

петрофизические свойства исходных пород, что затрудняет поиски трубок с применением геофизических методов. На примере комплексного изучения диатрем Накынского поля подчеркнута важность задач по совершенствованию методики прогнозирования и поисков немагнитных кимберлитовых диатрем, особенно перекрытых другими магматическими и осадочными породами. Наиболее уверенно и четко определять приуроченность отторженцев к материнским телам возможно на основании сопоставления их вещественного состава (петрологических и минералогических особенностей).

### Литература

1. Бобривич А.П., Илупин И.П., Козлов И.Т. и др. Петрография и минералогия кимберлитовых пород Якутии. М.: Недра, 1964. 190 с.
2. Борис Е.И., Францессон Е.В. О закономерностях размещения кимберлитовых тел в Мало-Ботуобинском районе (Западная Якутия) // Изв. вузов. Геология и разведка. 1992. №5. С.68–76.
3. Ваганов В.И. Алмазные месторождения России и Мира (Основы прогнозирования). М.: Геоинформмарк, 2000. 371 с.
4. Василенко В.Б., Зинчук Н.Н., Кузнецова Л.Г. Петрохимические модели алмазных месторождений Якутии. Новосибирск: Наука, 1997. 568 с.
5. Зинчук Н.Н. Коры выветривания и вторичные изменения кимберлитов Сибирской платформы (в

связи с проблемой поисков и разработки алмазных месторождений). Новосибирск: НГУ, 1994. 240 с.

6. Зинчук Н.Н., Алябьев С.Г., Банзерук В.И. и др. Геология, вещественный состав и алмазность кимберлитов Накынского поля Якутии (геологи к 50-летию юбилею г. Мирный и алмазодобывающей промышленности России). Воронеж: ВГУ, 2005. С.807–824.

7. Зинчук Н.Н., Коптиль В.И. Типоморфизм алмазов Сибирской платформы. М.: Недра, 2003. 603 с.

8. Зинчук Н.Н., Савко А.Д., Шевырев Л.Т. Тектоника и алмазоносный магматизм. Воронеж: ВГУ, 2004. 426 с.

9. Зинчук Н.Н., Спецус З.В., Зуенко В.В., Зуев В.М. Кимберлитовая трубка Удачная (вещественный состав и условия формирования). Новосибирск: НГУ, 1993. 147 с.

10. Милашев В.А. Кимберлиты и глубинная геология. Л.: Недра, 1990. 167 с.

11. Орлов Ю.Л. Минералогия алмаза. М.: Наука, 1984. 264 с.

12. Розен О.М., Манаков А.В., Зинчук Н.Н. Сибирский кратон: формирование, алмазность. М.: Научный мир, 2006. 212 с.

13. Францессон Е.В. Петрология кимберлитов. М.: Недра, 1968. 199 с.

14. Харьков А.Д., Зинчук Н.Н., Крючков А.И. Коренные месторождения алмазов Мира. М.: Недра, 1998. 556 с.

Поступила в редакцию 26.05.2016

УДК 551.7:550.838.5:551.2

## Петромагнитный мониторинг кимберлитов трубки Нюрбинская (Якутская алмазоносная провинция)

А.А. Яковлев\*, К.М. Константинов\*, \*\*, Ш.З. Ибрагимов\*\*\*, И.К. Константинов\*\*,  
Т.А. Антонова\*, Е.В. Артемова\*, Р.В. Монхоров\*

\*Научно-исследовательское геологоразведочное предприятие АК «АЛРОСА» (ПАО), г. Мирный

\*\*Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск,

\*\*\*Казанский федеральный университет, г. Казань

Начиная с 2002 г. на месторождении алмазов трубки Нюрбинская Якутской алмазоносной провинции (ЯАП) ведутся петро- и палеомагнитные исследования кимберлитов накынского интрузивного

---

ЯКОВЛЕВ Андрей Андреевич – м.н.с., Yandrey1989@mail.ru; КОНСТАНТИНОВ Константин Михайлович – д.г.-м.н., зав. лаб., KonstantinovKM@alrosa.ru; ИБРАГИМОВ Шамиль Зафирович – к.г.-м.н., доцент, shamil.ibragimov@ksu.ru; КОНСТАНТИНОВ Иннокентий Константинович – ст. лаборант, geologiaforever@mail.ru; АНТОНОВА Татьяна Анатольевна – н.с., AntonovaTA@alrosa.ru; АРТЕМОВА Елена Владимировна – инженер, ArtemovaEV@alrosa.ru; МОНХОРОВ Ричард Владимирович – инженер, MonhorovRV@alrosa.ru.

комплекса ( $tD_3-C_{1nk}$ ), вмещающих их терригенно-карбонатных пород моркокинской свиты позднего кембрия ( $\epsilon_{3mrk}$ ) и др. В результате получены широкий спектр петрофизических параметров, информация о морфологии поверхности и сведения об элементном химическом составе ферромагнитных минералов, палеомагнитные направления автолитовых кимберлитовых брекчий (АКБ) и т. д. Существенных изменений значений петромагнитных параметров АКБ с глубиной не установлено, что свидетельствует о слабой гидротермальной проработке поздними магматическими процессами. Основными носителями естественной остаточной намагниченности (ЕОН) АКБ являются пирротин ( $T_k \approx 325$  °C) и магнетит ( $T_k \approx 578$  °C), с которыми связаны характеристические компоненты, соответственно, P и M. Первая «пирротиновая» компонента встречается только в кимберлитах, в то время как вторая «магнетитовая» – в кимберлитах и вмещающих их породах позднего кембрия, причем в последних она является метакронной (наложенной). Кроме этого, в терригенно-карбонатных породах установлена «гематитовая» компонента ЕОН – C3 ( $T_k \approx 675$  °C), которая хорошо согласуется с палеомагнитными данными по верхоленской свите позднего кембрия ( $\epsilon_{3vl}$ ), изученной на юге Сибирской платформы. Интерпретация выделенных характеристических компонент допускает, что в кимберлитах компонента M является первичной (синхронной формированию трубки взрыва), а компонента P – вторичной, образованная за счет «прогрева» посттрубочной дайкой щелочных долеритов. Палеомагнитное датирование компоненты M свидетельствует, что внедрение кимберлитов произошло немного позже становления даек субщелочных долеритов, а, в общем, время проявления этих магматических процессов совпадает с позднесилурийской–раннедевонской ( $S_2-D_1$ ) эпохой. Возраст метакронной компоненты P, вероятнее всего, позднедевонский–раннекарбонный ( $D_3-C_1$ ).

Ключевые слова: Якутская алмазоносная провинция, Среднемархинский район, трубка Нюрбинская, кимберлиты, палеомагнетизм.

## Petromagnetic Monitoring of Kimberlites of the Nyurbinskaya Pipe (Yakut Diamondiferous Province)

And.And. Jakovlev\*, K.M. Konstantinov\*\*, S.Z. Ibragimov\*\*\*, In.K. Konstantinov\*\*,  
T.A. Antonova\*, E.V. Artemova\*, R.V. Monhorov\*

\*Geological Enterprise of Exploration, Public JSC «ALROSA», Mirny

\*\*Institute of the Earth's Crust SB RAS, Irkutsk

\*\*\*Institute of Geology and Petroleum Technologies, Kazan Federal University, Kazan

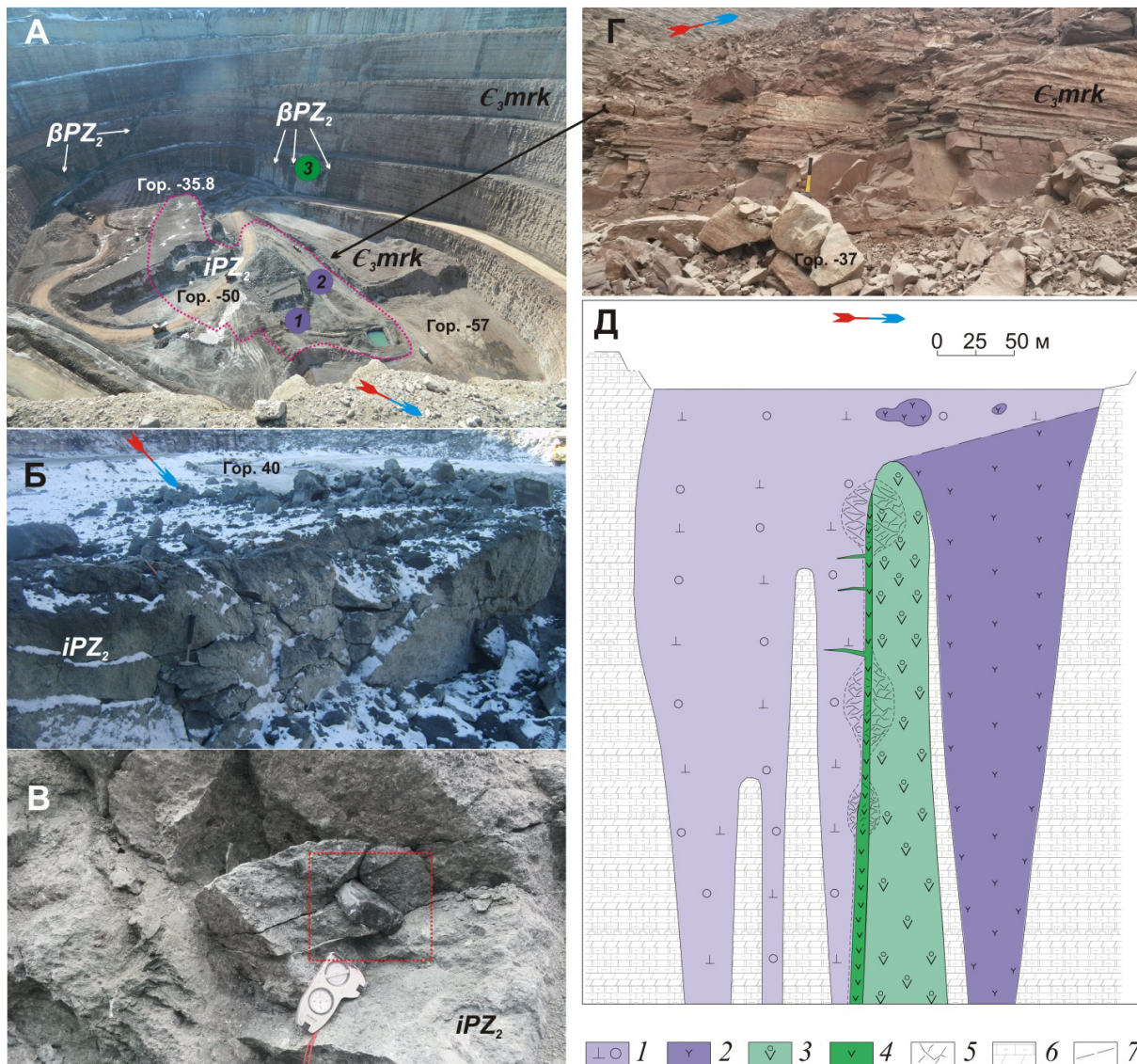
Since 2002 on a diamond field of the Nyurbinskaya pipe of the Yakut Diamondiferous Province (YDP) petro- and paleomagnetic studies of kimberlites of the Nakynsky intrusive complex ( $tD_3-C_{1nk}$ ), accomodating them terrigenous and carbonate formations of Morkokinskaya suite of the Late Cambrian ( $\epsilon_{3mrk}$ ), etc. have been conducted. As a result we received: a wide range of petrophysical parameters, information about a surface morphology and data on element chemical composition of ferromagnetic minerals, paleomagnetic directions of avtolitic kimberlite breccia (AKB) etc. Essential changes of values of petromagnetic parameters of AKB with the depth is not found that witnesses a weak hydrothermal touch by the late magmatic processes. The main carriers of the natural remanent magnetization (NRM) of AKB are pyrrhotine ( $T_k \approx 325$  °C) and magnetite ( $T_k \approx 578$  °C) with which the characteristic components, respectively P and M are connected. The first «pyrrhotine» component takes place only in kimberlites while the second «magnetite» – in kimberlites and containing them Late Cambrian formations, and in the last ones it is metachronic. Besides in terrigenous and carbonate formations "hematite" component of NRM – C3 ( $T_k \approx 675$  °C) is established which is well coordinated with paleomagnetic data on the Verkholenskaya suite of the Late Cambrian ( $\epsilon_{3vl}$ ) studied in the south of the Siberian platform. The interpretation of the characteristic components assumes that component M is primary (synchronous to formation of an explosion tube) in the kimberlites, and component P – secondary, formed due to «warming up» by post-pipe dike of alkaline dolerites. Paleomagnetic dating of component M confirms that intrusion of kimberlites took place a little later than formation of subalkaline dolerites dikes, and, generally, time of manifestation of these magmatic processes coincides with Late Silurian - Early Devonian ( $S_2-D_1$ ) period. Secondary component P age is most likely Late Devonian – Early Carboniferous ( $D_3-C_1$ ).

Key words: Yakut diamondiferous province, Middle Markha area, pipe Nyurbinskaya, kimberlites, paleomagnetism.

**Введение**

Несмотря на то, что исследования кимберлитовой трубки Нюрбинская ведутся более 20 лет, остается ряд спорных вопросов о ее возрасте и взаимоотношениях с базитами Вилюйско-Мархинской зоны разломов и др. Согласно общепринятой модели [1], кимберлитовая трубка сечется дайкой субщелочных долеритов мощностью более 250 м (!), разделяя порфировые кимберлиты (ПК) ранней фазы и автолитовые кимберлитовые брекчии (АКБ) поздней фазы. Возраст интрузии по данным  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  метода оценивается  $374,4 \pm 3,5$  млн. лет [2], что ограничивает верхний возраст внедрения кимберлитов. В

соответствии с данной моделью должны наблюдаться значительные вещественные изменения кимберлитов по вертикали, в том числе и петрофизические, аналогичные установленным в отторженце трубки Комсомольская [3]. Однако на практике эти изменения оказались не столь очевидными, как ожидалось: внедрение интрузии в консолидированные кимберлитовые породы трубки обусловило образование вдоль их границы зоны метасоматически измененных кимберлитов мощностью до 5–10 м [4]. Возможно, это объясняется более сложным геологическим строением трубки Нюрбинская (рис. 1, Д) [5], что требует постановку дополнительных



**Рис. 1. Месторождение алмазов трубки Нюрбинская:** А – общий вид карьера (апрель 2016 г.), пунктирная линия – контур рудного тела, кружки с цифрами – изученные коренные обнажения кимберлитов (1 и 2) и дотрубочных даек долеритов (3) по [7]; Б – ненарушенное залегание АКБ (апрель 2011 г.); В – ксенолит метаморфических пород в АКБ; Г – вмещающие алевропесчаники моркокинской свиты позднего кембрия в зоне контакта с кимберлитовой трубкой; Д – геологический разрез по [5]: 1 – автолитовая кимберлитовая брекчия, 2 – порфиновый кимберлит, 3 – долериты дотрубочной дайки, 4 – щелочные базиты, 5 – брекчированные породы, 6 – вмещающие породы раннего палеозоя, 7 – предполагаемые границы. Фото К.М. Константинова

исследований с целью формирования корректной модели месторождения.

Огромную помощь в решении этих вопросов могут оказать петро- и палеомагнитные исследования, которые способны расшифровать историю геологических процессов по содержащейся в горных породах магнитной записи [6]. Именно этим объясняется актуальность проведения петрофизического (главным образом магнитных параметров) мониторинга кимберлитов по мере роста карьера Нюрбинский с момента вскрытия трубки в 2002 г. В статье приводятся петро- и палеомагнитные данные, полученные по апрель 2016 г. включительно, т. е. за 14 лет изучения.

### Объекты исследования

В процессе петрофизического мониторинга месторождения Нюрбинский на разных горизонтах карьера отбирались ориентированные в современной системе координат образцы [6] из АКБ накынского интрузивного комплекса  $\text{D}_3\text{--C}_1\text{nk}$ , дотрубочных даек долеритов виллоиско-мархинского интрузивного комплекса  $\beta\text{PZ}_2\text{vm}$ , терригенно-карбонатных пород моркокинской свиты позднего кембрия  $\text{E}_3\text{mrk}$  и перекрывающих их песчаников нижней юры укугутской ( $\text{J}_1\text{uk}$ ) свиты (рис. 1, А). Для этой цели выбирались коренные выходы горных пород только с ненарушенным залеганием (рис. 1, Б–Г). Изученный интервал составил  $\approx 300$  м (с гор. +250 до гор. –57, здесь и далее абсолютные отметки), а количество образцов – более 400 шт.

АКБ (рис. 1, Б,В) представляют собой мелко- и среднепорфировые породы зеленовато- или голубовато-серого цвета [1, 4]. Их характерной особенностью является постоянное присутствие мелких обломков вмещающих пород, содержание которых варьирует от 5 до 18 %. Ксенолиты метаморфических пород (рис. 1, В) распределены в кимберлитах трубки неравномерно, содержание их колеблется в пределах 1–10 %. Ксенолиты мантийных пород (эклогиты, гранатовые серпентиниты, пироксениты и глиммериты-слюдиты) встречаются крайне редко (около 0,1%). Практическое отсутствие ксенолитов дотрубочных субщелочных долеритов  $\beta\text{PZ}_2\text{vm}$ , согласно модели формирования трубки Нюрбинская (рис. 1, Д) [5], вероятно объясняется тем, что кровля их интрузии вначале была срезана ПК, которые позднее были распылены АКБ. Палеомагнитные исследования ксенолитов ставились с целью доказательства природы характеристических компонент ЕОН кимберлитов на основе теста «конгломератов» [6].

Породы терригенно-карбонатного комплекса моркокинской свиты (рис. 1, Г) изучались с целью установления зон развития эпигенетиче-

ских изменений, вызванных формированием трубки взрыва. Предполагалось, что магнитные минералы вмещающих пород могут так же зафиксировать вектор естественной остаточной намагниченности (ЕОН,  $I_n$ ) времени внедрения кимберлитов, что можно было подтвердить с помощью теста «обжига» [6].

Дотрубочные дайки субщелочных долеритов (рис. 1, А) характеризуются специфическими магнитными характеристиками, позволяющими идентифицировать их среди других образований виллоиско-мархинского интрузивного комплекса [7]. По ним получен надежный палеомагнитный сигнал, который соответствует позднесилурийской–раннедевонской ( $S_2\text{--D}_1$ ) эпохе тектономагнитической активизации на Сибирской платформе.

### Методика работ

Лабораторные исследования проводились в лабораториях НИГП АК «АЛРОСА» ПАО (г. Мирный), ИЗК СО РАН (г. Иркутск) и КФУ (г. Казань), оснащенных современной аппаратурой: автоэмиссионный электронный микроскоп высокого разрешения серии TESCAN MIRA 3 LMU, многофункциональный каппа-мост МФК1-FA, рок-генератор JR-6, вибромагнитометр, установки по размагничиванию переменным магнитным полем LDA-5 и температурой ММТD80А и др. Обработка и интерпретация данных выполнены по специализированным программам [8, 9].

### Результаты работ

В ходе изучения кимберлитов трубки Нюрбинская получены следующие материалы:

1. Электронно-микроскопические изображения и компонентный химический состав минералов-носителей намагниченности (рис. 2). В АКБ к ним относятся магнетит и, вероятнее всего, пирротин (магнитный колчедан) в ассоциации с пиритом (железный колчедан).

2. Спектр значений плотностных и магнитных параметров (табл. 1). С глубиной в АКБ наблюдаются незначительные увеличения плотностных ( $\sigma$  от 2361 до 2455  $\text{кг/м}^3$ ) и магнитных (от  $\alpha$  от 25 до  $43 \cdot 10^{-5}$  СИ,  $I_n$  от 5 до  $18 \cdot 10^{-3}$  А/м и фактор Q от 0,2 до 0,92) параметров, что в большей степени определяется затуханием гипергенных процессов. По петромагнитным характеристикам кимберлиты Накынского поля заметно отличаются от кимберлитов из других районов ЯАП [10, 11]. В целом направления векторов  $I_n$  кимберлитов трубки Нюрбинская обладают отрицательной полярностью ( $J_{sp} \approx -25^\circ$ ). Это может быть связано как с хорошей сохранностью первичной ЕОН кимберлитов, так и перемагничиванием прорывающей трубку дайкой щелочных долеритов. Породы раннего палеозоя  $\text{E}_3\text{mrk}$  и  $\text{E}_3\text{--}$



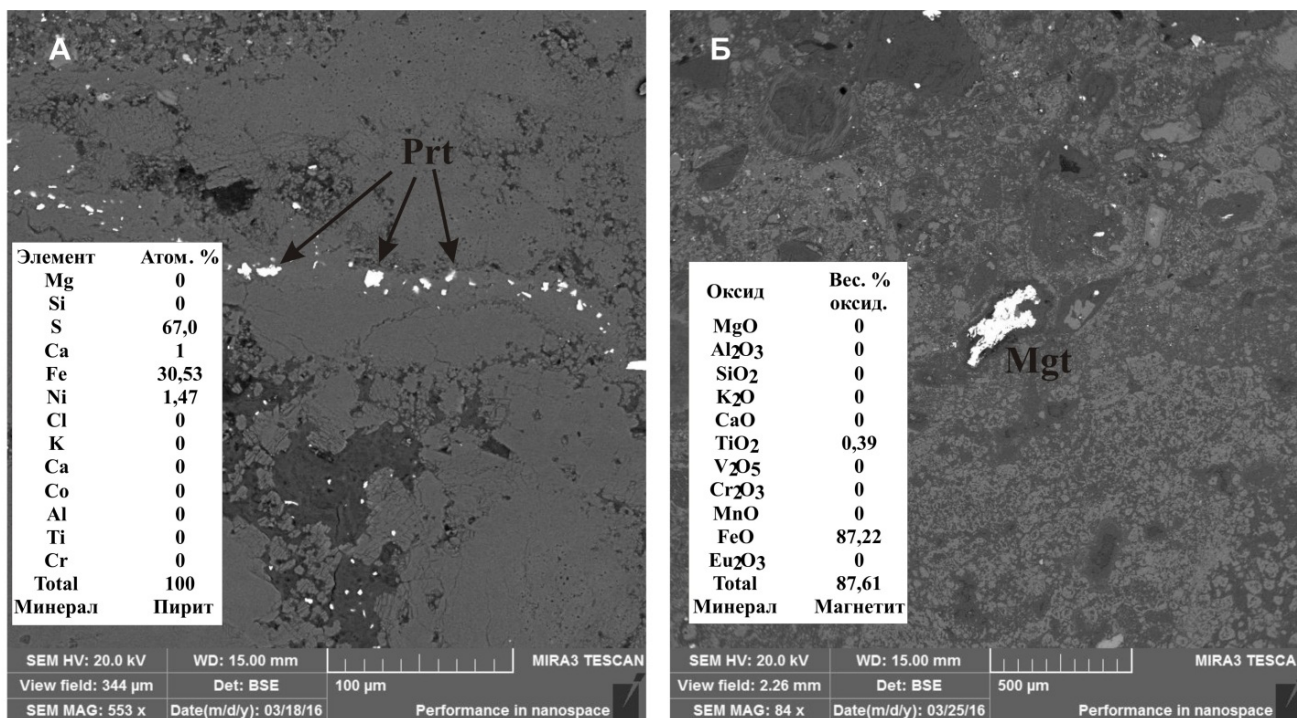


Рис. 2. Электронно-микроскопические изображения наноструктур и состав минералов основной массы АКБ трубки Нюрбинская: А – обр. Nb15-103; Б – обр. Nb15-118

O<sub>101</sub> относятся к практически немагнитным образованиям:  $\alpha < 5 \cdot 10^{-5}$  СИ,  $In < 1 \cdot 10^{-3}$  А/м и фактор  $Q < 0,2$ . Особенностью алевропесчаников является то, что в них встречаются пологие отрицательные векторы ЕОН северного направления ( $J_{cp} \approx -26^\circ$ )! Чаще всего такие векторы присутствуют непосредственно в ближней зоне (до 1 м), что свидетельствует об их «обжиге» кимберлитами.

3. Тензоры анизотропии магнитной восприимчивости (АМВ) [12]. Как и следовало ожи-

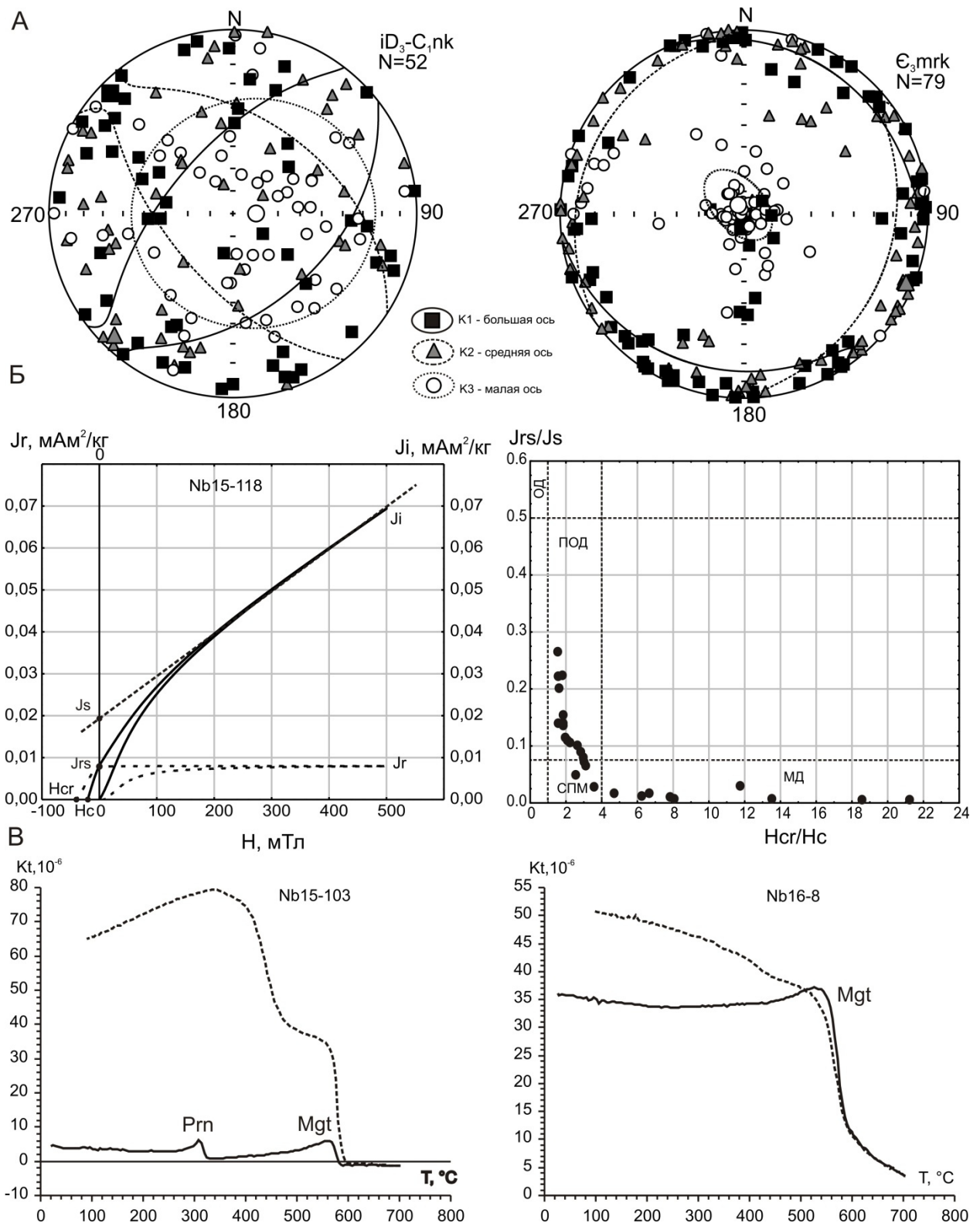
дать, в АКБ наблюдается хаотичное распределение осей эллипса АМВ (рис. 3, А), что определяется специфическими условиями их формирования. В то же время в осадочных образованиях моркокинской свиты могут одновременно присутствовать «осадочный» (малые оси К3 субвертикальные, а плоскость магнитного расщепления, образованная осями К1 и К2, субгоризонтальная) и «метаморфический» (большие оси К1 субвертикальные) типы АМС. Послед-

Таблица 1

Спектр магнитных параметров структурно-вещественных комплексов месторождения трубки Нюрбинская в «естественном залегании»

Тип пород возраст (горизонт)	N	$\alpha$ 10 <sup>-5</sup> СИ	In			Q, ед.
			In 10 <sup>-3</sup> А/м	Dcp, °	Jcp, °	
Песчаники J <sub>1uk</sub> (+200)	36	55	5	345	40	0,15
АКБ, tD <sub>3</sub> -C <sub>1nk</sub> (?) (+55)	152	30	5	5	-20	0,22
АКБ, tD <sub>3</sub> -C <sub>1nk</sub> (?) (+35)	182	25	5	0	-25	0,20
АКБ, tD <sub>3</sub> -C <sub>1nk</sub> (?) (-20)	40	34	7	357	-42	0,42
АКБ, tD <sub>3</sub> -C <sub>1nk</sub> (?) (-40)	73	40	18	2	-19	0,92
АКБ, tD <sub>3</sub> -C <sub>1nk</sub> (?) (-57)	62	43	14	4	-12	0,65
Известняки, E <sub>3</sub> -O <sub>101</sub> (+150)	26	1	0,1	345	45	0,05
Алевропесчаники, E <sub>3</sub> mrk (+100 ÷ +35)	118	5	1	350	20	0,19
Алевропесчаники, E <sub>3</sub> mrk (-20)*	21	12	5	354	-26	0,83
Алевропесчаники, E <sub>3</sub> mrk (-20)	12	11	2	347	22	0,39
Алевропесчаники, E <sub>3</sub> mrk (-35)	59	10	2	340	30	0,37
	781					

Примечание. N – количество кубиков. \*Образцы E<sub>3</sub>mrk из зоны «обжига».



**Рис. 3.** Результаты магнитоминералогических исследований АКБ трубки Нюрбинская: А – анизотропия магнитной восприимчивости; Б – магнитный гистерезис по остаточной намагниченности ( $J_r$ ) и индуцированной намагниченности ( $J_i$ ), диаграмма Дея: ПОД, МД и СПМ – области ферромагнитных частиц, соответственно, псевдооднодоменная, многодоменная и суперпарамагнитная; В – термомагнитнограммы магнитной восприимчивости (сплошная/пунктирная линия – процесс нагрева/охлаждения образца), Prn и Mgt – соответственно, пирротин и магнетит

ний факт свидетельствует, что первичная магнитная текстура осадков нарушена эпигенетическими изменениями, вызванными, возможно, внедрением кимберлитовой трубки.

4. Гистерезисные параметры: намагниченности насыщения ( $J_s$  и  $J_{rs}$ ) и коэрцитивные силы ( $H_c$  и  $H_{cr}$ ) [13]. Согласно диаграмме Дея, после снятия парамагнитной составляющей большинство зерен ферромагнитных минералов характеризуются псевдооднодоменной структурой (рис. 3, Б), что является одним из благоприятных условий хорошей «магнитной памяти» (ископаемый магнетизм) изученных кимберлитов.

5. Точки Кюри. По данным термомагнитного анализа  $\chi=f(T)$  основными минералами носителями намагниченности являются пирротин и магнетит с точками Кюри, соответственно  $\approx 325$  и  $\approx 570$  °С (рис. 3, В), что подтверждается и данными электронной микроскопии (п. 1, рис. 2).

6. Векторы характеристической ЕОН (табл. 2). Результаты компонентного палеомагнитного анализа [6], выполненные на основе пошаговых размагничиваний переменным магнитным полем и температурой (рис. 4), установили в АКБ две характеристические компоненты  $P$  и  $M$ . Первая разрушается до 350 °С (обр. Nb15\_108t2), вторая – до 550 °С (обр. Nb14\_32t2). Последовательность разрушения компонент наблюдается у обр. Nb14\_27t2, где в интервале температур от

250 до 350 °С снимается компонента  $P$ , а с 450 до 550 °С – компонента  $M$ . В некоторых случаях компонента  $M$  обнаруживается и в алевропесчаниках моркокинской свиты от 100 до 550 °С (обр. Nb11\_46t2), для которых в интервале 550–700 °С установлена характеристическая компонента  $C3$  (обр. Nb15\_120t2). Компонента  $P$  в осадках позднего кембрия не встречена. Палеомагнитные данные в комплексе с материалами электронной микроскопии (рис. 2) и термомагнитного анализа (рис. 3, В) подтверждают, что носителем компоненты  $P$  является пирротин, а компонента  $M$  – магнетит. Носителем характеристической компоненты вмещающих пород  $C3$  служит гематит. Некоторые ксенолиты могут сохранять характеристические векторы ЕОН, отличные от вмещающих их АКБ (обр. Nb15\_109t4), что так же свидетельствует об отсутствии наложенных процессов, способных стереть компоненты  $M$  и  $P$ .

### Обсуждение результатов

Природа компонента  $M$  в АКБ первичная. Она доказывается петромагнитными характеристиками (табл. 1), тестами «обжига» и «ксенолитов» (рис. 4). В породах верхнего кембрия компонента  $M$  – метахронная, она могла образоваться как за счет внедрения кимберлитов, так и дотрубочных долеритов [7]. Статистически для этих тел компонента  $M$  не разделима (табл. 2) [10]. Однако

Т а б л и ц а 2

Палеомагнитные направления и полюсы горных пород месторождения алмазов трубки Нюрбинская ( $\varphi=65^{\circ}02'$ ;  $\gamma=117^{\circ}04'$ )

Тип пород, компонента	N/n	Dcp, °	Jcp, °	k, ед.	$\alpha_{95}$ , °	$\Phi$ , °	$\Lambda$ , °	dp/dm, °	fm, °
Алевропесчаники моркокинской свиты, $E_{3mrk}$ комп-та $C3$	-/37	346,6	24,5	21,4	5,2	-37	133,4	3,0/5,6	-13
Алевропесчаники моркокинской свиты, $E_{3mrk}$ комп-та $M$	-/21	357,5	-25,2	22,9	6,8	-11,7	119,5	3,9/7,3	13
Кимберлиты, комп-та $M$	-/68	7,0	-23,6	16,1	4,4	-12,5	110,0	2,5/4,7	12
Кимберлиты, комп-та $P$	-/35	23,1	-55,2	20,4	5,5	12,1	98,0	5,5/7,8	36
Долериты, комп-та $M$ [7]	6/-	5,0	-13,4	51,8	9,4	-18,1	111,8	4,9/9,6	7
Реперные полюсы									
Алевропесчаники верхоленской свиты, $E_{3vl}$ [14]						-37	132	3,7/7,3	-5
Кимберлиты, базиты $D_3-C_1$ [11]						11	150	8,9	31
Базальты, $D_{3ap}$ [15]						1,6	92,3	4,5/7,2	26
Долериты, рудник Мир [7]						-0,4	96,6	8,3/13,3	26

**Примечание.** N/n – количество сайтов/образцов, участвующих в статистике. Параметры группировки векторов характеристической ЕОН: склонение – Dcp, наклонение – Jcp, кучность – k и радиус круга доверия –  $\alpha_{95}$ . Палеомагнитный полюс: широта –  $\Phi$ , долгота –  $\Lambda$ , доверительные интервалы – dp/dm и палеоширота – fm.

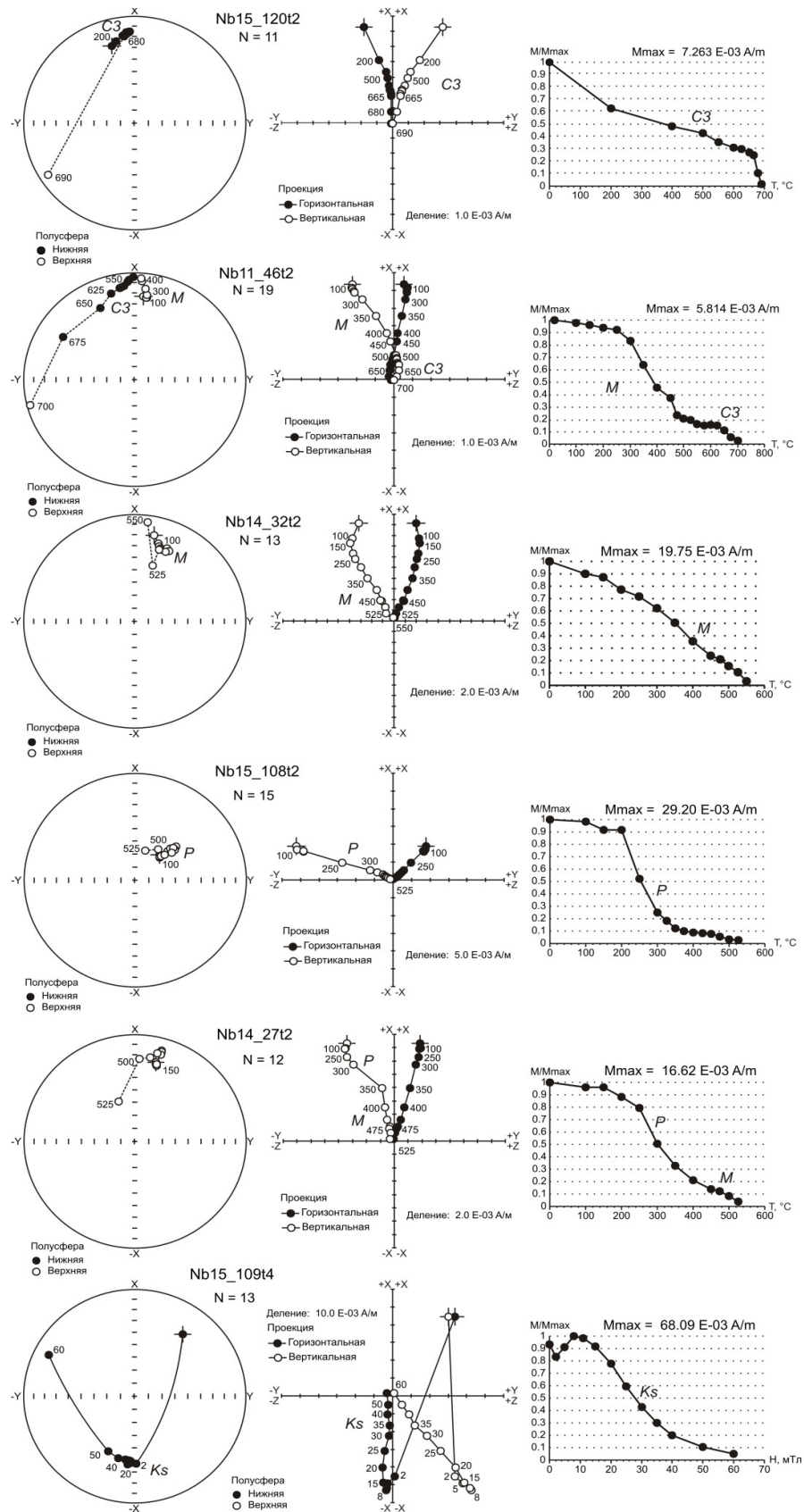


Рис. 4. Результаты лабораторных экспериментов по размагничиванию кимберлитов и вмещающих их образований моркокинской свиты позднего кембрия месторождения трубки Нюрбинская: цифры – величина физического воздействия, разрушающая вектор ЕОН (температура или переменное магнитное поле); C3, M, P и Ks – характеристические компоненты ЕОН, соответственно, «позднекембрийская» (рис. 1, Г), «магнетитовая», «пирротиновая» (рис. 1, Б) и «ксеногенная» (рис. 1, В). Пояснения см. в тексте



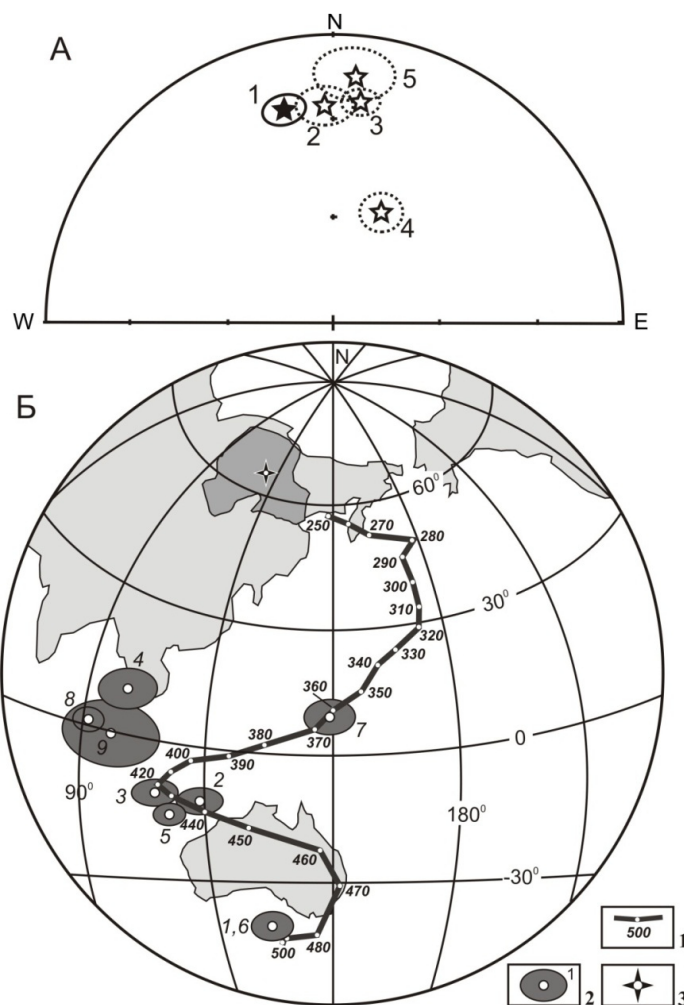
компонента *M* встречается в алевролитах на значительных расстояниях от долеритов (даже там, где их нет – на горизонтах выше 10 м). В этом случае ее образование, вероятнее всего, связано с более мощным процессом, таким как формирование трубки взрыва.

Природа компоненты *P* в АКБ метахронная. Она отсутствует в породах верхнего кембрия и, вероятнее всего, обязана своему образованию посттрубочной дайке щелочных долеритов [1, 2, 4, 5].

Природа компоненты *S3* первичная. Специальных исследований по ней пока не проводилось, но ее векторы соответствуют первичным в алевропесчаниках верхоленской свиты [14].

На основе полученных кластеров (табл. 2, рис. 5, А) для структурно-вещественных комплексов (СВК) месторождения трубки Нюрбин-

ская рассчитаны палеомагнитные полюсы, которые сопоставлены с полюсами других ранне- и среднепалеозойских объектов: кимберлиты, базиты и алевропесчаники верхоленской свиты (рис. 5, Б). Полюсы для позднекембрийских пород (№ 1 и 6) совпадают между собой и с отметкой 500–490 млн. лет траектории кажущейся миграции полюса (ТКМП) Сибирской платформы [16]. Полюсы с компонентой *M* для АКБ (№ 3), алевропесчаников моркокинской свиты (№ 2) и дотрубочных даек (№ 5) образуют практически одну группу. Палеомагнитный возраст этих событий по ТКМП оценивается в интервале 440–420 млн. лет и может соответствовать позднесилурийской–раннедевонской ( $S_2$ – $D_1$ ) эпохе тектономагматической активизации в ЯАП [17]. Последнее говорит о том, что образование



**Рис. 5.** Палеомагнитные направления векторов характеристической ЕОН (А) и рассчитанные по ним полюсы (Б) для СВК, слагающих месторождение алмазов трубки Нюрбинская: 1 – траектория кажущейся миграции полюса Сибирской платформы по [16], цифры – геологический возраст, млн. лет; 2 – палеомагнитные полюсы (номера согласно табл. 2); 3 – район исследований

компоненты *M* обусловлено одним процессом, в силу чего мы имеем близкие временные показатели. Полнос компонента *P* (№ 4), соответствующий времени внедрения дайки щелочных базитов [2], согласуется с полюсами № 8 аппаинской свиты позднего девона (385–375 млн. лет) и № 9 дайки долеритов, секущейся кимберлитовой трубкой Мир ( $\approx$ 360 млн. лет) [18].

Интерпретация полученных данных позволяет выстроить следующую динамическую модель образования ЕОН в СВК месторождения трубки Нюрбинская:

- на первом этапе сформировалась ориентационная ЕОН – компонента *S3*, сингенетичная порода моркокинской свиты;

- на втором этапе (конец силура – начало девона) происходит внедрение в терригенно-осадочные образования платформенного чехла докрупных субщелочных базитов [7];

- третий этап протекал чуть позже второго и характеризуется становлением кимберлитовой трубки Нюрбинская. С этими процессами связано образование компонента *M* в АКБ и вмещающих породах раннего палеозоя;

- с четвертым этапом (фран) связано внедрение дайки щелочных базитов, которые образовали метакронную компоненту *P* в кимберлитах.

### Заключение

Комплексные исследования СВК, слагающих месторождения алмазов трубки Нюрбинская, позволили сделать следующие выводы:

1. Изменения петромагнитных параметров с глубиной, прежде всего, определяются процессами выветривания кимберлитов и, в меньшей степени, пострудной дайкой щелочных базитов.

2. Кимберлиты зафиксировали и сохранили две характеристические компоненты: «магнетитовую» *M* – первичную (синхронная внедрению кимберлитовой трубки) и «пирротитовую» *P* – метакронную (синхронная внедрению пострудной дайки щелочных базитов).

3. Палеомагнитные полюсы, рассчитанные по компоненте *M* кимберлитов и алевролитов, достаточно хорошо согласуются с полюсом докрупных долеритов, что свидетельствует о близком времени внедрения магматитов. Согласно палеомагнитному датированию, время их становления соответствует позднесилурийской–раннедевонской ( $S_2$ – $D_1$ ) эпохе.

Изучение кимберлитов, базитов и вмещающих пород раннего палеозоя в Среднемархинском районе ЯАП продолжается по мере углубления карьеров. Работы ведутся при финансовой поддержке АК «АЛРОСА» (ПАО).

Авторы выражают благодарность за помощь в работе директору НИГПИ Герасимчуку

*А.В., директору Нюрбинского ГОКа Уварову И.А., главному геологу Нюрбинского ГОКа Мухомлеву В.Г., участковым геологам Дегтяреву И.В., Петрову А.Х.*

### Литература

1. Костровицкий С.И., Спеццус З.В. и др. Атлас коренных месторождений алмаза Якутской кимберлитовой провинции / Отв. редактор ак. Н.П. Похиленко. НИГПИ АК «АЛРОСА» (ПАО). Мирный: ООО «МГТ», 2015. 480 с.
2. Киселев А.И., Ярмолюк В.В., Иванов А.В. и др. Пространственно-временные отношения среднепалеозойских базитов и алмазоносных кимберлитов на северо-западном плече Вилюйского рифта (Сибирский кратон) // Геология и геофизика. 2014. Т. 55, № 2. С. 185–196.
3. Константинов К.М., Иванюшин Н.В. и др. Петрофизическая модель кимберлитовой трубки Комсомольская // Геофизика. 2004. № 6. С. 50–53.
4. Харькив А.Д., Зинчук Н.Н., Крючков А.И. Коренные месторождения алмазов мира. М.: Недра, 1998. 555 с.
5. Tomshin M.D., Travin A.V., Konstantinov K.M. The sequence of magmatic events within the Nakyn kimberlite field / Large Igneous Provinces, Mantle Plumes and Metallogeny in the Earth's History (Abstract Volume). September 1–8, 2015. Irkutsk – Listvyanka, Russia – Irkutsk: Publishing House of V.V. Sochava institute of Geography SB RAS, 2015. P. 128–129.
6. Храмов А.Н., Гончаров Г.И., Комиссарова Р.А. и др. Палеомагнитология. Л.: Недра, 1982. 312 с.
7. Константинов К.М., Ибрагимов Ш.З. и др. Палеомагнетизм докимберлитовых даек долеритов Вилюйско-Мархинской зоны разломов (Якутская алмазоносная провинция) // Наука и образование. 2016. №1. С.13–20.
8. Рид С. Дж. Б. Электронно-зондовый микроанализ и растровая электронная микроскопия в геологии. М.: Техносфера, 2008. 232 с.
9. Enkin R.J. A computer program package for analysis and presentation of paleomagnetic data. Sidney: Pacific Geoscience Centre, Geol. Survey Canada. 1994. 16 p.
10. Константинов К.М., Стегницкий Ю.Б. Позднесилурийская–раннедевонская естественная остаточная намагниченность кимберлитов и траппов Якутской алмазоносной провинции // Докл. АН. 2012. Т. 442, № 3. С. 394–400.
11. Kravchinsky V.A., Konstantinov K.M., Courtillot V. et al. Paleomagnetism of East Siberian traps and kimberlites: two new poles and paleogeographic reconstructions at about 360 and 250 Ma // Geophys. J. Int. 2002. № 48. P. 1–33.
12. Tarling D.H., Hrouda F. The magnetic anisotropy of rocks. London, Chapman & Hall, 1993. 217 p.

13. Day R., Fuller M.D., Schmidt V.A. Hysteresis properties of titanomagnetites: grain size and composition dependence // *Phys. Earth Planet. Inter.* 1977. V. 13. P. 260–267.

14. Константинов И.К., Хузин М.З., Константинов К.М. Палеомагнитные исследования пород верхоленской свиты верхнего кембрия (юг Сибирского кратона) // *Наука и образование.* 2011. № 3. С. 10–15.

15. Константинов К.М., Ибрагимов Ш.З., Хузин М.З. и др. Палеомагнитный полюс базальтов аппаинской свиты: репер франа Сибирской платформы // *Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного поя-*

са (от океана к континенту): Мат-лы совещания. Вып. 13. Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2015. С. 122–124.

16. Torsvik T.H., Van der Voo R., Preeden U. et al. Phanerozoic polar wander, palaeogeography and dynamics // *Earth-Science Reviews* 114. 2012. P. 325–368.

17. Брахфогель Ф.Ф. Геологические аспекты кимберлитового магматизма северо-востока Сибирской платформы. Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1984. 128 с.

18. Зайцев А.И., Смелов А.П. Изотопная геохронология пород кимберлитовой формации Якутской провинции. Якутск: Офсет, 2010. 108 с.

*Поступила в редакцию 12.05.2016*

УДК. 553.411

## Перспективы золотоносности востока Сибирской платформы

З.С. Никифорова

*Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, г Якутск*

*Обобщение результатов изучения минералого-геохимических особенностей россыпного золота и закономерности его распределения в аллювии осадочного чехла позволили на новом уровне знаний определить перспективы золотоносности востока Сибирской платформы. Учитывая, что россыпная золотоносность не представляет особого промышленного интереса, она может рассматриваться только как объект комплексного освоения добычи алмаза, золота, платины и других полезных компонентов. Проблематичным и, фактически, несостоятельным является тезис о золотоносных конгломератах типа Витватерсранд, погребенных в глубоких горизонтах осадочного чехла востока платформы, поскольку в докембрийских отложениях Якутского сводового поднятия и на других площадях изучаемого региона на сегодня отсутствуют положительные геологические предпосылки, способствующие формированию месторождений подобного типа. Сопоставление типоморфных признаков россыпного золота и закономерности его распределения в пределах ряда древних платформ позволили впервые прогнозировать в данном регионе формирование коренных источников докембрийских месторождений типа Поркьюпайн и Керкленд-Лейк, а также мезокайнозойских – Карлин и Крипл-Крик, известных в пределах Северо-Американской платформы.*

Ключевые слова: минералогия россыпного золота, индикаторные признаки, золоторудные формации, золоторудные месторождения, восток Сибирской платформы.

## Prospects for Gold of the Eastern Siberian Platform

Z.S. Nikiforova

*Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, Yakutsk*

*Generalization of the results of studies of mineralogical-geochemical features of placer gold and regularities of its distribution in alluvium of sedimentary cover allowed us to define prospects of gold content of the eastern Siberian platform on a new level of knowledge. Since placer gold content does not represent commercial interest, it*