продукт единого тектоно-магматического эпизода. Все это позволяет проводить для них общие петрогенетические и тектонические реконструкции.

Масштабы вариаций составов гранитоидов в объеме отдельных массивов слабо изучены из-за недостаточной представительности коллекций образцов, проанализированных для каждого из массивов. Для Екатериновского массива изученная выборка ограничена гранодиоритами, узкий интервал вариаций составов которых может быть объяснен фракци-

онной кристаллизацией с участием кумулюсного плагиоклаза и Fe-Ti-оксида. Вопросы генетических соотношений этих гранодиоритов и диоритов массива остаются открытыми из-за отсутствия данных по диоритам.

В Северо-Щигровском массиве вся проанализированная выборка представлена диоритами и кварцевыми диоритами с содержанием SiO<sub>2</sub> < 62 мас. %, закономерные вариации составов которых, по-видимому, обусловлены процессом кристаллизационной дифференциации в объеме массива с участием плагиоклаза, амфибола и пироксена в кумулюсной ассоциации.

Роговский массив отличается наибольшим значительным разнообразием проанализированных образцов. Преобладающая их часть по всем характери-

стикам, включая изотопную геохимию, близка к гранодиоритам Екатериновского массива, что подчеркивает генетическое родство этих двух массивов. Диорит из Роговского массива по составу близок к диоритам Северо-Щигровского массива, также подчеркивая общность изученных гранитоидов. Один образец Na-K-гранодиорита из Роговского массива контрастно отличается от остальных гранитоидов резко фракционированным спектром РЗЭ, низкими концентрациями тяжелых лантаноидов и Y и высокими – Sr. Это предполагает либо источник с такими характеристиками, либо формирование в равновесии с гранат-равновесным реститом. Эти отличия, не объяснимые за счет дифференциации единого материнского расплава, заставляют предполагать, что в формировании Роговского массива принимали участие кислые расплавы, образованные за счет двух разных по составу и (или) условиям магмогенерации источников.

При анализе петрогеохимических особенностей всех изученных массивов наше внимание привлекли закономерные изменения составов и многочисленные черты геохимического сходства гранитоидов. Эти особенности в сочетании с тесной пространственной сопряженностью диоритов и гранодиоритов в составе единых массивов наводят на мысль об их генетической взаимосвязи с образованием гранодиоритовой магмы за счет дифференциации исходного диоритового расплава. Однако в рамках такой модели, уже обсуждавшейся ранее [3], сложно объяснить все имеющиеся фактические данные. Во-первых, при ведущей роли кристаллизационной дифференциации сложно объяснить разрыв в составах между диоритами и гранодиоритами в интервале содержаний  $\text{SiO}_2$  62–65 мас. %. Это, однако, можно было бы соотнести с недостаточно представительным опробованием массивов. Более критичными являются различия изотопного состава неодима отдельных гранитоидных фаз массивов с более радиогенным изотопным составом неодима в гранодиоритах по сравнению с диоритом. Такие соотношения исключают механизм фракционной кристаллизации и контаминации (AFC) единого исходного расплава и предполагают существование двух независимых источников диоритового и гранодиоритового расплава. Привлечение двух разных по составам источников требуется также для того, чтобы объяснить появление в Роговском массиве гранодиорита с контрастно отличной геохимией РЗЭ.

Такое разнообразие источников, реконструируемое для массивов гранитоидов стойло-николаевского комплекса, может быть связано с участием как минимум двух контрастных по изотопно-геохимиче-

ским характеристикам источников магм: архейской коры и палеопротерозойской мантии.

Существенный вклад в петрогенезис гранитоидов архейского корового субстрата, представленного палео- и мезоархейскими гнейсами тоналит-трондьемит-гранодиоритового (ТТГ) состава [5, 24, 25], не вызывает сомнений. Эти гнейсы слагают основной объем Курского блока, имеют долгую коровую предысторию ( $\epsilon\text{Nd}_{2050}$  от –11 до –17) [25] и могли обеспечить низкорadioгенный изотопный состав неодима в гранитоидах стойло-николаевского комплекса. Следует подчеркнуть, однако, что только лишь коровое плавление не могло продуцировать расплавы, материнские для гранитоидов стойло-николаевского комплекса. Во-первых, на это указывает участие в составе массивов диоритов, которые не могут быть получены при плавлении кислых коровых пород. Во-вторых, модель переплавления корового субстрата не согласуется с изотопно-геохимическими данными, которые фиксируют более радиогенный по сравнению с ТТГ-гнейсами изотопный состав неодима в диоритах ( $\epsilon\text{Nd}_{2050} = -9,3$ ) и гранодиоритах ( $\epsilon\text{Nd}_{2050}$  от –6,0 до –6,1) стойло-николаевского комплекса (рис. 7).

Об участии палеопротерозойских мантийных расплава в качестве второй компоненты в петрогенезисе гранитоидов стойло-николаевского комплекса напрямую свидетельствуют габброиды и диориты, локализованные либо в виде изолированных массивов, либо как компоненты комбинированных массивов. Имеющихся на сегодня данных явно недостаточно для оценки изотопно-геохимических параметров мантийного источника этих основных расплава. Единичные анализы по габброидам Гнилушинской интрузии предполагают, что их мантийный источник, умеренно обогащенный легкими РЗЭ, был сформирован в конце неоархея около 2,7 млрд лет назад ( $T_{\text{Nd}}^{\text{DM}} = 2,72$  млрд лет,  $\epsilon\text{Nd}_{2050} = -4,4$ ) (рис. 7). Следует отметить, что эта оценка времени обогащения мантийного источника, вероятно, является завышенной, поскольку в ней не учтен вклад контаминации основных расплава коровыми ТТГ.

Представляется вероятным, что различные сочетания расплава из этих двух контрастных источников могли обеспечить наблюдаемое вещественное и изотопно-геохимическое разнообразие гранитоидов стойло-николаевского комплекса. Преобладающие по объему гранодиориты, представленные в Екатериновском и Роговском массивах, могли быть сформированы при интенсивной кристаллизационной дифференциации базальтовых магм типа состава габброидов Гнилушинской интрузии, претерпевших умеренную контаминацию ТТГ-гнейсами. Аналогичный механизм можно было бы рассматривать для диоритов и кварцевых диоритов Северо-Щигровского и Рогов-

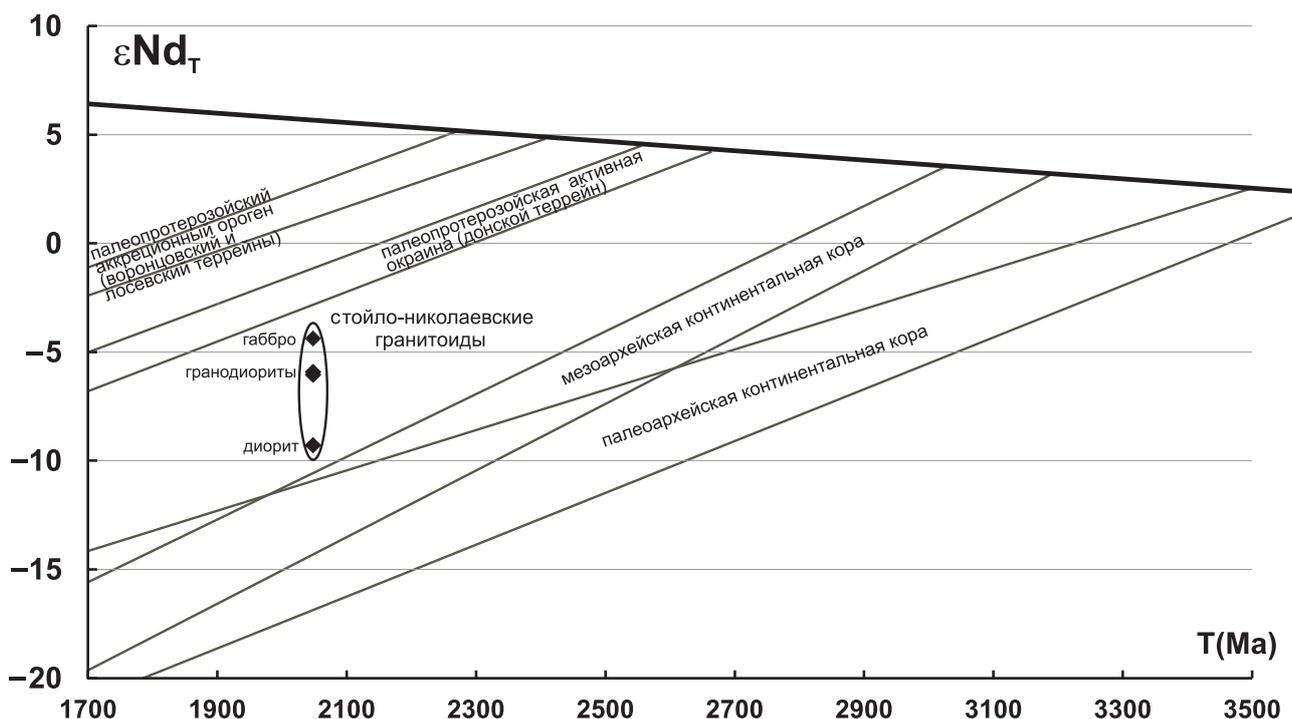


Рис. 7. Диаграмма в координатах  $T(\text{Ma}) - \epsilon\text{Nd}_T$  для пород Тим-Ястребовского палеорифта и ТТГ обоянского комплекса

ского массивов. Однако единственный изотопный анализ для кварцевого диорита Северо-Щигровского массива не согласуется с таким механизмом и предполагает существенно больший, чем для гранодиоритов, вклад древней коровой контаминанты в диоритовые магмы. Для разрешения такого парадокса данных на сегодня недостаточно, необходимы дополнительные исследования. Присутствие в Роговском массиве гранодиоритов с сильно фракционированным спектром тяжелых РЗЭ можно было бы объяснить образованием этих расплавов за счет плавления ТТГ-гнейсов, хотя корректность этого предположения требует проведения изотопных исследований.

Подводя итог, следует признать, что изученные массивы имели сложную петрогенетическую историю, для полноценной расшифровки которой имеющихся на сегодня данных недостаточно. Тем не менее уже полученные результаты позволили сформулировать ряд важных ограничений и наметить возможные петрогенетические модели, тестирование которых требует дальнейших исследований.

### Выводы

Палеопротерозойские гранитоиды Тим-Ястребовской структуры являются субщелочными, метаглиноземистыми, всегда содержат биотит и роговую обманку и по основным минералого-геохимическим критериям относятся к гранитам I типа.

Внедрение гранитоидных массивов произошло в узком временном интервале 2,04–2,05 млрд лет. Они имеют близкие изотопно-геохимические характеристики, с отрицательными значениями  $\epsilon\text{Nd}(T)$  (от –6,0 до –9,3), предполагающие продолжительную коровую предысторию их источников.

Гранодиориты, слагающие основной объем магматических пород в Тим-Ястребовской структуре, могли быть образованы при кристаллизационной дифференциации базальтовых магм, претерпевших умеренную контаминацию ТТГ-гнейсами.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Голивкин Н.И. Петрография и петрохимия пород стойло-николаевского габбро-диоритового комплекса / Н. И. Голивкин // Материалы по геологии и полезным ископаемым центральных районов европейской части СССР. – М., 1962. – Вып. V. – С. 25–33.
2. Леоненко Е. И. Геохимическая характеристика гранитоидов северо-восточной части КМА : автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук / Е. И. Леоненко. – М., 1978. – 31 с.
3. Крестин Е. М. Петрология и потенциальная рудоносность габбро-диорит-гранодиоритовой формации раннего докембрия КМА / Е. М. Крестин, Е. И. Леоненко // Изв. вузов, геол. и разв. – 1978. – № 8. – С. 33–45.
4. Холин В. М. Геология, геодинамика и металлогеническая оценка раннепротерозойских структур КМА : автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук / В. М. Холин. – Воронеж, 2001. – 24 с.
5. Артеменко Г. В. Геохронологическая корреляция вулканизма и гранитоидного магматизма юго-восточной части Украинского щита и Курской магнитной аномалии /

Г. В. Артеменко // Геохимия и рудообразование. – 1995. – Вып. 21. – С. 129–154.

6. Савко К. А. Зональный метаморфизм и петрология метapelитов Тим-Ястребовской структуры, Воронежский кристаллический массив / К. А. Савко, Т. Н. Полякова // Петрология. – 2001. – Т. 9, № 6. – С. 593–611.

7. Polyakova T. N. Evolutions of Early Proterozoic metamorphism within Tim-Yastrebovskaya paleorift, Voronezh Crystalline Massif, East-European platform: metapelite systematic, phase equilibrium and P-T conditions / T. N. Polyakova, K. A. Savko, V. Yu. Skryabin // Metamorphism and crustal evolution / H. Thomas (Ed.). – New Delhi: Atlantic Publishers and Distributors, 2005 – P. 26–72.

8. Полякова Т. Н. Петрология метapelитов и силикатно-карбонатных пород Тим-Ястребовской структуры (Воронежский кристаллический массив) / Т. Н. Полякова, К. А. Савко, В. Ю. Скрябин // Труды НИИ Геологии ВГУ. – 2006. – Вып. 35. – Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та. – 125 с.

9. Полякова Т. Н. Фазовые равновесия и физико-химические условия метаморфизма карбонатных пород на контакте с интрузиями стойло-николаевского комплекса / Т. Н. Полякова, В. Ю. Скрябин, К. А. Савко // Вестник Воронеж. гос. ун-та. Сер.: Геология. – 2002. – № 2. – С. 46–58.

10. Williams I. S. U-Th-Pb Geochronology by ion microprobe / I. S. Williams // Applications in micro analytical techniques to understanding mineralizing processes. – Rev. Econ. Geol. – 1998. – V. 7. – P. 1–35.

11. Larionov A. N. The Vendian alkaline igneous suite of northern Timan: ion microprobe U-Pb zircon ages of gabbros and syenite / A. N. Larionov, V. A. Andreichev, D. G. Gee // Gee D. G., Pease V. L. (Eds.). The Neoproterozoic Timanide Orogen of Eastern Baltica. Geological Society London Memoirs. – 2004. – V. 30. – P. 69–74.

12. Steiger R. H. Subcommission on geochronology: convention of the use of decay constants in geo- and cosmochronology / R. H. Steiger, E. Jäger // Earth Planet. Sci. Lett. – 1977. – V. 36. – P. 359–362.

13. Stacey J. S. Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a twostage model / J. S. Stacey, J. D. Kramers // Earth Planet. Sci. Lett. – 1975. – V. 26. – P. 207–221.

14. Ludwig K. R. SQUID 1.12 A User's Manual. A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel / K. R. Ludwig // Berkeley Geochronology Center Special Publication. – 2005. – 22 p. – Mode of access: <http://www.bgc.org/klprogrammenu.html>

15. Ludwig K. R. User's Manual for ISOPLOT/Ex 3.22. A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel / K. R. Ludwig // Berkeley Geochronology Center Special Publication. – 2005. – 71 p. – Mode of access: <http://www.bgc.org/klprogrammenu.html>

16. Ludwig K.R. On the treatment of concordant uranium-lead ages / K. R. Ludwig // Geochim. Cosmochim. Acta. – 1998. – V. 62. – P. 665–676.

17. Leake B. E. Nomenclature of amphiboles. Report of the Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association Commission on New Minerals and Mineral Names / B. E. Leake, A. R. Woolley, and 20 members of the Subcommittee on Amphiboles // Eur. J. Mineral. – 1997. – V. 9. – P. 623–651.

18. Middlemost E. A. K. Naming materials in the magma/igneous rock system / E. A. K. Middlemost // Earth Sci. Rev. – 1994. – V. 37. – P. 215–224.

19. Whalen J. B. Geochemistry of an island-arc plutonic suite: the Uasilau-Yau intrusive complex, New Britain P.N.G. / J. B. Whalen // Journal of Petrology. – 1985. – V. 26. – P. 603–632.

20. Collins W. J. Nature and origin of A-type granites with particular reference to southeastern Australia / W. J. Collins, S. D. Beams, A. J. R. White and others // Contrib. Mineral. Petrol. – 1982. – V. 80. – P. 189–200.

21. Whalen J. B. A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis / J. B. Whalen, K. L. Currie, B. W. Chappell // Contrib. Miner. Petrol. – 1987. – V. 95. – P. 407–419.

22. Chappell B. W. I- and S-type granites in the Lachlan Fold Belt / B. W. Chappell, A. J. R. White // Transact. Roy. Soc. Edinb. Earth Sci. – 1992. – V. 83. – P. 1–26.

23. Pearce J. A. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks / J. A. Pearce, N. W. Harris, A. G. Tindle // J. Petrol. – 1984. – V. 25. – P. 956–983.

24. Артеменко Г. В. Палеоархейский возраст ультраметаморфических плагиогранитоидов Курско-Бесединского блока (Воронежский кристаллический массив) / Г. В. Артеменко, И. А. Швайка, Е. А. Татарина // Геологический журн. – 2006. – № 1. – С. 84–87.

25. Щипанский А. А. Геодинамика восточной окраины Сарматии в палеопротерозое / А. А. Щипанский, А. В. Самсонов, А. Ю. Петрова [и др.] // Геотектоника. – 2007. – № 1. – С. 43–70.

*Воронежский государственный университет*

Савко К. А., доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий кафедрой полезных ископаемых и недропользования

E-mail: [ksavko@geol.vsu.ru](mailto:ksavko@geol.vsu.ru)

Тел.: 8-915-544-21-64

Базиков Н. С., кандидат геолого-минералогических наук, преподаватель кафедры полезных ископаемых и недропользования

E-mail: [nickolasss@yandex.ru](mailto:nickolasss@yandex.ru)

Тел.: 8-903-420-08-97

*Voronezh State University*

Savko K. A., Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Head of the Mineral Resource Department

E-mail: [ksavko@geol.vsu.ru](mailto:ksavko@geol.vsu.ru)

Tel.: 8-915-544-21-64

Bazikov N. S., Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Lecturer of the Mineral Resource Department

E-mail: [nickolasss@yandex.ru](mailto:nickolasss@yandex.ru)

Tel.: 8-903-420-08-97

*Козлова Е. Н., аспирант кафедры полезных ископаемых и недропользования*

*E-mail: elenyshka1989@rambler.ru*

*Тел.: 8-920-225-71-41*

*Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии (ИГЕМ) РАН, г. Москва*

*Самсонов А. В., доктор геолого-минералогических наук, заместитель директора по научной работе, член-корреспондент РАН*

*E-mail: samsonov@igem.ru*

*Тел.: 8-499-230-84-14*

*Kozlova E. N., Post-graduate Student of the Mineral Resource Department*

*E-mail: elenyshka1989@rambler.ru*

*Tel.: 8-920-225-71-41*

*Institute of Ore Geology, Petrography, Mineralogy and Geochemistry (IGEM) RAS, Moscow*

*Samsonov A. V., Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Deputy Director for Science, Corresponding Member of RAS*

*E-mail: samsonov@igem.ru*

*Tel.: 8-499-230-84-14*