

## **РУДНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ В ВУЛКАНОГЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ СЕВЕРО-ПАРАМУШИРСКОГО ГЕОТЕРМАЛЬНОГО РАЙОНА**

**Сандиминова Е.И.**

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский,  
E-mail: [sand@kcs.iks.ru](mailto:sand@kcs.iks.ru)*

Показан характер распределения рудных минералов в разрезе скважины 4-ГП (1270 м) Северо-Парамуширского геотермального района. Установлено, что основными минералами во вскрытых отложениях является титаномагнетит, ильменит, гематит, пирит, гидроксиды железа и минеральные образования в виде сферул. Редко встречаются рутил, корунд, альмандин, самородное железо и др. Кратко охарактеризован состав и строение минералов.

## **ORE MINERALIZATION OF NORTH-PARAMUSHIR GEOTHERMAL AREA VOLCANOGENIC ROCKS**

**Sandimirova E.I.**

*Institute of Volcanology and Seismology FED RAS, Petropavlovsk -Kamchatsky  
E-mail: [sand@kcs.iks.ru](mailto:sand@kcs.iks.ru)*

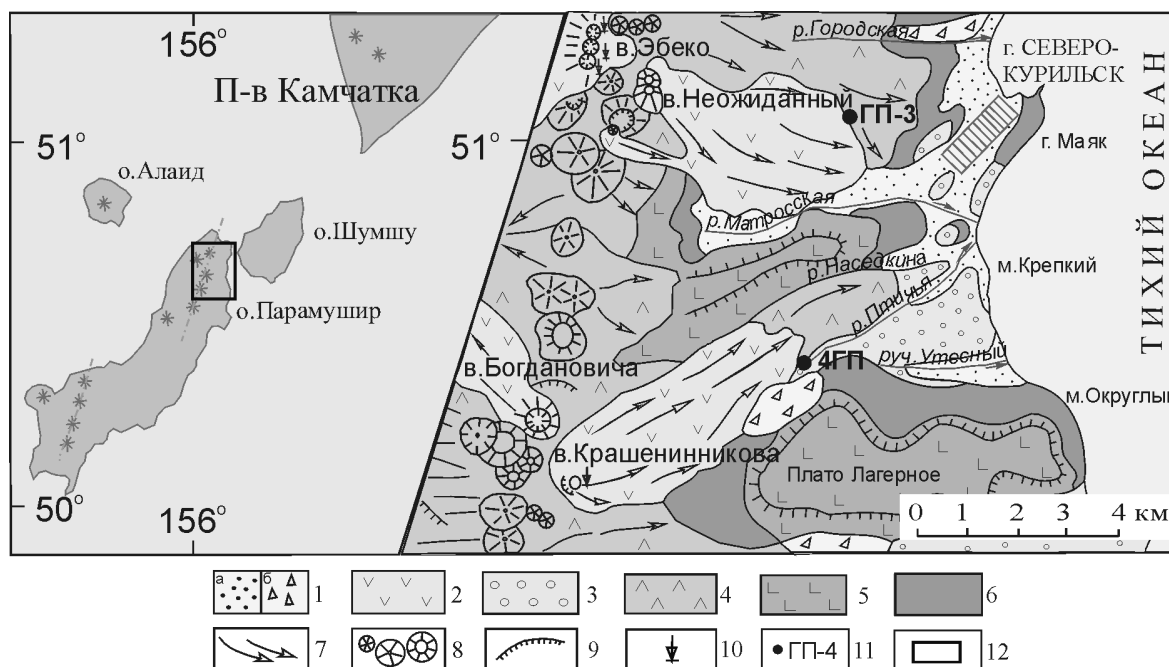
The allocation of ore minerals in a section of well N 4-GP of North-Paramushir geothermal area was shown. It is installed that main ore minerals are titanomagnetite, ilmenite, hematite, pyrite, hydroxides of iron and minerals as pellets shape. The rare minerals, such as rutile, corundum, almandine garnet, native iron etc., were studied. And the composition and constitution of minerals are briefly described.

Проблеме изучения распределения рудных элементов и минералов на геотермальных системах островных дуг уделяется большое внимание учеными всего мира. Это связано с открытием в последние десятилетия ряда богатых золотом медно-порфировых, медно-золотых скарновых и эпитеpmальных золото-сульфидных месторождений. Северо-Парамуширская геотермальный район в этом вопросе является слабо изученной территорией.

В связи с возникшей необходимостью извлечения тепловой и электрической энергии для нужд города Северо-Курильска у подножия восточных склонов северной части хребта Вернадского было пробурено несколько поисковых скважин на горячую воду (рис. 1). Такое бурение на территории Камчатки и Курильских островов – редкость. Появилась уникальная возможность исследовать состав, строение и условия формирования рудной минерализации в глубоких разрезах района. Достаточно детально нами уже изучен разрез опорной скважины ГП-3 (2500

м) [7].

В настоящее время получены предварительные данные еще по одной скважине – 4-ГП. Скважина пробурена в 2004 году ЗАО «Геотермик» в 5 км от г. Северо-Курильска, в среднем течении р. Птичьей. Глубина скважины составляет 1270 м. Температура на забое по данным термометрии - 200-215°C. Скважина пройдена с систематическим отбором шлама через 10 м, на двух интервалах (305-400 и 1115-1270 м) был перерыв в отборе проб. Бурением вскрыты четвертичные лавы андезитового состава (0-48,5 м) и мощная толща подстилающих вулканогенно-осадочных отложений охотской свиты миоцен-плиоценового ( $N_1-N_2$ ) возраста (48,5-1270 м). Более детально в разрезе можно выделить следующие горизонты пород.



**Рис. 1.** Фрагмент схематической геологической карты северо-восточной части острова Парамушир (по материалам В.Л.Леонова, 1998)

1 – современные аллювиальные, морские, озерные (а), обвално-оползневые (б) отложения; 2 лавы андезитового, андезито-базальтового состава (голоцен); 3 – ледниковые отложения ( $Q_3^4$ ); 4 – лавы андезитового состава ( $Q_3$ ); 5 – лавы андезитового, андезито-базальтового состава ( $N_2^2-Q_1$ ); 6 – нерасчлененные вулканогенно-осадочные отложения и субвулканические тела ( $N_1^3-N_2$ ); 7 – направление движения лавовых потоков; 8 – небольшие вулканы, лавовые и шлаковые конусы осевой части хребта Вернадского; 9 – морфологически выраженные уступы, границы эрозионных кальдер; 10 – fumaroles; 11 – геотермальные скважины и их номера; 12 – положение района исследований в пределах Курило-Камчатского региона.

**0-48,5 м** – двупироксеновые андезиты четвертичного возраста.

**48,5-425 м.** Слоистые туффиты. В верхней части толщи (48,5-70 м) - псефтитовые туфы. Обломки в туфах представлены выветрелыми андезитами. В интервале 150-160 м встречаются прослойки туфопесчаников. Для толщи характерно

обилие пиритизированных микроорганизмов (в основном диатомовых), особенно в интервале 100-310 м. Из вторичных минералов широко развиты кальцит и цеолиты.

**425-470 м.** Диабазы. Мелкозернистые, темные, серовато-зеленого цвета, трещиноватые. По трещинам и пустотам развит молочно-белый опал.

**470-680 м.** Туффиты алевритовые, слоистые. В незначительном количестве в пробах встречаются пиритизированные микроорганизмы. Для пород характерно широкое развитие кальцита и шестоватых цеолитов, особенно в интервале 500-620 м.

**680-1120 м.** Алевролиты (туфоалевролиты) слоистые. Чередование измененных и неизмененных слоев. Измененные слои имеют зеленый оттенок за счет вторичных изменений. Вероятно, они имеют повышенную пористость, благоприятную для фильтрации термальных вод и несколько больший (псаммитовый) размер обломков. В основном здесь развит хлорит, кальцит, меньше цеолиты, незначительно кварц и эпидот. В целом породы этого горизонта более жесткие и прочные, по сравнению с выше лежащими.

Литологический разрез по шламу достаточно хорошо согласуется с данными каротажа по скважине.

### **Методика работы.**

Большая часть зерен рудных минералов имеет размер менее 0,5 мм и содержится в тяжелой фракции проб. Чтобы их выделить из шлама, отсеивалась фракция менее 1 мм и промывалась до серого шлиха. Из серого шлиха с помощью магнита отделялась магнитная фракция. Оставшаяся – немагнитная - при необходимости рассеивалась на фракции с помощью сит. Первичная диагностика и выделение рудных минералов проводилась с помощью бинокля МПСУ-1. Для изучения рудных минералов в отраженном свете изготавливались искусственные полированные шлифы из кусочков пород шлама и просматривались с помощью микроскопа ПОЛАМ-Р312. Состав минералов определялся с помощью микронзонда «Самбах-246» (Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН).

### **Рудная минерализация.**

Характер распределение рудной минерализации в разрезе скважины 4-ГП показан на **рисунке 2**. Наиболее распространенным оксидным минералом является **титаномагнетит**, который встречается по всему разрезу скважины. Содержание

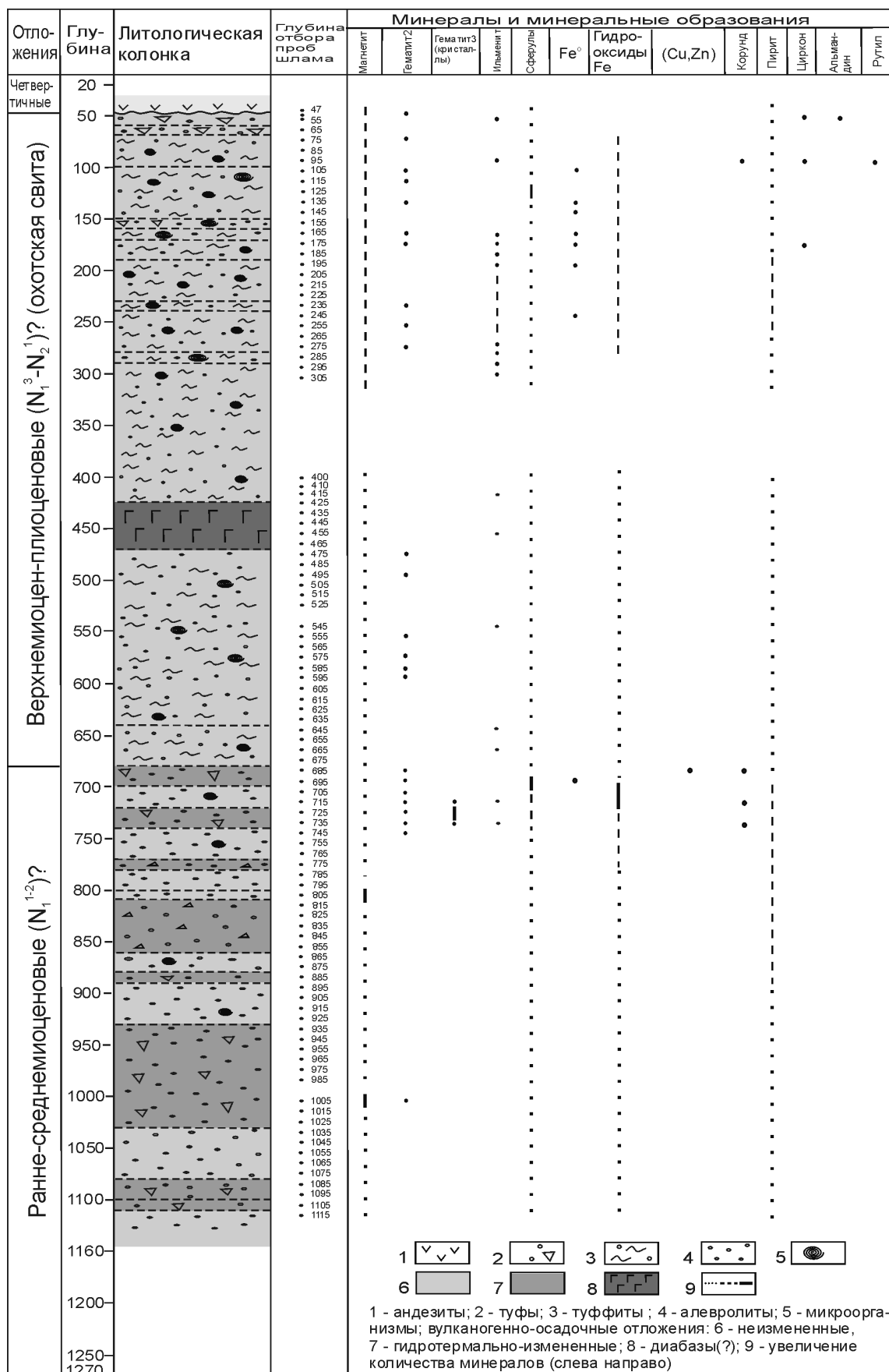


Рис. 2. Распределение рудной минерализации в разрезе скважины 4 –ГЦ(Северо - Парамуширский геотермальный район).

титаномагнетита в пробах не превышает 1-3% от серого шлиха, но на отдельных интервалах его количество заметно повышается до 4-5% (пробы с глубин 805 и 1005 м). Это в основном обломки, реже октаэдрические кристаллы, а также включения и сростки с силикатными минералами. Титаномагнетит иногда замещается гематитом, который развивается по всему зерну и по трещинам. В некоторых зернах титаномагнетита наблюдаются грубо- и тонкорешетчатые структуры распада, представленные ильменитом, гематитом и ульвошпинелью. В некоторых обломках андезитов встречаются симплектитовые сростки титаномагнетита с силикатами. Крупные зерна титаномагнетита (до 1 мм) имеют аллотриаморфные и гипидиоморфные очертания, однородны по структуре.

Как показывают результаты микронзондового исследования, содержание  $TiO_2$  в титаномагнетитах составляет 6-13 мас.%, постоянно присутствуют примеси Al, Mg, Mn (см. табл.).

**Гематит.** Встречается разных типов. 1-й сопровождает титаномагнетит, замещая его в процессе окисления, развивается по зернам в виде неправильных пятен или по определенным кристаллографическим направлениям. 2-й образует самостоятельные рыхлые зерна серого цвета с синеватым отливом. 3-й образует пластинчатые кристаллы черного цвета (715-735 м).

**Ильменит.** Встречается не часто и в небольшом количестве - до первых десятков зерен на пробу. Это толстотаблитчатые кристаллы, для которых характерны ориентированные срастания с апатитом светло-зеленого цвета. Наибольшая концентрация ильменита отмечается в интервале 165-305 м. В ильменитах постоянно присутствуют примеси MgO (1,65-2,12 мас.%) и MnO (0,69-1,10 мас.%).

По данным микронзондового анализа с глубиной титанистость ильменитов и титаномагнетитов снижается. Видимо, это связано со сменой основного вулканизма на более кислый. На диаграмме (рис. 3) по соотношению  $TiO_2$  и MgO также видно, что основная масса ильменитов тяготеет к полю кислых пород. Лишь единичные точки расположены ближе к базальтоидам (зерно с глубины 55 м). Вытянутость точечной области в целом показывает, что источником ильменитов являются породы разного состава - от базальтов до риодацитов и риолитов [1].

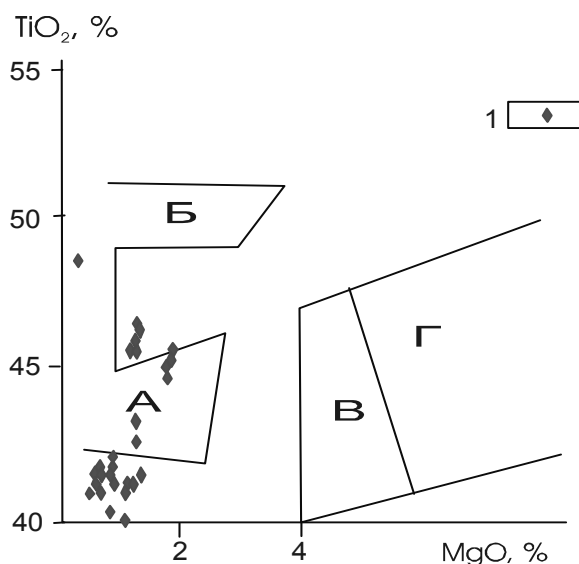
**Рутил** встречается очень редко. На глубине 95 м отмечен в виде включения в корунде. Состоит из  $TiO_2$  (94,19-95,54 мас.%) с примесью  $Al_2O_3$  - 2,14-2,32; MgO - 2,87-3,08; CaO - 0,11-0,34; MnO - 0,22-0,24 мас.%.

В крупных зернах силикатных минералов из обломков андезитов встречаются рудный минерал желтого цвета с кремовым оттенком. Вероятнее всего, это

**Таблица.** Наиболее характерные составы ильменита и шпинелевых минералов из скважины 4 ГП по результатам микрозондового анализа (мас.%)

№ п/п	№ зерна	Глубина отбора проб	Минерал	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	MnO	Сумма
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1	47	Титаномагнетит	12.33	3.13	39.06	42.10	2.23	0.28	99.13
2	2	55	Ильменит	44.49	-	35.61	17.20	2.09	0.70	100.09
3	3	- " -	Ильменит	48.44	-	39.34	9.81	1.59	1.25	100.43
4	4	135	Титаномагнетит	7.54	2.81	50.85	34.55	1.95	0.38	98.08
5		- " -	Ульвошпинель	24.85	1.40	20.59	50.74	2.08	0.48	100.14
6	5	- " -	Титаномагнетит	13.62	2.41	40.00	41.64	1.27	0.28	99.22
7	6	- " -	Титаномагнетит	8.14	5.95	47.33	33.61	3.56	0.14	98.73
8	7	165	Ильменит	45.33	-	36.20	14.79	2.11	0.79	99.22
9	8	175	Ильменит	42.69	-	33.90	20.29	1.92	1.05	99.85
10	9	185	Ильменит	43.07	-	34.20	20.30	1.91	1.10	100.58
11	10	205	Ильменит	41.14	-	32.99	23.66	1.78	0.82	100.39
12	11	- " -	Титаномагнетит	7.07	1.57	35.83	53.86	0.87	0.66	99.86
13	12	305	Ильменит	41.01	-	33.09	23.37	1.69	0.78	99,93
14	13	- " -	Титаномагнетит	6.85	1.61	35.08	54.12	1.14	0.66	99.46

Примечание. Анализы выполнены в Институте вулканологии ДВО РАН на приборе «Самбах-246», аналитики - В.М.Чубаров, Е.И.Сандиминова. Условия анализа: ускоряющее напряжение 20 кV при токе образца 30-40 нА. В качестве эталонов использовались природные минералы известного состава и искусственные соединения. Прочерк – содержание элемента ниже предела чувствительности метода. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> рассчитано по программе В.В.Ананьева «Fastview», исходя из FeO. Зерно 4 – решетчатая структура распада ульвошпинели в титаномагнетите.



**Рис. 3.** Поля распределения MgO и TiO<sub>2</sub> в ильменитах различных пород (по [10]).

А - кислые породы; Б – толеиты (афировая разновидность базальтов); В – базаниты (щелочные базальтоиды); Г - кимберлиты; 1 – ильменит из вулканогенно-осадочных пород разреза скважины 4-ГП (о. Парамушир, Курильские острова).

первично-магматический сульфид типа **пирротина**. Выделения размером до 0,07 мм имеют, как правило, округлую форму, реже нитевидную (заполняют микротрещины).

Минеральные образования в виде **сферул** встречаются в незначительном количестве - от одной до первых десятков. В основном - это шарики черного или стально-серого цвета с металлическим блеском, но есть и стеклянные - черного и полупрозрачные светло-коричневого цвета. В более ранних работах [8,9] нами уже достаточно подробно давалась характеристика состава и строения магнитных сферул. Большая часть из них сложена магнетитом, меньшая – титанистым стеклом и продуктами его раскristаллизации. Часто внутри сферул имеется одно или несколько ядер из самородного железа. Совместно со сферулами в пробах встречаются обломки вулканического стекла с вкрапленностью самородного железа сферической формы. А также корунд с включениями рутила и неправильной формы зерна металла желтого цвета (аналогичные образования в скважине ГП-3 были представлены природной латунью (Cu,Zn)).

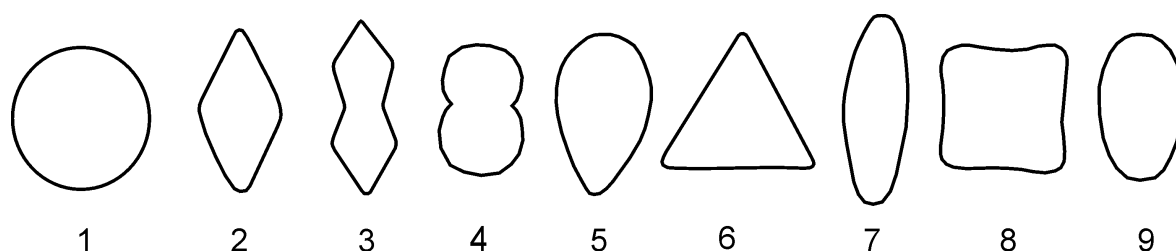
Вопрос о генезисе сферул является дискуссионным. Судя по распространенности в разрезе и сопутствующим минералам, наиболее вероятно, что их отложение связано с выбросами взрывного материала. Повышенное количество сферул на определенных горизонтах может отражать периоды наиболее мощных извержений. Некоторые авторы также связывают происхождение сферул с вулканизмом [10]. Находки подобных образований известны и в пеплах современного вулкана Карымского [5]. Таким образом, сферические минеральные образования могут отлагаться на стенках газового канала, а затем мощным взрывом выноситься на поверхность.

В качестве примеси в магнитной фракции присутствуют **лимонитизированные корочки**. Часто такие образования относят к продуктам засорения проб. Однако, в срезе, в отраженном свете можно увидеть, что лимонит развит только на поверхности, а в середине корочки сохраняются реликты самородного железа чешуйчатого строения. Иногда встречаются и не окисленные листоватые пластинки самородного железа с рваными краями. Такие формы могут образовываться в потоке газовых струй [2].

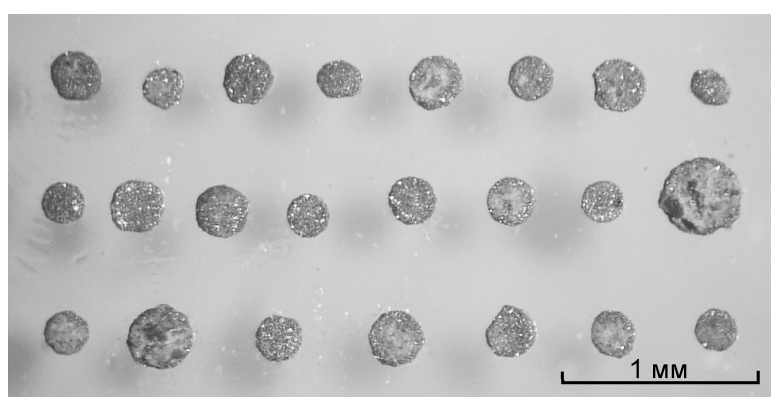
Очень редко в пробах встречаются кристаллы циркона (< 0,2 мм) и зерна альмандина.

В немагнитной фракции наиболее распространен **пирит**, он отмечается

практически во всех пробах, хотя и в небольших количествах. Встречается в основном в виде агрегатов, реже сростков и отдельных кубических, октаэдрических, ромбододэкаэдрических кристаллов. На поверхности имеет побежалость. Пирит иногда по трещинам и по краям замещает титаномагнетит и ильменит. Скрыто- или мелкокристаллический пирит часто замещает микроорганизмы, которые встречаются с глубины примерно 95 м и до 930 м. Максимальное их количество отмечено на глубине от 100 до 350 м. Это преимущественно диатомовые водоросли размером менее 0,5 мм. Наблюдения под биноклем позволяют выделить минимум 9 типов форм створок (**рис. 4**) и рассмотреть их некоторые структурные элементы [4]. Наиболее часто встречаются диатомовые, напоминающие форму таблетки (**рис. 5**).



**Рис. 4.** Формы створок пиритизированных диатомовых водорослей, встречающихся в разрезе скважины 4-ГП: 1 – круглая; 2 – ромбическая; 3,4 – гитаровидная; 5 – яйцевидная (овальная); 6 – треугольная; 7 – веретеновидная; 8 – четырехугольная; 9 – эллиптическая (по Диатомовые..., 1974)



**Рис. 5.** Наиболее часто встречающаяся в разрезе скважины 4-ГП форма пиритизированных диатомовых водорослей. Фото.

В полированных шлифах в отраженном свете микроорганизмы, замещенные пиритом, имеют характерные губчатые и скелетные структуры.

Как отмечается в ряде работ [1, 3], пиритизированные и карбонатизированные



микрофоссилии отражают характерные эпигенетические (катагенетические) преобразования первично органогенного кремнезема и пирокластического материала и типичны для кайнозойских отложений всего тихоокеанского региона.

### **Заключение**

Скважина 4-ГП расположена в пределах относительно опущенного блока земной коры - грабена рек Наседкина и Птичьей, ограниченного двумя крупными разломами – Крашенинникова и Богдановича, северо-восточного простирания. Центральная часть грабена погружена предположительно на сотни метров [6]. Бурением вскрыты преимущественно мелководные вулканогенно-осадочные образования со значительной примесью диатомового материала. Они формировались в период интенсивной магматической деятельности, когда значительное количество эксплозивного материала отлагалось в крупных вулканотектонических депрессиях [11]. Этот фактор стал определяющим при накоплении рудной минерализации в отложениях, вскрытых скважиной. Основная часть минералов, это переотложенные продукты извержений. К ним относятся титаномагнетит, ильменит, минеральные образования в виде сферул, а также акцессорные минералы: алмадин, корунд, рутил, циркон, самородное железо, обломки вулканического стекла, единичные зерна сплава типа латуни и некоторые другие.

Эпитермальная рудная минерализация в отложениях проявлена слабо. В нижней половине разреза скважины, где наблюдаются гидротермальные изменения пород (680-1270 м), можно отметить некоторое повышение количества пирита, особенно в интервале 700-885 м. На глубине 715-735 м встречается пластинчатый гематит, который также может характеризовать гидротермальные изменения пород, если, конечно, он не является переотложенным. Зон интенсивной гидротермальной проработки со значительным количеством сульфидов не зафиксировано.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. *Волынец О.Н., Авдейко Г.П., Цветков А.А. и др. Минеральная зональность четвертичных лав Курильской островной дуги // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1990. N 1. С. 29-44.*
2. *Главатских С.Ф. Металлообразование в продуктах эксгаляций Большого трещинного Толбачинского извержения (Камчатка) // Вулканология и сейсмология. N 4-5. 1995. С. 193-24.*
3. *Детальное расчленение неогена Камчатки. М: Наука. 1992. 208 с.*
4. *Диатомовые водоросли СССР (ископаемые и современные). Т. I. Ленинград: Наука. 1974. 403с.*
5. *Карпов Г.А., Мохов А.В. Акцессорные самородные рудные минералы эруптивных пеплов андезитовых вулканов Камчатки. Вулканология и сейсмология. 2004. №4. С. 41-49.*
6. *Леонов В.Л. Оценка перспективности района г. Северо-Курильска на термальные воды. Отчет. Г. Петропавловск-Камчатский. 1990. 33 с.*

7. Рычагов С.Н., Белоусов В.И., Главатских С.Ф., Ладыгин В.М., Сандими́рова Е.И. Северо-Парамуширская гидротермально-магматическая система: характеристика глубокого геологического разреза и модель современного минерало-рудообразования в ее недрах // *Вулкано́логия и сейсмо́логия*. 2002 г. №4. С. 3-21.
8. Сандими́рова Е.И., Главатских С.Ф., Рычагов С.Н. Магнитные сферулы из вулканогенных пород Курильских островов и Южной Камчатки // *Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. Петропавловск-Камчатский, КГПУ*. 2003. № 1. С. 135-140.
9. Сандими́рова Е.И., Главатских С.Ф., Рычагов С.Н. Типоморфные особенности магнитных сферул из вулканогенных пород Курильских островов и Южной Камчатки // *Вулканизм и геодинамика. Материалы докладов II Всероссийского симпозиума по вулканологии и палеовулканологии*. Екатеринбург. 2003. С. 568-573.
10. Тата́ринов А.В., Ялови́к Л.И. Особенности вещественного состава горных пород и шихо-минералогических комплексов Олондинского зеленокаменного пояса. Изд-во Бурятского научного центра СО РАН. Улан-Удэ. 2003. С. 106.
11. Фе́дорченко В.И., Абдурахманов А.И., Родионова Р.И. Вулканизм Курильской островной дуги. *Геология и петрогенезис*. М: Наука. 1989. 239 с.