



Низкотемпературная минерализация вулканогенно-осадочных пород северной части о. Парамушир

В результате петрографического изучения вулканогенно-осадочных пород, вскрытых скважиной 4-ГП установлено наложение метасоматических изменений монтмориллонит-цеолитовой фации на уже сформированные пропилиты. Выявлена последовательная смена в разрезе следующих метасоматических зон (сверху-вниз): смектит-селадонит-опаловая; иллит-хлорит-кальцитовая; иллит-монтмориллонит-пренит-цеолитовая.

В 2003–2004 гг. ОАО «Сахалинская гидрогеологическая экспедиция» с целью поиска геотермального теплоносителя в бассейне р. Птичья пробурена скважина № 4-ГП глубиной 1270 м. Долина рек Наседкина-Птичья представляет собой грабен, образованный разломами северо-восточного простирания. Предположительно, центральная часть грабена Наседкина-Птичья погружена на несколько сот метров (рис. 1). Скважина 4-ГП вскрыла толщу вулканогенно-осадочных пород с характерным чередованием туффов и туфов псефито-псаммито-алевролитовых лито-кристаллокластических андезитового, андезидацитового, дацитового состава. С глубиной состав пород меняется от андезитового до дацитового (табл. 1 на стр. 125).

При взаимодействии первичных магматических минералов с циркулирующими в породах гидротермальными растворами образуется весьма обширная группа вторичных гидротермальных минералов, формирующих метасоматическую зональность гидротермальной системы и отражающих конкретные физико-химические условия взаимодействия «раствор — порода» на гидротермальном этапе развития (рис. 2).

Слоистые силикаты имеют наибольшее распространение среди прочих гидротермальных минералов. Развиты с поверхности на всю глубину скважины, являясь сквозными образованиями. К ним относятся монтмориллонит, смешаннослойный иллит-монтмориллонит, хлориты.

Монтмориллонит присутствует в породах до глубины 1270 м. Развивается за счёт изменения вулканического стекла основной массы породы, по включениям вулканического стекла и по трещинкам в фенокристаллах плагиоклаза в тесной ассоциации с цеолитами. Реже развит за счёт изменения темноцветных минералов (пироксена) в ассоциации с гидроокислами железа. Часто образует вторичный цемент выполнения и обрастания в туфах, а также вы-

полняет трещинки в породе в ассоциации с цеолитами, кальцитом, опалом, гидроокислами железа. При этом, при изменении темноцветных магматических минералов развиваются более железистые разновидности — нонтрониты, а за счёт изменения фенокристаллов плагиоклаза и вулканического стекла — кальциевые разновидности. В проходящем свете монтмориллонит окрашен в бледно-зеленоватые до светло-зелёных тона, с едва заметным плеохроизмом по интенсивности окраски. Нонтронит обладает слабо-зелёной до оливковой окраской, с заметным плеохроизмом по интенсивности окраски. В скрещённых николях имеет высокие интерференционные цвета — до жёлтых цветов 2 порядка.

Смешаннослойные иллит-монтмориллонитовые минералы появляются уже в монтмориллонит-цеолитовой зоне наряду с монтмориллонитом, но устойчивое развитие приобретают на глубине 750–1000 м. Эти минералы, как и монтмориллонит, развиваются за счёт изменения вулканического стекла основной массы породы и включений вулканического стекла в фенокристаллах плагиоклаза, в ассоциации с цеолитами, хлоритом, сфеном, кальцитом, рудным (гематитом, пиритом); также за счёт изменения темноцветных магматических минералов (пироксенов, биотита) в ассоциации с хлоритом, кварцем, сфеном, гематитом. В порах и трещинках, а также при выполнении вторичного цемента в туфах смешаннослойные минералы развиты в ассоциации с кварцем, кальцитом, сфеном, хлоритом. Для них характерны спутанноволокнистые выделения в смеси с хлоритом, как правило с примесью кальцита, сфена и гематита.

С глубиной и ростом температур происходит закономерное изменение как состава, оптических констант, так и форм выделения. Происходит укрупнение размеров, выделение их (особенно в трещинно-поровом пространстве) в виде хорошо образованных листоватых агрегатов, розеток. Происходит

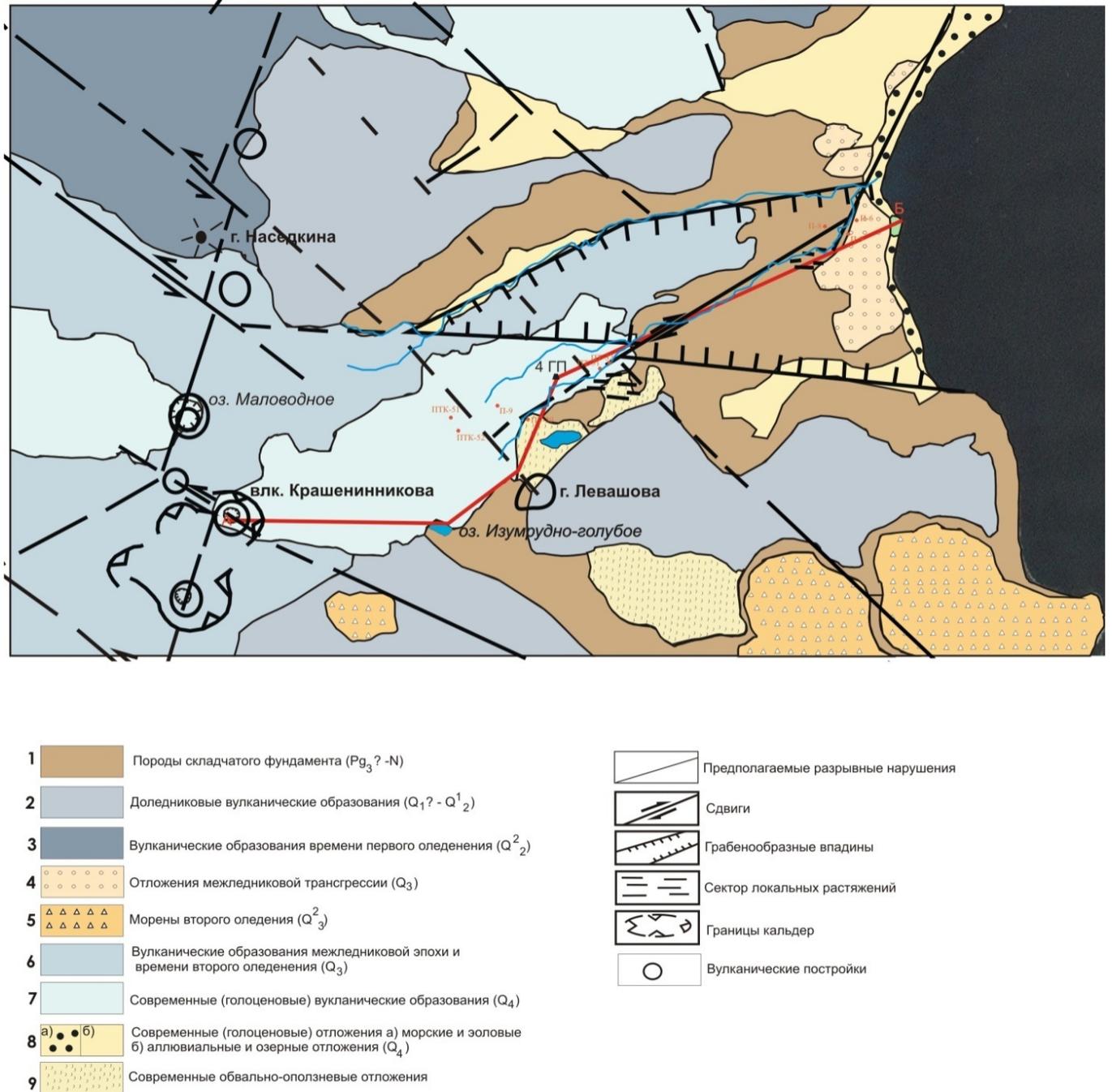


Рис. 1. Схема геологического строения района работ.

увеличение двупреломления. Образования приобретают высокий рельеф.

Также, широкое развитие имеют каркасные алюмосиликаты группы цеолитов, группы полевых шпатов; окислы — кварц, гематит, карбонаты, сульфиды, эпидот, пренит.

Группа цеолитов в скважине 4-ГП представлена гейландитом, жисмондином в интервале 300–1115 м. Встречается в ассоциации с монтмориллонит-иллитом, хлоритом, кальцитом, кварцем, альбитом,

редко с эпидотом, за счёт изменения вулканического стекла основной массы породы. Характерны псевдоморфозы гейландита по фенокристам плагиоклаза в ассоциации с альбитом (интервал 805 м) (табл. 2 на стр. 125). Так же, выделения в виде скоплений удлинённых или, часто, бесформенных кристаллических масс, с характерным волнистым погасанием. Гидратные цеолиты преобладают в низкотемпературных условиях < 150–200° С.

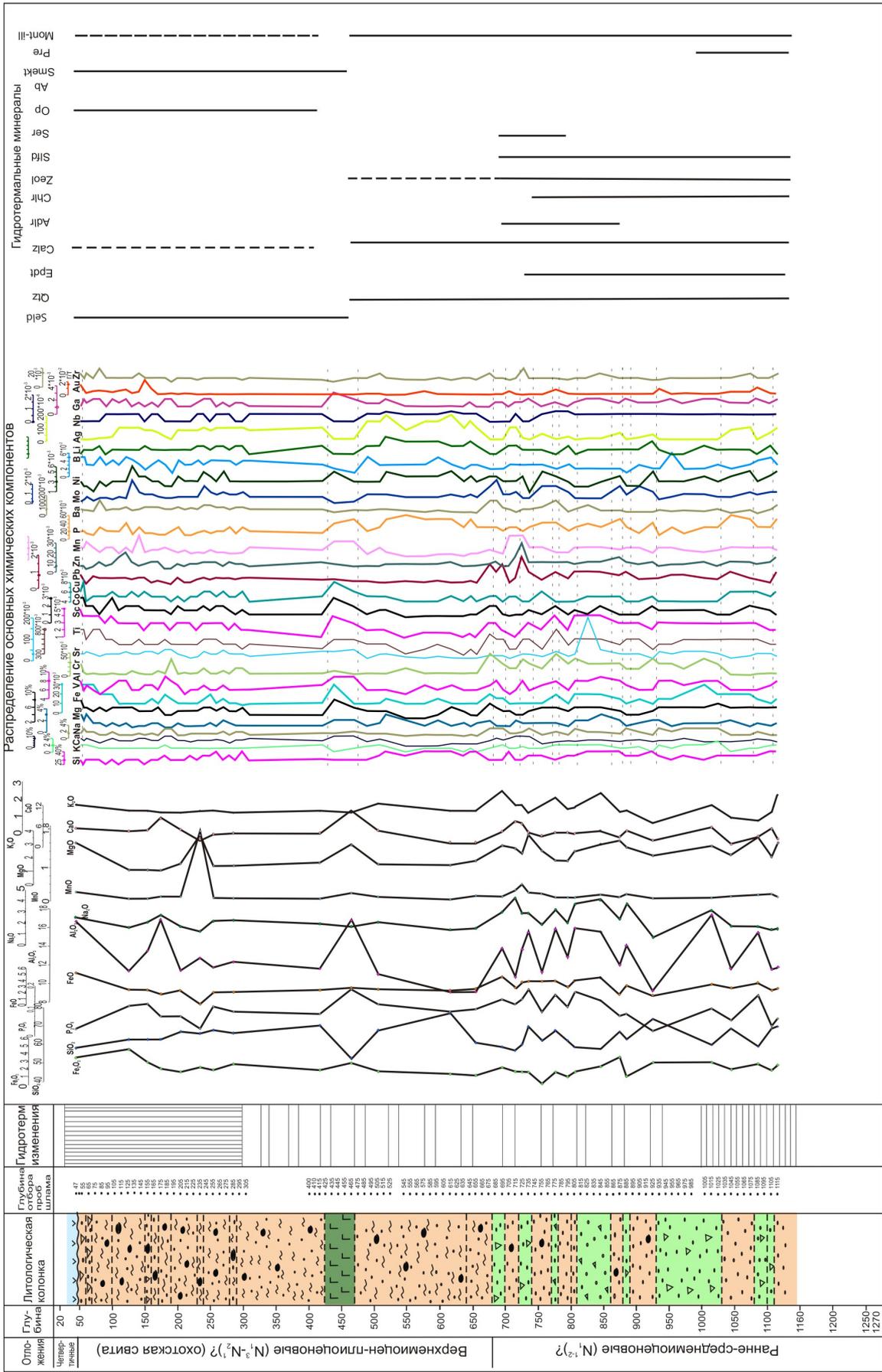


Рис. 2. Распределение основных химических компонентов и гидротермальных минералов в скважине 4-ГП.

1 - андезиты; 2 - туфы; 3 - туфы; 4 - алевролиты; 5 - микроорганизмы; вулканогенно-осадочные отложения; 6 - неизмененные; 7 - гидротермально-измененные; 8 - базальты(?). 9 - низкотемпературная смектит-сепадонит-опаловая минерализация; 10 - среднетемпературная иллит-хлорит-кальцитовая минерализация, 11 - цеолитовые метасоматиты.

Опал встречен в верхних частях скважины до глубины 445 м в массе глинистых минералов, соссюрита, смектита, селадонита и карбоната, выполняя поры и линзочки с низким показателем преломления. А также, присутствует иногда в больших количествах, образуя вторичный цемент в туффитах и туфах верхних горизонтов скважины.

Кальцит является сквозным минералом на всю глубину разреза скважины. Встречается в ассоциации с опалом, цеолитом, монтмориллонит-иллитом, сфеном, пренитом. Развита за счёт изменения фенокристов плагиоклаза, часто псевдоморфно замещая последний, темноцветных минералов (пироксена, роговой обманки).

Гидротермальные минералы группы полевых шпатов представлены К-На полевыми шпатами, наибольшее распространение из которых имеют альбит и адуляр.

В первом случае, адуляр развивается за счёт изменения фенокристов плагиоклаза, образуя скелетные формы, или, часто замещая его полностью в ассоциации с альбитом, кварцем. Очень редко образуется за счёт изменения вулканического стекла основной массы породы. Во втором случае, выполняя трещинки, образует триклинные кристаллы в ассоциации с кварцем и пиритом. В проходящем свете прозрачен, с низким двупреломлением, оптически отрицательный, удлинение положительное.

Альбит развит в большей степени чем адуляр в интервале 300–1000 м. Здесь он развивается за счёт изменения фенокристов плагиоклаза в ассоциации с кварцем, серицитом, эпидотом, хлоритом, пиритом. Встречается в кварц-кальцитовых прожилках в виде очень тонких выделений. Прозрачный, бесцветный, оптически положительный, знак удлинения положительный. Этот факт указывает на возможность его образования непосредственно из гидротермальных растворов.

Пренит развит в глубоких частях разреза (1000–1270 м), в зоне цеолитовых метасоматитов. Здесь он встречается в ассоциации с кварцем, гейландитом, монтмориллонитом, кальцитом, как правило, в порово-трещинной системе пород, иногда в цементе туфов. Характерно выделение в виде короткопризматических кристаллов, от бесцветных до окрашенных в бледно-жёлтые цвета. Часто образует радиально-лучистые агрегаты. Спайность совершенная по (001). В проходящем свете почти бесцветный, образует розетки и полисинтетические двойники с характерным зональным погасанием.

В результате петрографического описания скважины 4-ГП выявлена последовательная смена в разрезе следующих метасоматических зон (сверху-вниз): смектит-селадонит-опаловая; иллит-хлорит-кальцитовая; иллит-монтмориллонит-пренит-цеолитовая (рис. 2). Такая вертикальная метасоматическая зональность формируется в периферических условиях от оси основного восходящего потока гидротермальных растворов основного гидротермального резервуара, при значительно меньшей общей проницаемости пород и интенсивном задавливании холодными метеорными водами сверху. В этом случае, происходит плавное понижение температур в разрезе (небольшой геотермический градиент), и процесс вскипания гидротерм отсутствует, либо проявлен настолько слабо и локально, что не определяет в явном виде метасоматическую зональность. При этом, значительно увеличивается мощность монтмориллонит-цеолитовой зоны, соответствующей циркуляции гидрокарбонатно-кальциевых нагретых до 150–200°С метеорных вод, и система становится открытой по отношению к кислороду воздуха. Достаточно отчётливо проявлено наложение метасоматических изменений монтмориллонит-цеолитовой фации на уже сформированные пропилиты.

Список литературы

1. Белоусов В. И., Рычагов С. Н., Сугробов В. М. Северо-Парамуширская гидротермально-магматическая конвективная система: геологическое строение, концептуальная модель, геотермальные ресурсы // Вулканология и сейсмология, 2002. № 1. С. 34–50.
2. Коробов А. Д. Гидротермальный литогенез в областях наземного вулканизма // Автореферат дисс. на соискание уч. степ. докт. геол.-мин. наук. Москва, ГИН РАН, 1995. 44 с.
3. Набоко С. И. Минералогия действующих гидротермальных систем и минералогический критерий температурного режима в их недрах // Минералогия гидротермальных систем Камчатки и Курильских островов. М.: Наука, 1970. С. 3–12.
4. Набоко С. И. Гидротермальный метаморфизм пород в вулканических областях. М.: Изд-во АН СССР. 1963. 172 с.
5. Петрова В. Низкотемпературные вторичные минералы и их роль в литогенезе. М. Гео. 2005. 248 с.
6. Русинов В. Л. Метасоматические процессы в вулканических толщах. М.: Наука, 1989. 213 с.
7. Рычагов С. Н., Сандимирова Е. И., Бойкова И. А. и др. Северо-Курильское геотермальное месторождение: геологическое строение и перспективы использования // Вулканология и сейсмология, 2004. № 2. С. 56–72.

Таблица 1. Химический состав пород скважины 4-ГП (о. Парамушир)

интервал	Компоненты %														
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O ⁻	ппп*	P ₂ O ₅	SO ₃	Σ
47	58,02	0,8	16,7	3,6	5,32	0,17	3,12	5,42	2,48	1,66	0,22	2,18	0,03	—	99,72
125	62,9	0,47	11,23	4,95	2,5	0,05	1,08	4,66	1,58	1,32	2,14	5,9	0,12	0,92	99,82
155	62,66	0,44	13,54	3,23	2,3	0,03	1,08	4,9	2,08	1,31	1,98	5,26	0,13	0,9	99,84
175	60,68	0,42	17,06	2,026	1,62	0,1	1,02	8,16	2,69	1,2	0,68	3,12	0,08	0,86	99,95
205	66,2	0,47	11,36	2,02	2,46	0,12	1,56	4,98	1,67	1,2	0,78	5,2	0,08	1,7	99,8
235	65,2	0,5	12,91	2,46	0,03	1,64	3,66	2,1	1,2	1,28		4,27	0,03	2,07	99,73
255	67,06	0,5	11,64	1,88	2,48	0,06	1,36	3,64	2,16	1,31	0,96	4,52	0,12	2,02	99,71
285	65,6	0,53	12,36	2,33	2,36	0,05	1,36	3,98	2,22	1,2	1,15	4,5	0,1	2,28	100,02
410–420	69,8	0,43	11,51	1,84	2,34	0,05	1,6	3,85	1,89	1,31	0,92	4,16	0,09	0,8	100,49
460–470	51,38	0,56	16,84	2,86	2,84	0,16	2,92	9,76	1,62	1,2	2,3	6,8	0,19	0,82	100,25
500–510	66,84	0,52	11,02	1,7	2,52	0,06	1,44	4,5	2,04	1,74	0,88	5,07	0,13	2	100,46
610–620	76,1	0,47	9,07	1,31	2,12	0,02	1,36	1,16	1,38	1,3	0,8	3,82	0,1	0,96	99,97
650–660	75,92	0,43	9,12	1,28	2,38	0,05	1,68	1,16	1,5	1,3	0,64	3,7	0,11	1,02	100,29
690–700	60,02	0,64	14,11	2,22	4,45	0,07	2,8	4,08	2,94	2,47	1,11	3,78	0,15	1,26	100,1
710–720	58,46	0,47	10,63	1,89	2,83	0,23	2,6	6,97	4,2	1,63	1,52	8,15	0,13	сл.**	99,71
720–730	56,02	0,67	13,84	1,69	3,6	0,36	2,2	6,4	2,84	1,63	1,62	3,2	0,15	1,9	99,52
730–740	59,38	0,81	15,43	0	3,84	0,13	3,6	3,92	2,84	1,2	1,06	5,21	0,19	—	99,74
750–760	68,34	0,56	11,2	1,66	3,95	0,1	2,4	2,9	1,81	1,63	1,02	3,92	0,1	сл.	99,59
770–780	60,92	0,75	15,8	1,2	3,92	0,06	1,68	3,85	3,08	2,07	0,98	5,19	0,17	—	99,67
790–800	66,8	0,47	13,02	1,08	2,98	0,05	1,66	3,85	1,97	1,41	0,98	5,25	0,12	—	99,64
800–810	60,5	0,8	15,81	1,52	4,02	0,06	2,4	3,54	3,64	1,5	0,96	4,94	0,18	—	99,87
840–850	57,12	0,94	15,42	2,29	4,45	0,12	2,84	4,56	4,23	2,3	0,86	3,04	0,21	1,72	100,1
870–880	66,59	0,51	11,89	3,61	1,7	0,06	3,18	2,88	2,32	1,2	0,68	4,48	0,12	0,34	99,56
880–890	62,39	0,57	13,91	1,09	3,13	0,15	2,74	4,32	3,76	1,26	0,59	5,15	0,13	0,41	99,6
920–930	73,38	0,38	9,1	2,89	1,44	0,06	2,12	2,28	0,79	0,5	0,64	3,75	0,03		97,36
1000–1020	59,13	0,65	17,06	2,84	3,25	0,06	2,83	5,7	3,18	1,6	0,56	2,76	0,16	—	99,78
1040–1050	68,08	0,6	11,26	2,08	2,79	0,08	2,16	0,95	1,78	0,84	0,48	4,65	0,09	—	99,84
1080–1090	57,77	0,78	15,09	2,71	3,68	0,13	3,46	3,12	1,76	0,66	1,11	6,94	0,24	—	97,45
1100–1110	67,61	0,55	11,15	1,88	2,59	0,13	2,08	5,5	1,45	1,2	0,61	5,42	0,06	—	100,23
1110–1120	68,67	0,61	11,4	2,52	2,7	0,1	3	2,33	1,61	2,2	0,59	3,82	0,1	—	99,72

Прочерк — не обнаружено; пустая клетка — не определялось; сл. — следовые количества.
* потери при прокаливании.

H₂O⁺ не обнаружено. CO₂ определено в интервале 720-730 в количестве 3,4%.

Анализы выполнены в Аналитическом центре ИВиС ДВО РАН. Аналитик Т. Г. Осетрова

Таблица 2. Результаты рентгенофазового анализа пород скважины 4-ГП

Интервал 165 м	Селадонит	Интервал 165 м	Жисмондин	Интервал 1115 м	Гейландит
d(A)/I	d(A)/I	d(A)/I	d(A)/I	d(A)/I	d(A)/I
9,93(29)	10(8)	7,07(24)	7,3(10)	9,35(30)	9,8(8)
4,53(25)	4,52(8)	4,17(5,5)	4,19(8)	4(39)	3,98(10)
4,35(30)	4,32(6)	3,52(29)	3,55(4)	4,43(22)	4,45(4,5)
3,61(33)	3,62(8)	3,24(37)	3,24(10)	3,98(38)	3,98(10)
3,31(88)	3,31(8)	3(34)	2,99(4)	3,45(16)	3,47(6)
3,01(48)	3,08(8)	2,95(14)	2,99(4)	3,17(88)	3,13(6)
2,88(10)	2,89(4)	2,7(8)	2,73(10)	3,01(27)	2,95(8)
2,58(32)	2,57(10)	2,36(7)	2,38(2,5)	2,93(16)	2,95(8)

Дрон-2. Режим съемки: напряжение 30 кВ, ток 20мА, Си-излучение.
(С-ПбГУ, Г. Л. Старова, г. Санкт-Петербург).