

В. Г. КОЛОКОЛЬЦЕВ, И. В. ОСАДЧИЙ, А. Н. ХАБАРОВ (ВСЕГЕИ)

Формация железистых кварцитов в кристаллическом фундаменте Непско-Ботуобинской антеклизы, Республика Саха (Якутия)

Впервые приведена минералого-петрографическая характеристика гематит-магнетитовых руд, вскрытых двумя нефтепоисковыми скважинами в своде Непско-Ботуобинской антеклизы на глубине около 1,5 км. Раскрыты геологические условия расположения двух глубокозалегающих железорудных месторождений, позволяющие допустить их вероятную принадлежность к архейско-протерозойской формации железистых кварцитов. Показана важная роль этой формации в ранневендском геоморфогенезе. По трем скважинам приведены результаты U-Pb датирования цирконов из гранитоидов, окружающих железистые кварциты. Полученные оценки возраста, отвечающие кристаллизации родоначальных для гранитоидов расплавов (2005 ± 12 , 1969 ± 13 и 1857 ± 6 млн лет), указывают на их раннепротерозойский возраст. На основании полученных материалов высказано предположение о вероятной связи охарактеризованной формации с позднеархейско-раннепротерозойской борсалинской серией, широко распространенной на Алданском щите.

Ключевые слова: гематит-магнетитовые руды, формация железистых кварцитов, борсалинская серия, геоморфогенез, U-Pb изотопное датирование цирконов, ранний протерозой, Непско-Ботуобинская антеклиза.

V. G. KOLOKOL'TSEV, I. V. OSADCHIY, A. N. KHABAROV (VSEGEI)

Ferruginous quartzite formation in the crystalline basement of the Nepa-Botuoba antecline, Republic of Sakha (Yakutia)

Mineralogical and petrographic characteristics of hematite-magnetite ore discovered by two oil prospecting wells in the dome of the Nepa-Botuoba antecline at a depth of about 1,5 km are discussed for the first time. Geological conditions of two deep-seated iron deposits are identified; they suggest that the latter probably belong to the Archean-Proterozoic ferruginous quartzite formation. The important role of this formation in the Early Vendian geomorphogenesis is shown. Results of U-Pb dating of zircons from granitoids surrounding ferruginous quartzite obtained from three wells are presented. The derived ages corresponding to the crystallization of melts parental for granitoids (2005 ± 12 , 1969 ± 13 , and 1857 ± 6 Ma) indicate their Early Proterozoic age. On the basis of the obtained materials, probable relationship of the described formation with the Late Archean-Early Proterozoic Borsalinsky Series, widespread in the Aldan Shield, was suggested.

Keywords: hematite-magnetite ore, ferruginous quartzite formation, Borsalinsky series, geomorphogenesis, U-Pb isotope zircon dating, Early Proterozoic, Nepa-Botuoba antecline.

Для цитирования: Колокольцев В. Г., Осадчий И. В., Хабаров А. Н. Формация железистых кварцитов в кристаллическом фундаменте Непско-Ботуобинской антеклизы, Республика Саха (Якутия) // Региональная геология и металлогения. — 2022. — № 89. — С. 22–32. DOI: 10.52349/0869-7892_2022_89_22-32

Введение. Непско-Ботуобинская антеклиза (НБА) находится на юго-восточной окраине Сибирской платформы и простирается в северо-восточном направлении почти на 1000 км. Морфология этой погребенной структуры, заложенной в начале венда, существенно изменена в процессе среднепалеозойской тектонической перестройки [4] и в современном структурном плане практически не выражена. В пределах НБА открыты десятки нефтегазовых месторождений. Они приурочены к вендскому терригенному и вендско-кембрийскому карбонатному подсолевым комплексам, которые со структурным несогласием залегают на сложнодислоцирован-

ном кристаллическом фундаменте, представленном метаморфическими породами и разнообразными гранитоидами. В Сибири и на Дальнем Востоке в составе фундамента особое положение занимают железистые кварциты, многие из которых являются крупными промышленными месторождениями магнетитовых и гематит-магнетитовых руд. Раннедокембрийские железистые кварциты не только сырье для развития железорудной базы. Это и стратиграфические маркеры геологических образований раннего докембрия, и уникальные естественно-исторические объекты, позволяющие уточнить наше представление об «особенностях эволюции Земли» [3, с. 38].

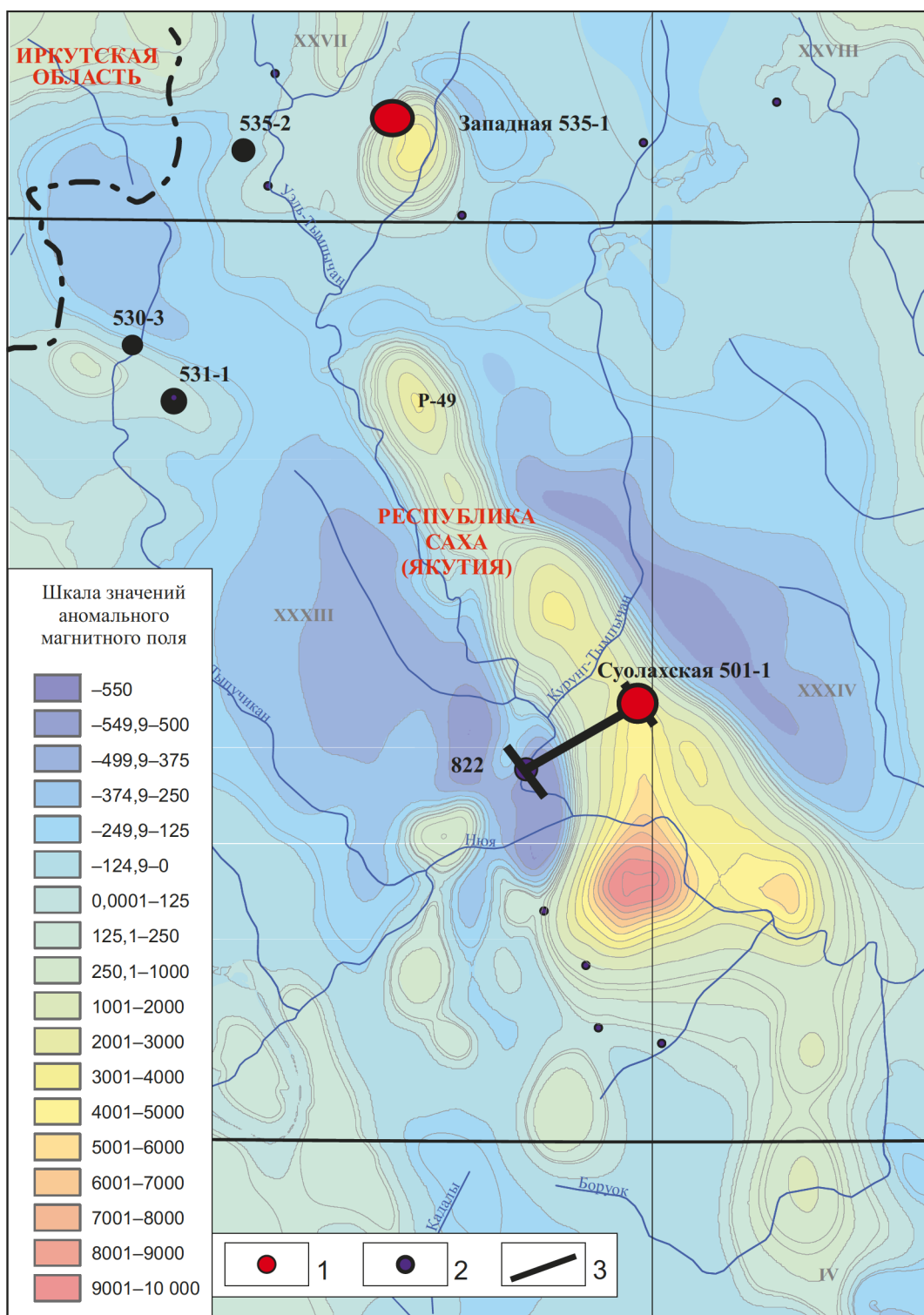


Рис. 1. Карта аномального магнитного поля и расположение скважин

1 – скважины, вскрывшие железные руды; 2 – прочие скважины, упоминаемые в тексте; 3 – линия палеогеоморфологического профиля

Если не считать тезисной информации [7], сведения о формации железистых кварцитов в кристаллическом фундаменте НБА до сих пор отсутствуют. В своде НБА они впервые вскрыты в наиболее приподнятых выступах фундамента, которые возвышались в ранневендском морском бассейне в виде островов. Отсюда понятно, что обсуждаемая формация являлась еще и одним из

важных факторов древнего (вендского) геоморфогенеза. В данном сообщении характеристика железистых кварцитов приводится по материалам двух нефтепоисковых скважин, пробуренных ПАО «Сургутнефтегаз». Обратим внимание, что железные руды, вскрытые одной из этих скважин, упоминались еще в 2014 г. С. Б. Шадриной с коллегами в связи с изучением природы пустотного

пространства в нефтяных коллекторах [8], но в той публикации они, по нашему мнению, ошибочно ассоциируются с более молодыми месторождениями Ангаро-Илимского бассейна, которые, как известно [2], возникли под воздействием пермо-триасового магматизма.

Формация железистых кварцитов вскрыта скв. Суолахская 501-1 (рис. 1) под вендской доломит-ангидритовой толщей на глубине 1509,3–1612 м. Железорудные породы формации служат и забоем этой нефтепоисковой скважины.

В основании венда (в интервале глубин 1506,8–1509,3 м) по керну выделена дресвяно-щебневая брекчия, сложенная крепко сцементированными угловатыми и полуокатанными обломками полосчатых и полосчато-плойчатых гематит-магнетит-лимонитовых руд, микрокварцитов, мусковит-серицитовых сланцев и пород железисто-карбонатного состава. Дресвяно-щебневая брекчия залегает на эродированной поверхности железистых кварцитов. Она рассечена разноориентированными сульфатными и сульфатно-карбонатными прожилками. Структурно-текстурный облик, состав обломков, залегание на выветрелых (лимонитизированных) железных рудах, постепенный переход к вышележащим вендским доломит-ангидритовым породам – все это позволяет идентифицировать изучаемую пачку делювиально-пролювиальным шлейфом, окаймляющим древнюю кору выветривания. Он мог сформироваться за счет разрушения и оползания по склону продуктов выветривания гематит-магнетит-слюдисто-кварцевой толщи в ранневендскую эпоху. Поскольку в регионе широко распространены разновозрастные дизъюнктивные дислокации, то даже маломощные сохранившиеся от эрозии делювиально-пролювиальные отложения имеют очень большое значение: их присутствие позволяет довольно уверенно отнести вскрытый этой скважиной контакт поздневендских осадочных пород с раннедокембрийскими метаморфическими к несогласному стратиграфическому, а не к тектоническому.

Залегające под делювиально-коллювиальным шлейфом коренные магнетит-гематит-кварцевые породы контрастно выделяются в керне полосчатыми и полосчато-плойчатыми текстурами, субвертикальными углами падения с элементами опрокинутого залегания и широким спектром разнообразных сложных складок (рис. 2). По данным геофизических исследований скважин (ГИС), формация железистых кварцитов характеризуется низкими значениями естественной радиоактивности (кривая ГК (GR) до 1,5 мкр/ч) и пониженными – наведенной радиоактивности (2,6–3,0 мкр/ч). По акустическому каротажу интервальное время пробега продольной волны составляет 170–180 мкс/м. Для интервала железистых кварцитов показательна очень высокая дифференциация значений кажущегося удельного сопротивления, варьирующихся от 360 до 9,5 Ом·м.

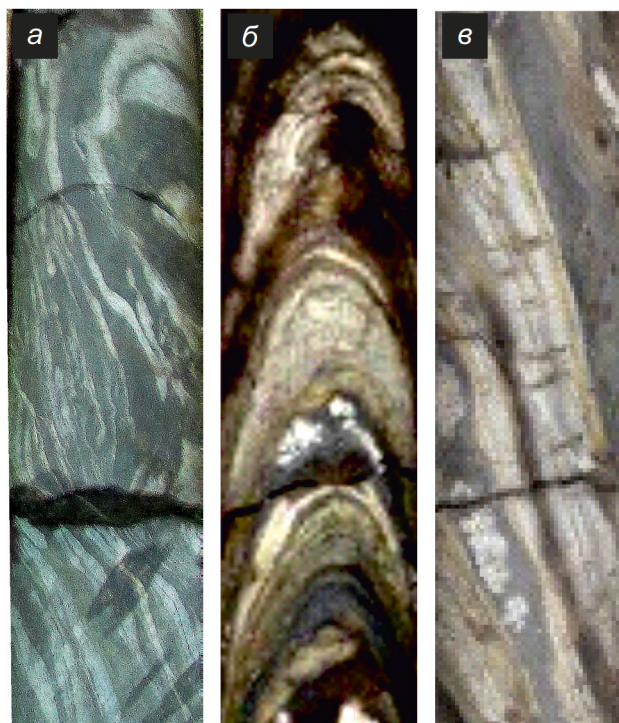


Рис. 2. Полосчато-плойчатая (а, б) и параллельно-полосчатая (в) текстуры пород формации железистых кварцитов. Фото керна

Интервал железистых кварцитов – 102 м. Их истинную мощность определить очень трудно из-за крутых (близких к вертикальным) углов падения слоистости, изоклиальных прямых и опрокинутых складок и т. п. Общеизвестно, что толщины подобных докембрийских формаций измеряются сотнями метров и достигают первых километров.

В составе пород железисто-кремнистой формации преобладают кварц, магнетит, гематит. В значительных количествах присутствуют биотит, гидрослюды, сидерит, сидероплезит, кальцит, пирит, минералы из группы амфиболов куммингтонит-грюнеритового ряда. В керне различаются пять минерально-текстурных разновидностей железистых пород: кварц-магнетит-гематитовые полосчатые, кварц-карбонатно-магнетитовые полосчатые, кварц-слюдисто-магнетитовые линзовидно-полосчатые, микрополосчатые и кварц-магнетитовые плойчатые (рис. 3).

Доминирующим рудообразующим минералом в изучаемой формации является магнетит, концентрация которого в шлифах достигает и нередко превышает 50%. Размеры кристаллов магнетита колеблются в широких пределах от 0,1 до 1–2 мм. Магнетит замещен мартитом, доля которого быстро уменьшается с глубиной по мере удаления от предвендского эрозионного среза. Близ древней дневной поверхности зерна магнетита более чем наполовину замещены мартитом (рис. 4, а), встречаются здесь и нацело мартитизированные кристаллы без видимых следов исходного магнетита. На 40 м глубже вендской земной палеоповерхности доля маррита в магнетитовых

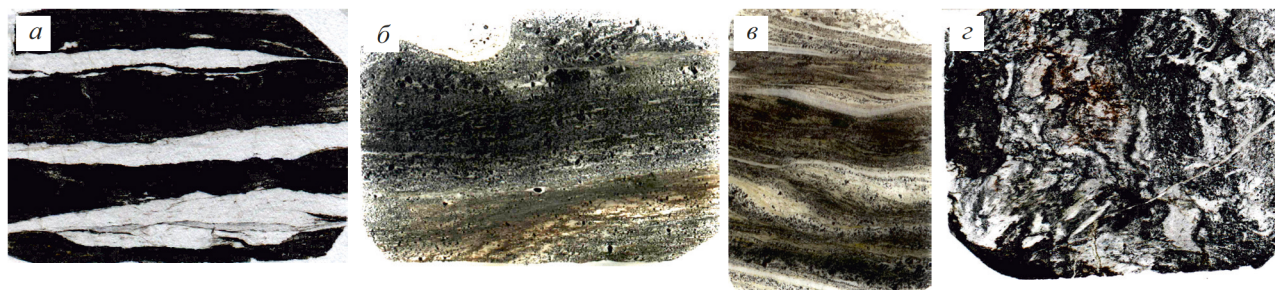


Рис. 3. Структурно-вещественные разновидности железорудных пород. Сканограммы шлифов, скв. 501-1

a – кварц-гематит-магнетитовая полосчатая; *б* – кварц-карбонат-магнетитовая полосчатая; *в* – кварц-сланцисто-магнетитовая линзовидно-полосчатая; *г* – кварц-магнетитовая плойчатая

Рентгеноспектральный флуоресцентный анализ (XRF) магнетит-гематитовой руды

Номер пробы	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃ общ	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	п.п.п.	Сумма	V	Ba	Fe ₂ O ₃	FeO
501-1П/25	47,1	0,34	<,01	47,5	0,032	0,51	0,5	0,19	0,073	0,1	3,71	100	0,0051	0,0068	42	4,98
501-1П/27	46,3	0,42	<,01	47,9	0,045	2,8	0,2	0,16	0,091	0,09	1,1	100	<,005	<,005	34,3	12,3
Нижний предел	0,02	0,05	0,01	0,01	0,01	0,1	0	0,1	0,01	0,05	0,1		0,005	0,005	0,3	0,25

зерна уменьшается до первых процентов. Химический состав гематит-магнетитовой руды по двум керновым пробам приведен в таблице.

В железной руде кроме мартитовой разновидности присутствует и другой гематит, представленный игольчатыми и пластинчатыми кристаллами, образующими секущие жилы и прожилки (рис. 4, *в*, *г*), иногда в парагенезисе с карбонатными (кальцит, доломит) минералами. В небольших количествах (менее 1 %) присутствуют мелкие (до 0,5 мм) зерна пирита (рис. 4, *б*). В вендской коре выветривания и обломках делювиально-коллювиального шлейфа пирит частично (реже полностью) замещен его полиморфной модификацией – марказитом, нередко имеющим радиально-лучистое строение. В кварцевых «слоях» в аншлифах обнаружены единичные мелкие (до 0,07 мм) зернышки халькопирита.

В коре выветривания частично гидратированные магнетит-мартитовые руды содержат лимонит (рис. 4, *д*, *е*). Мощность коры выветривания, диагностируемой по появлению гидроксидов железа группы лимонита, не превышает первых метров. При этом алюмосиликатные и силикатные минералы не несут сколько-нибудь заметных следов гипергенного преобразования.

В формациеобразующих породах отчетливо проявлено полосчатое распределение рудных и разубоживающих компонентов. Безрудные участки (полоски, «слойки») характеризуются большим разнообразием минеральных парагенезисов от мономинеральных кварцевых до сложных поликомпонентных. Для мономинеральных кварцевых «слоек» характерны удлиненные (0,01–0,1 мм) параллельно ориентированные зерна кварца, имеющие плавные округлые границы (рис. 4, *ж*). Они отличаются

высокой прозрачностью, слабоволнистым угасанием и отсутствием видимых включений. В тонкополосчатых амфибол-магнетитовых и биотит-магнетитовых разновидностях железных руд в «слоях» преимущественно силикатного состава обычно присутствуют рассеянные кристаллы магнетита и гематита (рис. 4, *и*), а кварцевые зерна в этих «слоях», как правило, имеют изометричные очертания и зубчатые границы. При больших увеличениях в кварце видны радиально-лучистые сферические и веерообразные агрегаты игольчатых кристаллов амфиболов куммингтонит-грюнеритового ряда (рис. 4, *л*, *м*). Для преимущественно биотитовых «слоек» характерна параллельно ориентированная текстура пластинок этой магнезиально-железистой слюды. Биотит гидратирован и часто карбонатизирован. Для смешанных амфибол-магнетитовых «слоек» (полосок) обычны спутанно-волоконистые агрегаты игольчатого грюнерита (рис. 4, *з*), который, по данным микронзондового исследования, обладает следующим элементным составом (%): Na₂O 0,53, MgO 7,04, SiO₂ 56,22, K₂O 0,68, FeO 34,31, сумма – 98,77. Окруженный агрегатом игольчатого куммингтонита кристалл магнетита (рис. 4, *з*), по данным микронзондового анализа, имеет следующий состав (%): SiO₂ 0,47, K₂O 0,39, FeO 95,16, сумма – 96,02. Возможно, микропримесь кремнекислоты и калия в метакристалле магнетита обусловлена присутствием реликтов протолита, но не исключено, что ее появление – всего лишь артефакт аналитического метода. Для решения этой альтернативы требуются дополнительные исследования.

Для кварц-карбонатных «слоек» характерен сложный парагенезис карбонатных минералов, включающий сидерит, сидероплезит, доломит,

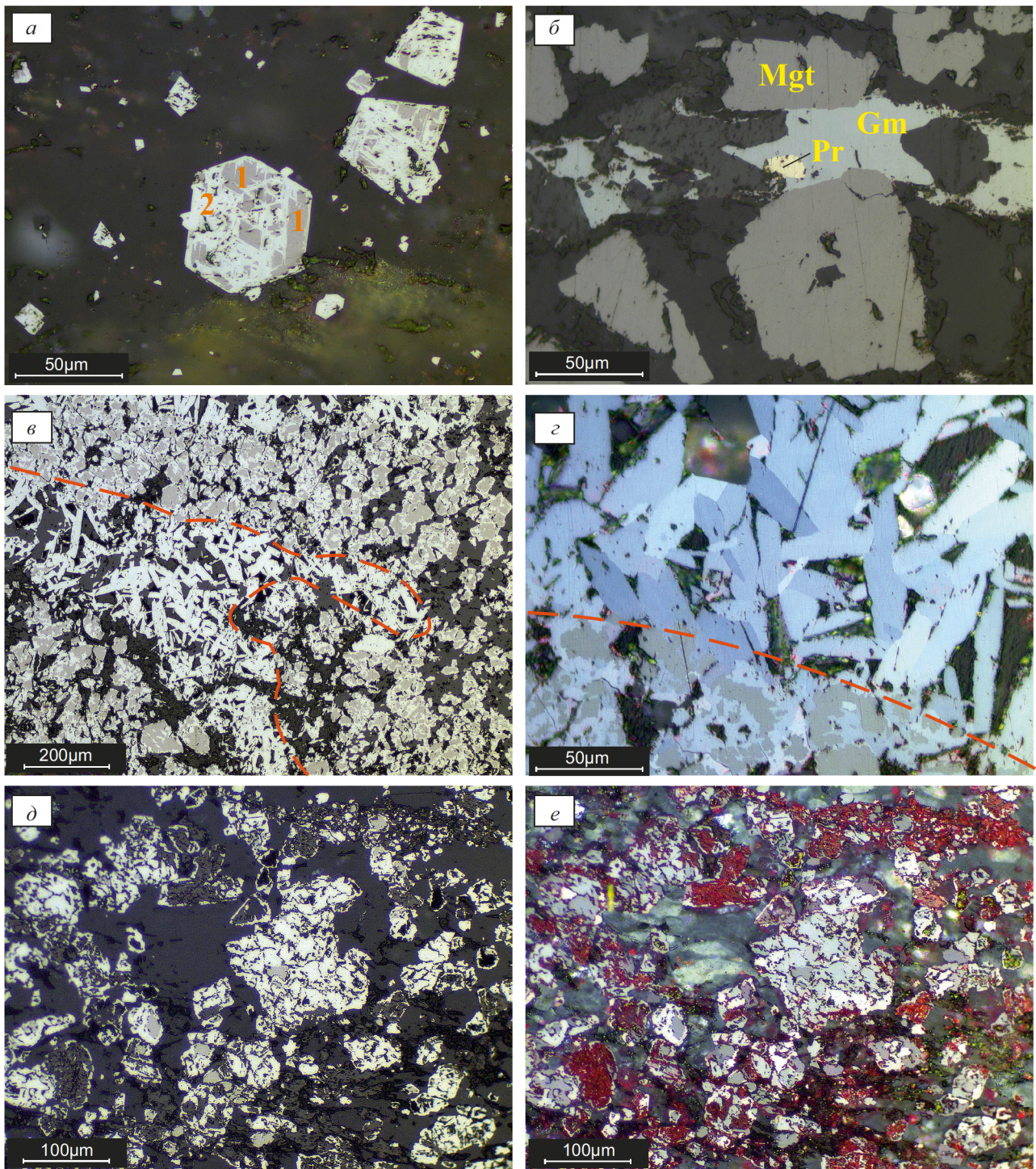
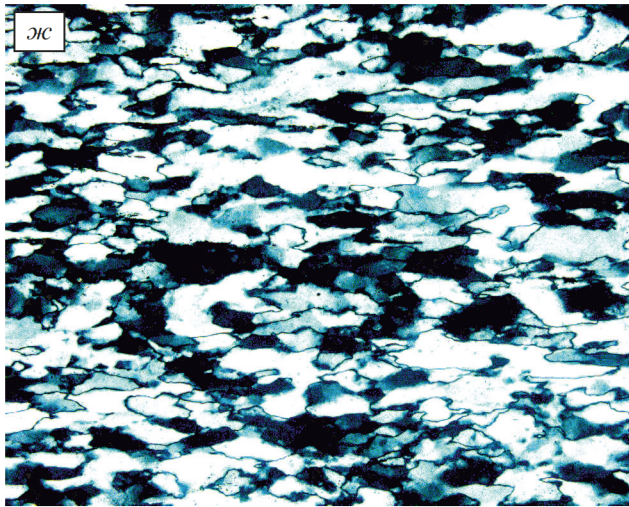
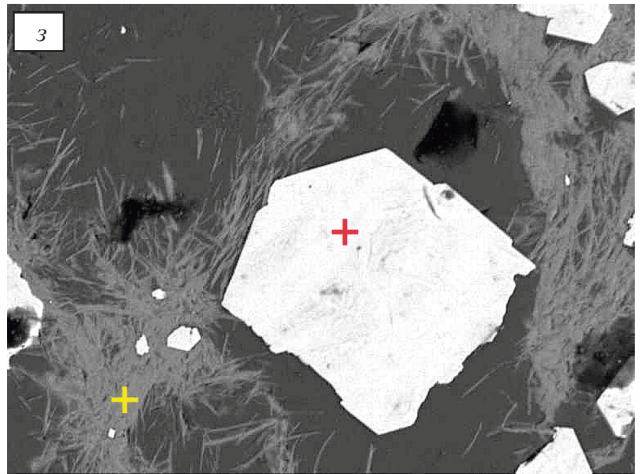


Рис. 4. Фототаблица

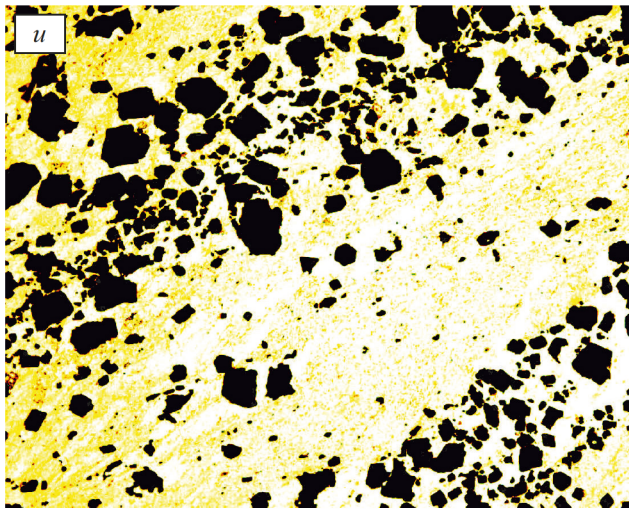
a – кристаллы мартитизированного магнетита: 1 – магнетит (обозначен серым цветом), 2 – мартит (белый цвет), отраженный свет, скв. 501-1, гл. 1507,75 м; *б* – зерно пирита в гематите; *в* – прожилок игольчатого гематита (красный пунктир) в магнетит-мартитовой руде, отраженный свет, без анализатора, скв. 501-1, гл. 1550,05 м; *г* – деталь шлифа, с анализатором; *д* – гидратированная магнетит-мартитовая руда в вендской коре выветривания, отраженный свет, без анализатора, скв. 501-1, гл. 1508,25 м; *е* – то же, с анализатором, лимонит (красный цвет); *ж* – ориентировано-удлиненные зерна кварца в мономинеральных безрудных «полосках», проходящий свет, без анализатора, скв. 501-1, гл. 1526,05 м; *з* – спутанно-волоконистые агрегаты игольчатых кристаллов грюнерита (серый цвет) вокруг зерна магнетита (белый цвет), крестики – место проведения анализа (РЭМ-фото); *и* – тонкополосчатая амфибол-магнетитовая руда, проходящий свет, без анализатора, магнетит (черный цвет), гл. 1604,35 м; *к* – то же, с анализатором; *л* – сферические агрегаты игольчатых кристаллов грюнерита в зальбанде кварцевого прожилка, проходящий свет, с анализатором, гл. 1526,05 м; *м* – то же, без анализатора. Mgt – магнетит; Gm – гематит; Pr – пирит



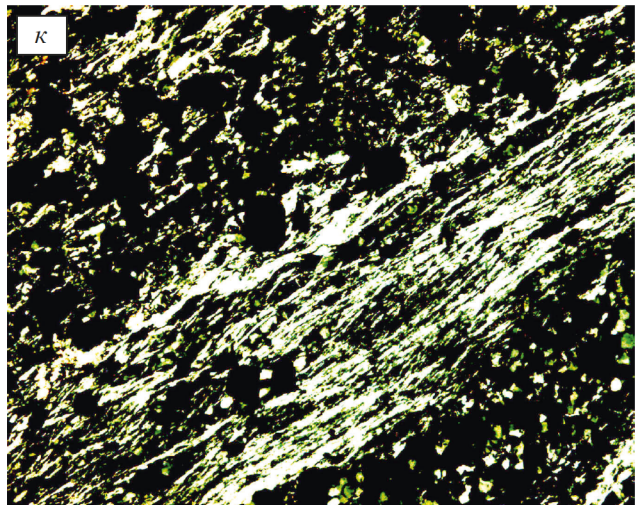
0,6 мм



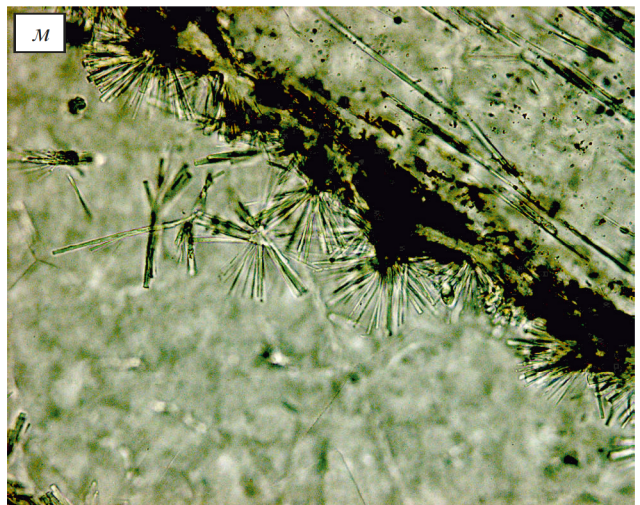
SEM MAG: 720 x
HV: 20.0 kV
VAC: HiVac
DET: BSE Detector
DATE: 08/06/14
Device: MV2300
100 μm
Vega ©Tescan
Digital Microscopy Imaging



1,2 мм



0,24



кальцит. В шлифах можно различить не только реликтовые карбонатные фазы, но и более поздние новообразованные — в форме жил. В зальбандах карбонатно-кварцевых прожилков, рассекающих куммингтонит-кварцевые «слойки», при больших увеличениях видны радиально лучистые агрегаты игольчатых куммингтонит-грюнеритовых микрокристаллов (рис. 4, л, м).

В 50 км к северо-северо-западу от Суолахской скважины 501-1 железистые кварциты вскрыты скв. Западная 535-1 в интервале глубин 1862,2–1985 м. Как и в Суолахской скважине, здесь в основании перекрывающей сульфатно-карбонатной толщи венда по керну выделяется пачка (1858,7–1862,2 м) грубообломочных пород. Она отличается от суолахской делювиально-коллювиальной пачки тем, что в ее составе доминирует грубый обломочный материал, достигающий валунного и глыбово-валунного размера, и меньшим разнообразием их состава с преобладанием обломков сильноокисленных вишнево-красных железистых кварцитов. В керне при почти стопроцентном его выходе эта пачка представлена хаотично чередующимися «прослоями» двух типов резко отличающихся пород: полосчатых вишнево-красных железистых кварцитов и светло-серых сульфатно-карбонатных осадочных пород. Кварцитовые «прослои» достигают 10–30 см, а толщина (вдоль оси керна) светло-серых сульфатно-карбонатных образований не превышает 5–10 см. При этом разобщенные блоки железистых метаморфитов имеют разную ориентировку полосчатости, а вендские осадочные образования, напротив, обладают преимущественно горизонтальной и слабонаклонной слоистостью. Отсутствие в пластичных породах следов волочения, складок нагнетания, глинок трения и иных проявлений тектонических дислокаций позволило нам принять гипотезу о принадлежности грубообломочного прослоя в интервале глубин 1858,7–1862,2 м к коллювию обрушения фации подводно-осыпных отложений. Литологическая специфика и генетическая классификация подобных подводно-элювиальных образований достаточно полно изложены в монографии В. Т. Фролова [5].

В скв. Западная 535-1 формация железистых кварцитов, залегающая под предположительно подводно-осыпным шлейфом, сложена переслаивающимися железистыми кварцитами, хлоритовыми, хлорит-мусковитовыми, биотит-мусковит-кварцевыми сланцами. Как и в Суолахской скважине 501-1, полосчатые формациеобразующие породы интенсивно дислоцированы. Углы падения полосчатости варьируются в широком диапазоне (от 0° до 90°). Вскрытые этой скважиной железные руды, в отличие от суолахских, имеют преимущественно гематитовый состав, а магнетит присутствует в незначительном количестве. В керне визуально (по интенсивному развитию лимонита, окрашивающему породы в вишнево-красный цвет) на глубине 1862,2–1940 м идентифицируется мощная (почти 80-метровая)

зона окисления, которая, по-видимому, контролируется дизъюнктивной структурой. Не исключено, что этот разлом мог явиться причиной обрушения береговых скальных выходов пород формации железистых кварцитов с формированием в вендском палеобассейне подводно-осыпных отложений.

О возрасте железистых кварцитов. Широко распространенные на Сибирской платформе железистые кварциты изучены во многих районах. В частности, на западе Алданского шита в Чаро-Токинской зоне разломов разведаны многочисленные месторождения железистых кварцитов, включаемых в состав раннедокембрийской борсалинской серии [1]. Руды представлены амфибол-магнетитовыми и магнетитовыми кварцитами. В Ималыкском районе Чаро-Токинской зоны преобладают куммингтонит-магнетитовые разновидности железистых кварцитов, аналогичные вскрытым скв. Суолахская 501-1.

Раннедокембрийские метаморфические породы, объединяемые на западе Алданского шита в борсалинскую серию, слагают разобщенные изолированные грабены (тектонические фрагменты зеленокаменных поясов). В них железистые кварциты, являясь стратотипическими элементами борсалинской серии, обладают высокой магнитной восприимчивостью, зоны их распространения отчетливо выражаются на магнитных картах контрастными полосовыми высокоинтенсивными положительными аномалиями. Такие аномалии являются надежными критериями картирования этих зон. В своде НБА, по материалам сейсмо-, грави- и магниторазведки, выделяется сходная с ними Суолахская аномалия, которая протягивается в северо-северо-западном направлении более чем на 50 км (см. рис. 1) и пространственно совпадает с предполагаемым древним Суолахским хребтом. В контурах этой аномалии размещены обе скважины, вскрывшие железистые кварциты. Они приурочены к наиболее высоким выступам фундамента, которые реконструируются на палеогеографических схемах в виде островов в ранневендском морском бассейне. Подобный выступ иллюстрируется палеогеоморфологическим профилем через скважины 822 и Суолахская 501-1 (рис. 5), построенным методом реперных поверхностей [6]. При его проведении за реперную поверхность принята подошва кембрийских мелководных карбонатных пород. Профиль наглядно демонстрирует ингрессивное (прислоненное) залегание вендских отложений, выполняющих понижения рельефа и прислоненных к склонам, сложенным породами кристаллического фундамента. В скв. 822 на раннепротерозойских гранитоидах залегают нижневендские отложения в составе талахской и паршинской свит и верхневендские буюкская, успунская и кудалахская свиты. Здесь общая мощность вендских отложений, перекрытых кембрийскими доломитами, составляет 350 м.

В восточном направлении с приближением к своду Суолахского хребта (скв. Суолахская 501-1) из разреза выпадают талахская преимущественно песчаная свита (мощностью 40 м), затем выклиниваются паршинская свита (мощностью 100 м), сложенная аргиллитами, и нижняя часть верхнего венда в составе бюксской свиты мощностью 20 м, представленной доломитами и аргиллитами. В своде древнего хребта (скв. Суолахская 501-1) раннедокембрийские железистые кварциты перекрыты успунской

свитой поздневендского возраста. Выклинивание 160-метровой толщи осадочных пород с учетом коэффициента уплотнения осадков эквивалентно перепаду абсолютных отметок древней земной поверхности более 300 м. Отсюда делаем вывод, что железистые кварциты служили важным фактором формирования рельефа земной поверхности в ранневендскую эпоху.

С целью уточнения возраста формации железистых кварцитов было проведено исследование цирконов из окружающих ее гранитоидов.

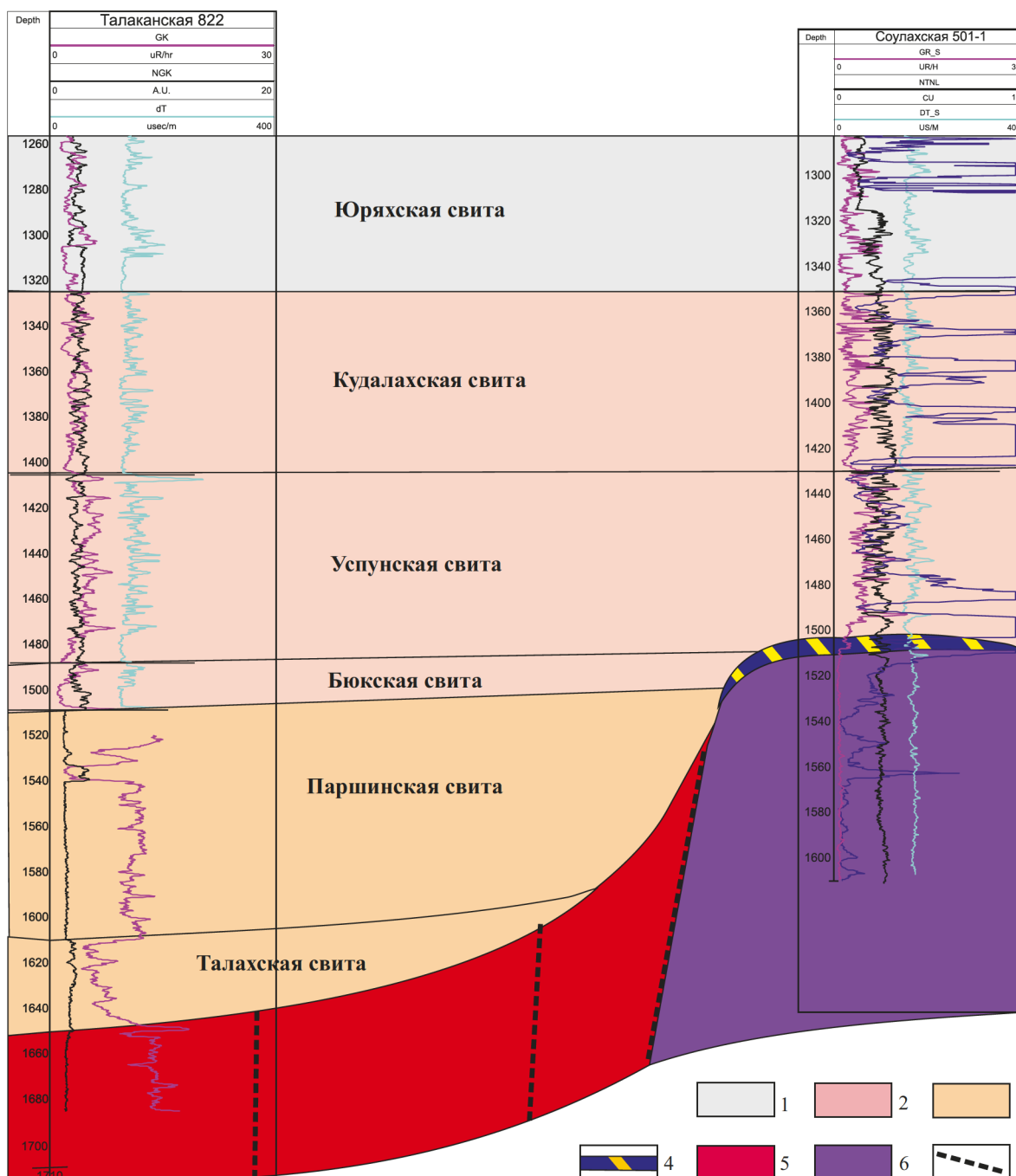


Рис. 5. Палеогеоморфологический профиль

1–4 – отложения: 1 – кембрийские карбонатные, 2 – верхневендские сульфатно-карбонатные, 3 – нижневендские песчано-глинистые, 4 – вендские делювиально-коллювиальные; 5 – нижнепротерозойские граниты, гнейсы; 6 – формация железистых кварцитов; 7 – разломы

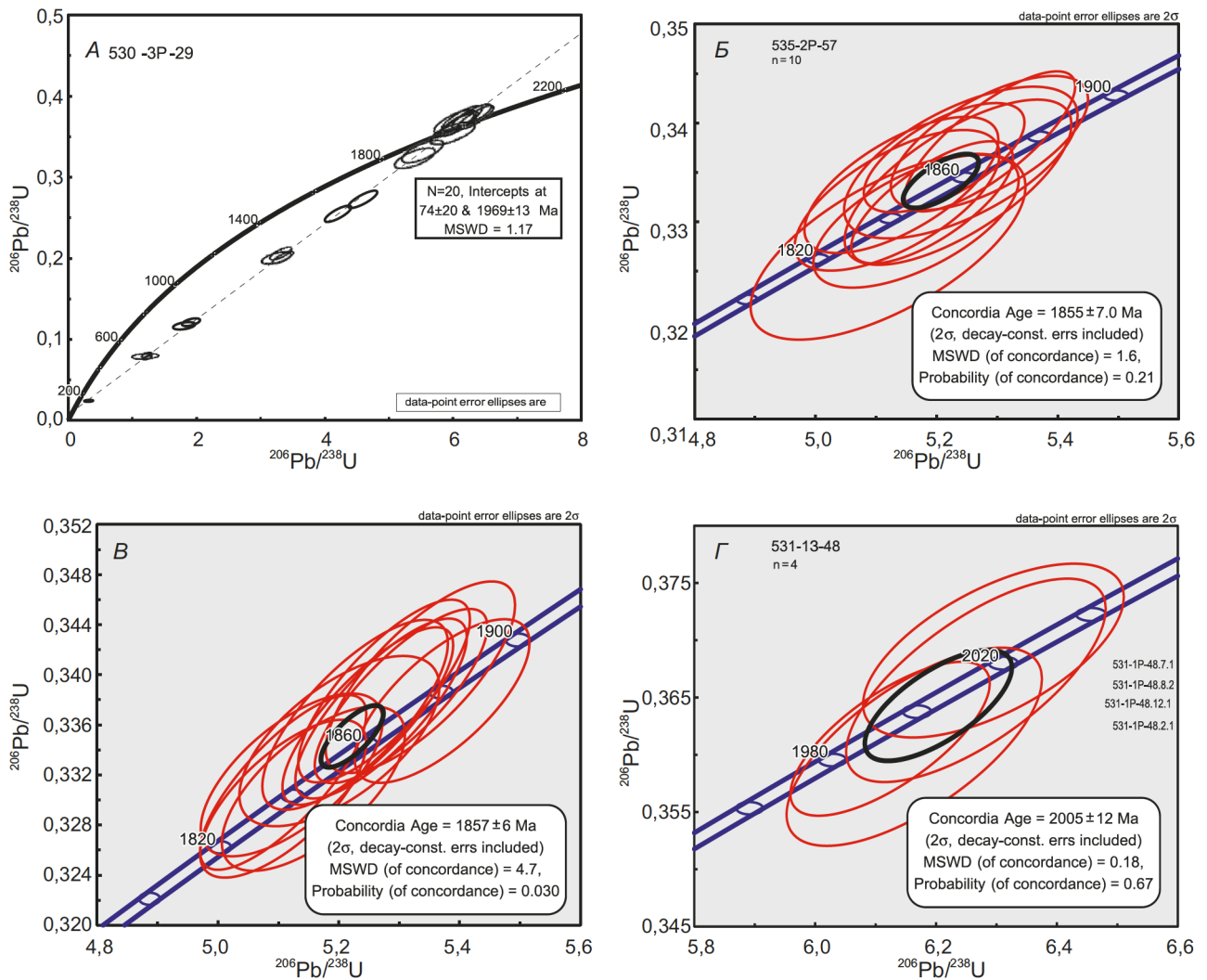


Рис. 6. U-Pb данные для зерен цирконов, извлеченных из гранитоидов, окружающих (интрузирующих?) формацию железистых кварцитов

A – график с дискордией с результатами датирования цирконовых зерен из гранитогнейсов, вскрытых скв. 530-3; Б–Г – графики с конкордией с результатами U-Pb датирования цирконов: Б – из гранитов, вскрытых скв. 535-2, В – из гнейсов, вскрытых скв. 531-1 на глубине 1891,1 м, Г – из метаморфизованных гранитов, вскрытых скв. 531-1 на глубине 1899,9 м. Остальные пояснения в тексте

На вторично-ионном микрозонде SHRIMP II в изотопном центре ВСЕГЕИ изучены зерна циркона, извлеченные из пород кристаллического фундамента, вскрытого скважинами 530-3, 531-1, 535-2 (см. рис. 1).

По скв. 530-3 из пробы гранитогнейсов с глубины 1841,55 м анализировались призматические и длиннопризматические полупрозрачные кристаллы циркона серовато-розового цвета длиной 130–300 мкм. В режиме катодлюминесценции кристаллы имеют зональные центральные части с умеренным свечением и темно-серые однородные краевые оболочки со слабым свечением. По центральным и краевым частям 20 зерен цирконов построена дискордия с верхним пересечением 1969 ± 13 млн лет (рис. 6, А). Содержания (г/т): U 163–2387, Th 44–485, Th/U 0,04–0,52.

Во вскрытых скв. 535-2 гранитах зерна циркона с гл. 2925,2 м, мало отличаюсь от предыдущих

по размеру и форме, имели серо-коричневый цвет. Для 10 цирконов по центральным и краевым частям получен конкордантный возраст 1855 ± 7,0 млн лет (рис. 6, Б). Содержания (г/т): U 141–613, Th 62–219, Th/U 0,37–0,78.

По-видимому, скв. 531-1 вскрыла два типа разновозрастных метаморфических пород, отличающихся и текстурным обликом. На глубине 1891,1 м извлеченные из гнейсов зерна циркона имели розовый, коричневый и желтый цвета. Длина прозрачных и полупрозрачных, идиоморфных и субидиоморфных призматических кристаллов составляла 100–250 мкм. В режиме катодлюминесценции наблюдаются магматические ядра со следами осцилляторной зональности и черные оболочки. Ядра в основном неправильной формы и со следами коррозии и метасоматической переработки. Для 12 ядер цирконов получен конкордантный возраст 1857 ± 6 млн лет

(рис. 6, В). Содержания (г/т): U 364–861, Th 225–837, Th/U 0,61–1,09.

Оболочки сильно дискордантные, с высокими содержаниями (г/т): U 1239–2555, Th 338–633, Th/U 0,16–0,54.

В пробе из метаморфизованных гранитов с гл. 1899,9 м полупрозрачные субидоморфные и призматические кристаллы цирконов и их обломки имели преимущественно серо-коричневый цвет и длину 150–350 мкм. Состояли из слабосветящихся зональных ядер и темно-серых однородных оболочек. Ядра округлой и овальной формы, иногда со следами растворения и метасоматической переработки. По трем ядрам и одной оболочке получен конкордантный возраст 2005 ± 12 млн лет (рис. 6, Г). Содержания (г/т): U 256–598, Th 64–357, Th/U 0,17–0,62.

Полученные оценки возраста, отвечающие кристаллизации родоначальных для изученных гранитоидов расплавов (2005 ± 12 , 1969 ± 13 и 1857 ± 6 млн лет), соответствуют нижнепротерозойской эоноте (верхнекарельской эратемы). Полученные данные в зависимости от геологических соотношений железистых кварцитов с окружающими гранитоидами дают возможность выбора по меньшей мере одного из двух вариантов возраста кварцитов: он соответствует возрасту гранитоидов 2005 ± 12 млн лет либо древнее этой величины. Охарактеризованные рудные породы обнаруживают определенное структурно-вещественное сходство с железистыми кварцитами, являющимися стратотипическими элементами широко распространенной на западе Алданского щита борсалинской серии, и в первом приближении допускают корреляцию с ними.

Заключение. В настоящей статье впервые охарактеризованы минералого-петрографические гематит-магнетитовые руды в своде Непско-Ботубинской антеклизы; раскрыты геологические условия залегания двух глубокозалегающих (около 1,5 км) железорудных месторождений, свидетельствующие об их вероятной принадлежности к архейско-протерозойской формации железистых кварцитов; показана важная роль этой формации в ранневендском морфогенезе; приведены результаты U-Pb датирования цирконов из окружающих метаморфических комплексов, указывающие на их раннепротерозойский возраст.

На основании полученных материалов высказано предположение о вероятной связи охарактеризованной формации с позднеархейско-раннепротерозойской борсалинской серией, широко распространенной на Алданском щите.

Авторы искренне признательны сотрудникам ВСЕГЕИ: ведущему инженеру отдела минералогических методов анализа В. Д. Ляхницкой за неоценимую помощь в минералогическом исследовании железных руд и ведущему научному сотруднику отдела металлогении и геологии месторождений полезных ископаемых С. В. Кашину, а также главному научному

сотруднику лаборатории геологии и геодинамики ИГГД РАН С. Д. Великославинскому за конструктивную критику рукописи и ряд ценных рекомендаций.

1. Геология западной части Алданского щита / Е. П. Миронюк, Б. К. Любимов, Э. Л. Магнусhevский. — М.: Недра, 1971. — 240 с.

2. Железорудные месторождения Сибири / А. С. Калугин, Т. С. Калугина, В. И. Иванов и др. — Новосибирск: Наука, 1981. — 240 с.

3. Корнилов Н. А. Некоторые общие вопросы изучения железных руд железисто-кремнистых формаций докембрия // Состав и генезис железистых кварцитов Сибири и Дальнего Востока. — Новосибирск, 1977. — С. 34–30.

4. Непско-Ботубинская антеклизы — новая перспективная область добычи нефти и газа на востоке СССР / под ред. А. Э. Конторовича, В. С. Суркова, А. А. Трофимука. — Новосибирск: Наука, 1986. — 246 с.

5. Фролов В. Т. Генетическая типизация морских отложений. — М.: Недра, 1984. — 222 с.

6. Чемеков Ю. Ф., Галицкий В. И. Погребенный рельеф платформ и методы его изучения. — Л.: Недра, 1974. — 207 с.

7. Черяков И. А. Магнетитовые руды в кристаллическом фундаменте Непско-Ботубинской антеклизы, Республика Саха (Якутия) / И. А. Черяков, В. Г. Колокольцев, И. В. Осадчий, А. Н. Хабаров // Литология осадочных комплексов Евразии и шельфовых областей: Материалы IX Всероссийского литологического совещания (с международным участием). Казань, 30 сентября — 3 октября 2019 г. — Казань, 2019. — С. 502–503.

8. Шадрина С. Б., Денисюков Е. С., Крицкий И. Л. Гидротермально-метасоматические процессы и их роль в формировании коллекторов в разрезе венд-нижнекембрийских отложений Непско-Ботубинской антеклизы (на примере поисковой скважины Кедрового лицензионного участка) // Геология, геофизика и минеральное сырье Сибири: Материалы 1-й научно-практической конференции. — Новосибирск: СНИИГиМС, 2014. — Т. 2. — С. 194–197.

1. Mironyuk E. P., Lyubimov B. K., Magnushevskiy E. L. Geologiya zapadnoy chasti Aldanskogo shchita [Geology of the western part of the Aldan shield]. Moscow, Nedra, 1971, 240 p.

2. Kalugin A. S., Kalugina T. S., Ivanov V. I. et al. Zhelezorudnye mestorozhdeniya Sibiri [Iron ore deposits of Siberia]. Novosibirsk, Nauka, 1981, 240 p.

3. Kornilov N. A. Nekotorye obshchie voprosy izucheniya zheleznykh rud zhelezisto-kremnistykh formatsiy dokembriya [Some general issues of studying iron ores of ferruginous-siliceous formations of the Precambrian]. *Sostav i genezis zhelezistykh kvartsitov Sibiri i Dal'nego Vostoka*. Novosibirsk, 1977, pp. 34–30. (In Russian).

4. Nepsko-Botuobinskaya antekliza — novaya perspektivnaya oblast' dobychi nefi i gaza na vostoке SSSR [Nepa-Botuoba anteklise — a new promising area for oil and gas production in the east of the USSR]. Ed. by A. E. Kontorovich, V. S. Surkov, A. A. Trofimuk. Novosibirsk, Nauka, 1986, 246 p.

5. Frolov V. T. Geneticheskaya tipizatsiya morskikh otlozheniy [Genetic typification of marine deposits]. Moscow, Nedra, 1984, 222 p.

6. Chemekov Yu. F., Galitskiy V. I. Pogrebennyi rel'ef platform i metody ego izucheniya [Buried relief of platforms and methods of its study]. Leningrad, Nedra, 1974, 207 p.

7. Cheryakov I. A., Kolokol'tsev V. G., Osadchiy I. V., Khabarov A. N. Magnetitovye rudy v kristallicheskom

fundamente Nepsko-Botuobinskoy anteklizy, Respublika Sakha (Yakutiya) [Magnetite ores in the crystalline basement of the Nepa-Botuoba antecline, Republic of Sakha (Yakutia)]. *Litologiya osadochnykh kompleksov Evrazii i shel'fovykh oblastey: Materialy IX Vserossiyskogo litologicheskogo soveshchaniya (s mezhdunarodnym uchastiem)*. Kazan', 30 sentyabrya – 3 oktyabrya 2019 g. Kazan', 2019, pp. 502–503. (In Russian).

8. Shadrina S. B., Denisyukov E. S., Kritskiy I. L. Gidrotermal'no-metasomaticheskie protsessy i ikh rol' v formirovani

kollektorov v razreze vend-nizhnekembriyskikh otlozheniy Nepsko-Botuobinskoy anteklizy (na primere poiskovoy skvazhiny Kedrovogo litsenzionnogo uchastka) [Hydrothermal-metasomatic processes and their role in the formation of reservoirs in the section of the Vendian-Lower Cambrian deposits of the Nepa-Botuoba antecline (on the example of the exploration well of the Kedrovoy license area)]. *Geologiya, geofizika i mineral'noe syr'e Sibiri: materialy 1-y nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Novosibirsk, 2014, vol. 2, pp. 194–197. (In Russian).

Kolokol'tsev Vyacheslav Grigor'evich – канд. геол.-минерал. наук, вед. науч. сотрудник, ВСЕГЕИ¹. <kolokoltsev@rambler.ru>

Осадчий Илья Владимирович – зав. лабораторией, ВСЕГЕИ¹. <iliya_osadchii@vsegei.ru>

Хабаров Андрей Николаевич – зав. лабораторией, ВСЕГЕИ¹. <Andrey_Habarov@vsegei.ru>

Kolokol'tsev Vyacheslav Grigor'evich – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Leading Researcher, VSEGEI¹. <kolokoltsev@rambler.ru>

Osadchiy Il'ya Vladimirovich – Head of Department, VSEGEI¹. <iliya_osadchii@vsegei.ru>

Khabarov Andrey Nikolaevich – Head of Department, VSEGEI¹. <Andrey_Habarov@vsegei.ru>

¹ Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского (ВСЕГЕИ). Средний пр., 74, Санкт-Петербург, Россия, 199106.

A. P. Karpinsky Russian Geological Research Institute (VSEGEI). 74 Sredny Prospect, St. Petersburg, Russia, 199106.