

12. Ньюкомб С. Астрономия в общепонятном изложении. СПб.: Изд. К.Л. Риккера, 1896. 748 с.
13. Сидоренков Н.С. Физика нестабильностей вращения Земли. М.: Наука, 2002. 384 с.
14. Сидоренков Н.С. Межгодовые колебания системы атмосфера–океан–Земля // Физика. 1998. С. 39-51
15. Тимашев С.В. О базовых принципах «нового диалога с природой» // Проблемы геофизики XXI века: в 2 кн. М.: Наука, 2003. Кн. 1. С. 104-141.
16. Федоров Е.П., Корсунь А.А., Майор С.П. и др. Движение полюса Земли с 1890.0 по 1969.0. Киев: Наукова думка, 1972. 264 с.
17. Широков В.А. Влияние космических факторов на геодинамическую обстановку и ее долгосрочный прогноз для северо-западного участка тихоокеанской тектонической зоны // Вулканизм и геодинамика. М.: Наука, 1977. С.103-115.
18. Широков В.А., Кузьмин Ю.Д. О влиянии космических факторов на сейсмичность и вулканизм Камчатки // Вопр. геогр. Камчатки. 1990. № 10. С. 90-98.
19. IERS (IERS) C01 (<http://hpiers.obspm.fr/>).
20. IERS Annual Report. Paris. 2000. (1890 - 2000) гг. (<http://hpiers.obspm.fr/>)
21. IERS Annual Report. Paris. 2006. (1890 - 2006), (1846-1889) гг. (<http://hpiers.obspm.fr/>)
22. IERS Internet-monitoring. Paris. 2007. (1962 - 2007) гг. (<http://hpiers.obspm.fr/>)
23. Sourian A., Cazenave A. Reevaluation of the Chandler wobble seismic excitation from recent data // Earth Planet. Sci. Lett. 1985. V. 75. № 4. P. 410-416.

УДК 551.23/552.5/553.2

УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ГЛИНОЗЕМИСТЫХ ОСАДКОВ В ЗОНЕ СМЕШЕНИЯ
КИСЛЫХ И СУБЩЕЛОЧНЫХ ВОДОТОКОВ В ИСТОКАХ РЕКИ МУТНОЙ

О.Ф. Карданова¹, Л.А. Казьмин²

¹ *Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006; e-mail: kof@kscnet.ru*

² *Институт геохимии СО РАН, Иркутск*

В районе Кихпиньчского долгоживущего вулканического центра (КДВЦ) на четырех полях были встречены глиноземистые осадки (ГО), имеющие химический состав бокситов (рис. 1). Основной способ образования ГО в рассматриваемом районе – осаждение в зоне смешения субщелочных и кислых вод. Особенности условий образования глиноземистых осадков, их химический состав подробно рассмотрен в статье одного из авторов [1]. На Южном поле (см. рис. 1, поле 1) осаждение глиноземистых осадков происходило в зоне смешения субщелочных вод термальных источников и кислых вод из-под многолетнего снежника.

Поставщиком Al^{3+} на этом поле являлась кислая вода из-под многолетнего снежника, источником ионов Ca^{2+} , Mg^{2+} и HCO_3^- вода термальных источников. На поле «Восточное» (см. рис. 1, поле 2) образование ГО, не содержащих сульфаты, происходило при взаимодействии кислой воды, поступающей из трещины в карбонатной подложке, и субщелочной воды источников. Кислая вода на этом поле обязана своим происхождением воздействию сернистых газов сольфатар на грунтовые воды. На поле «Щеки» (см. рис. 1, поле 3) ГО образовывались при воздействии разбавленных термальных Cl-Na вод на белый галлузитовый цемент конгломератов. На поле 4 (см. рис. 1) в истоке реки Мутной на Камчатке (зона смешения водотоков ручья Кислого и реки Светлой) образование ГО наблюдалось только в 1982 году. Осадки на этом поле исследовались в 1981-1982 и 1997 гг.

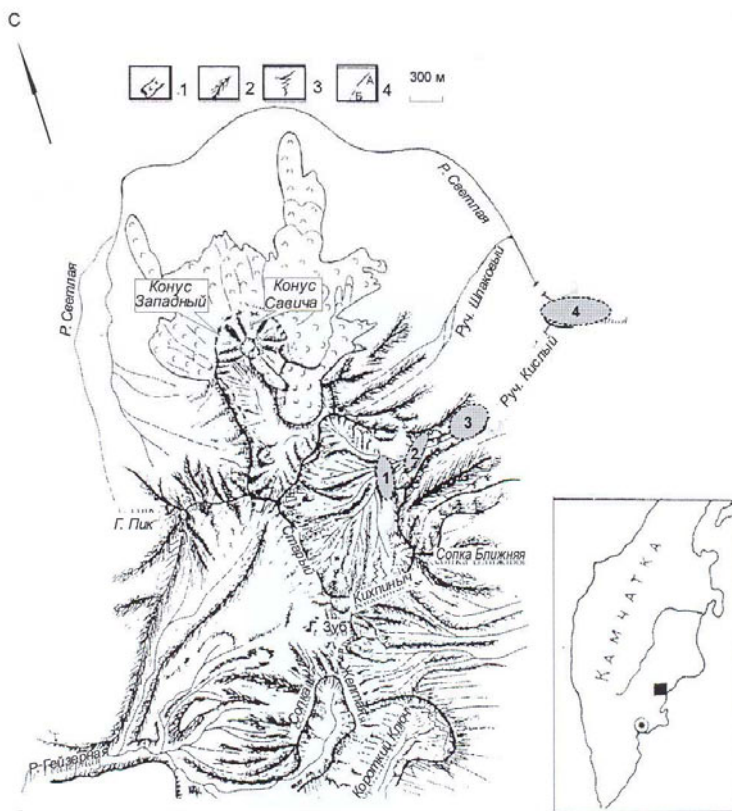


Рис. 1. Схематическая карта Кихпинского долгоживущего вулканического центра. Примечание: 1 – базальтовые потоки конуса Савича; 2 – водоразделы; 3 – крутые осыпи; 4 – водотоки: а – постоянные, б – временные. Пунктиром обозначены примерные границы термальных полей: 1 – Южное; 2 – Восточное; 3 – «Щеки». 4 – исток реки Мутной (зона смешения водотоков ручья Кислого и реки Светлой). На врезке Камчатки: кружок с точкой – г. Петропавловск-Камчатский; квадрат – район исследований.

Данные по минеральному и химическому составу осадков в истоках реки Мутной. Рассмотрим подробнее осадки, образующиеся в зоне контакта водотоков реки Светлой и ручья Кислого. В 1981 году ручей Кислый в ~ 1 км от реки Светлой разлился тремя широкими рукавами по тундре и лесу, покрывая все розовой вязкой глиной под тонким слоем воды. Течение в разлившемся ручье Кислом было едва заметно. Самый мощный водоток остановился в 10 м от реки Светлой, образовав глинистый розовый краевой вал высотой около 1.5 м. Химический состав этого осадка приведен в таблице 1 (обр. 914 б). Этот осадок состоял преимущественно из каолинита, гетита, аморфного кремнезема и небольшого количества

воднорастворимых сульфатов. Последние образуются на испарительном барьере из сульфатных вод.

Таблица 1. Химический состав осадков по руч. Кислому и в зоне смешения водотоков р. Светлой и руч. Кислого (исток р. Мутной)

Район	Зона смешения воды р. Светлой с ручьем Кислым (исток р. Мутной), 1997 г.						Ручей Кислый, 1982 г.	Исток р. Мутной, (зона смешения) 1982 г.		Ручей Кислый на расстоянии		
	1516 а	1516 б	1516 г	1518 б	1518 в	1519		1047 в ₂	1047 в ₃	в 1 км, берег	в 10 м, русло	~3 км, русло
SiO ₂	48.12	50.14	53.56	16.59	51.08	55.72	13.94	13.1	9.64	50.14	51.03	5.07
TiO ₂	0.79	0.8	0.82	0.11	0.74	0.8	0.01	н.о.	0.23	0.78	0.81	0.06
Al ₂ O ₃	21.3	20.09	19.01	13.1	19.63	17.4	4.1	25.65	3.96	18.40	20.96	2.54
Fe ₂ O ₃	6.26	6.49	6.43	33.34	6.23	6.91	49.0	24.28	50.67	8.97	6.84	55.78
FeO	0.32	0.4	0.29	*	0.66	0.35	*	*	1.14	0.63	0.45	0.34
MnO	0.03	0.03	н.о.	0.04	0.03	0.1	0.23	н.о.	0.03	0.01	0.08	0.03
MgO	1.9	1.52	1.58	0.62	1.64	1.63	н.о.	1.25	1.16	1.7	1.79	0.27
CaO	1.09	1.27	1.57	0.68	1.36	1.18	2.45	1.22	0.63	1.58	0.3	н.о.
Na ₂ O	0.62	0.62	н.о.	0.27	0.65	0.8	0.38	Сл.	0.27	0.54	0.72	0.2
K ₂ O	0.3	0.48	н.о.	н.о.	0.24	0.24	0.24	Сл.	0.24	0.29	0.77	0.12
H ₂ O ⁻	7.74	7.12	5.83	12.7	5.63	5.54	17.0	32.75	9.01	5.28	5.12	9.8
H ₂ O ⁺				21.11			**	**	11.73	4.94	8.75	13.13
P ₂ O ₅	0.17	0.15	0.13	0.12	0.17	0.17	н.о.	0.55	н.о.	0.28	0.26	0.17
SO ₃ (общ.)							12.58	1.33	11.63	6.91	1.77	12.74
CO ₂				1.09								
П.П.П.	11.43	11.09	10.3		11.9	9.07						
Сумма	100.07	100.2	99.52	100.58	99.96	99.91	100.12	100.12	100.34	100.45	99.65	100.25

Примечание. * - Содержание $\Sigma \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$; ** - $\Sigma \text{H}_2\text{O}^- + \text{H}_2\text{O}^+$; н.о. - не обнаружено. Аналитики: Осетрова Т.Г. (образцы 1516 а - 1519), Байдаева Л.Н. (обр. 1047 б, 1047 в₂, 1047 в₃), Князева Г.Ф. (обр. 912, 914 б), Новоселская Г.П. (обр. 1048 а).

В 1982 г. непосредственно в зоне контакта водотоков р. Светлой и ручья Кислого (зона турбулентного завихрения) шло образование глиноземистого осадка (обр. 1047 в₂, см. табл. 1) узкой полосой 0.3-0.4x50-60 м (рис. 2 а). Осадок состоял из алюмогеля, сидерогеля,

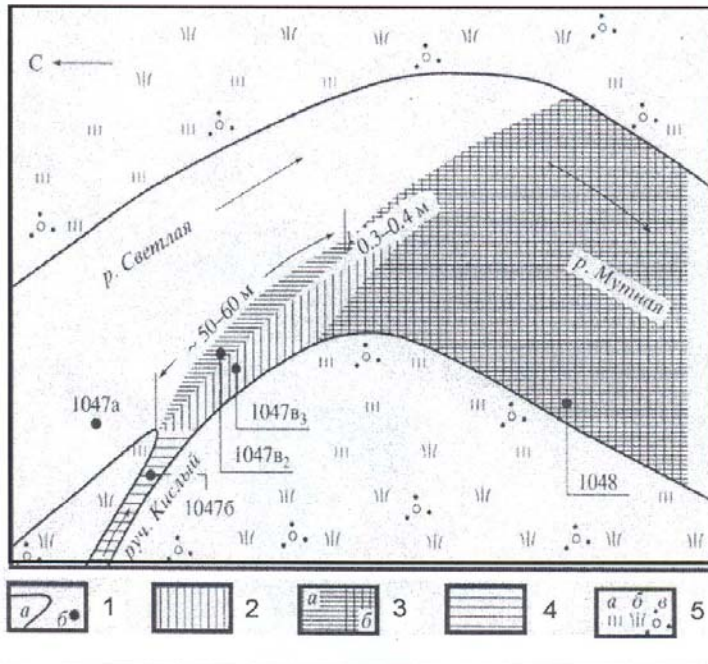


Рис. 2 а. Схематическая карта зоны слияния ручья Кислого и реки Светлой (исток реки Мутной), 1981-1982 гг. Примечание: 1 - водотоки (а - береговая линия, б - точки отбора и их номера); 2-4 - осадки (2 - железистые из близнеитральных вод; 3а - глиноземистые, 3б - железисто-глиноземистые, 4 - железистые из кислых вод); 5 - растительность (а - травянистая, б - камыш, в - кустарники).

каолинита с небольшим количеством сидерита и дельвоксита (всего ~3 %). Скорость течения в ручье Кислом была около 1 м/сек., в реке Светлой - несколько выше. Их дебиты соответственно были 283 л/сек. и >>1000 л/сек. Состав осадков в зоне смешения водотоков реки Светлой и ручья Кислого приведен в табл. 1. Состав проб воды, отобранных в разные годы в этой зоне смешения, приведен в табл. 2. Поставщиком Al^{3+} , Ca^{2+} и Mg^{2+} является ручей Кислый, а HCO_3^- - река Светлая.

В 1982 г. в зоне смешения шло образование 4 типов хемогенных осадков. Осадок в русле ручья Кислого (обр. 1047 б, см. табл. 1) состоял из гетита, алунита, ярозита и опала, состав воды приведен в табл. 2 (пр. 1047 б). На расстоянии 50-60 м в узкой зоне турбулентных завихрений шириной 0.3-0.4 м (четко наблюдаемые разнонаправленные завихрения в зоне непосредственного контакта водотоков) выпадал белый глиноземистый осадок (обр. 1047 в₂, см. табл. 1), из воды, имеющей состав, приведенный в табл. 2 (пр. 1047 в). Минеральный состав этого осадка приведен выше. Со стороны ручья Кислого за узкой зоной турбулентных завихрений шло бурное осаждение хлопьев железистого осадка (обр. 1047 в₃, см. табл. 1), состоящего из сидерогеля, алунита, ярозита и аморфного кремнезема. Четвертый тип осадка, образующийся из воды реки Мутной (пр. 1048, см. табл. 2), часто имел вид пены розоватого цвета, иногда более плотной коллоидной массы и был недоступен для отбора. По внешнему виду этот образец был похож на обр. 1518 б (см. табл. 1), отобранный в 1997 году в аналогичных условиях. Этот осадок осаждался на ветках и стволах кустарников и деревьев, выступающих из воды (также зона турбулентных завихрений и повышенной аэрации). Водо-

токи смешивались под углом $\sim 30^\circ$ (см. рис. 2 а). Поверхность непосредственного контакта водотоков была весьма большой.

Таблица 2. Зона смешения водотоков ручья Кислого и р. Светлой (исток р. Мутной)

Название № проб	Река Светлая		Ручей Кислый		Исток реки Мутной		
	1047а/82	1517/97	1047 б/82	1516/97	1047 в/82	1048/82	1518/97
Компоненты	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л
H ⁺			2.40	1.28			
NH ₄ ⁺	8.80	<0.1	12.80	1.70	8.80	8.80	<0.1
Na ⁺	11.70	12.10	27.80	30.60	11.30	12.40	13.50
K ⁺	2.10	1.50	2.30	1.40	1.70	1.90	1.40
Ca ²⁺	12.80	14.40	262.00	268.50	12.40	24.20	29.70
Mg ²⁺	7.20	7.10	40.10	26.80	7.30	8.60	8.80
Mn ²⁺	<0.1	<0.1	0.70	2.70	<0.1	<0.1	<0.1
Fe ²⁺	<0.3	<0.3	9.20	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
Fe ³⁺	<0.3	<0.3	30.20*	61.40	<0.3	<0.3	<0.3
Al ³⁺	<0.3	<0.3	41.00	38.30	<0.3	<0.3	<0.3
Σ К	42.60	35.10	428.50	431.40	41.50	55.90	53.40
Cl ⁻	6.70	7.10	18.80	12.10	6.40	7.10	7.80
SO ₄ ²⁻ + HSO ₄ ⁻	48.00	37.50	1326.00	1191.10	48.00	101.00	115.30
HCO ₃ ⁻	57.30	61.00			58.60	26.80	13.40
F ⁻	0.70	0.18	0.70	0.5	0.60	0.50	0.16
Σ А	112.70	105.78	1345.50	1204.05	113.60	135.40	136.66
H ₃ BO ₃	<0.6	2.50	4.30	2.50	4.30	<0.6	<1.2
H ₄ SiO ₄ раств.	51.20	47.20	138.00	142.70	52.00	55.50	47.20
H ₄ SiO ₄ колл.	9.00	4.00	<0.1	97.10	17.00	12.30	4.00
М г/л	0.22	0.20	1.92	1.88	0.22	0.26	0.24
pH _п	7.18		2.83		7.28	7.48	
pH _л	7.74	6.94	2.68	2.94	7.60	7.13	6.66

Примечание. * - Полевое определение Fe³⁺ - 120 мг/л. Аналитик: Сергеева С.В.

Камчатское землетрясение, произошедшее 17 августа 1983 г., вызвало оползни и сели, которые перекрыли многие каньоны в кратере вулкана Старый Кихпиныч и образовали плотину у восточного подножия вулкана Старый Кихпиныч (при выходе из каньона «Щеки»). В 1997 г. эта плотина была прорвана. После прорыва плотины большая площадь была покрыта светлым глинистым осадком (рис. 2 б и 2 в). На площади более 1 км² все междуречье р. Светлой и ручья Кислого было покрыто этими каолиновыми глинами (обр. 1519, см. табл. 1). В зоне контакта водотоков реки Светлой и ручья Кислого ГО не было обнаружено. Водотоки имели весьма большую скорость. В реку Светлую ручей Кислый (его длина 14 км) вливался двумя рукавами, меньший из них подходил почти под прямым углом, другой – под уг-

лом ~ 60°. Скорость течения, как в реке, так и в ручье была весьма большой. Река Светлая в зоне смешения текла также двумя рукавами. Основная часть реки шла по старому руслу и,



Рис. 2 б. Ручей Кислый в ~ 2 км от истоков реки Мутной. Цифрой 1 показан каолиновый осадок, образовавшийся после прорыва плотины у восточного подножия вулкана Старый Кихпинич в 1997 г.



Рис. 2 в. Каолиновое поле, образовавшееся после прорыва плотины в 1997 г. в ~ 1 км от истоков реки Мутной. Мощность слоя сухого светлого каолинового осадка более 10 см.

смешиваясь с ручьем Кислым, образовывала реку Мутную. Второй рукав через лес уходил в сторону океана, до которого ~5-6 км. По этому рукаву лосось поднимался вверх по реке Светлой на нерест. В табл. 1 приведен состав осадков, отобранных вблизи зоны смешения водотоков. У самого берега реки Светлой, на островке, образованном двумя рукавами ручья Кислого, взят образец 1516 а. В 50 м вглубь берега от предыдущей точки отобран образец 1516 б. У края террасы, вблизи разделения ручья Кислого на два рукава, взят образец 1516 г. В зоне смешения водотоков, в истоках реки Мутной, на границе раздела вода – воздух на корягах и кустах, находящихся в воде, осаждался розоватый осадок (обр. 1518 б). Наблюдается некоторая закономерность в составе осадка. В каолиновой глине, отобранной в ~ 1 км от истоков р. Мутной, содержание аморфного кремнезема больше, а каолинита меньше, чем в осадках зоны смешения. Больше всего каолинита содержится в глинах у места впадения северного рукава ручья Кислого в реку Светлую (см. обр. 1516 а). Образцы 1516 а, б, г на поверхности были сухие, обр. 1516 в, отобранный на глубине ~ 10 см (под «скорлупами») был влажным. Эти «скорлупы» отделялись друг от друга слоями кубиков пирита, часть из которых была захвачена нижней стороной «скорлупы».

Результаты физико-химического моделирования и их обсуждение. В связи с тем, что проблема генезиса бокситов остается актуальной до настоящего времени, а в исследуемом районе в отдельные годы были встречены, осадки, имеющие состав бокситов, было проведено физико-химическое моделирование, цель которого выяснить, какие параметры системы являются определяющими в этом процессе.

При физико-химическом моделировании по программе «Селектор» определялись условия, при которых могли образовываться отобранные во время полевых работ осадки. Для

расчетов использовались данные по составу воды ручья Кислого и реки Светлой в г/л. Изменяя параметры системы, добивались получения осадка, имеющего близкие к реальным состав и соотношения минералов, характерных для осадков, отобранных в поле. Важнейшей задачей было выяснение расчетным путем условий, при которых возможно осаждение ГО, имеющих состав боксита. Определялись параметры системы, наиболее сильно влияющие на содержание Al_2O_3 в осадке.

В расчетах по программе «Селектор» вводились данные гидрохимических анализов за 1982 г. по ручью Кислому (проба 1047 б – P2) и реке Светлой (проба 1047 а – P1), за 1997 г. – соответственно проба 1516 (P1) и проба 1517 (P2).

Таблица 3. Зависимость содержания минералов от количества кислорода (л) в зоне смешения, от разбавления раствора реки Светлой и от пропорций, в которых смешиваются водотоки реки Светлой и ручья Кислого.

№ вариантов	Диаспор	Гетит	Каолинит	Кварц	Кислород	P1	С:К
М-3	2.54	30.17	66.97	0	131.0	0	3:01
М-2	2.54	30.17	66.97	0	131.5	0	3:01
М-4	2.54	30.17	66.97	0	132	0	3:01
М-5	35.31	31.65	0	32.7	132.25	0	3:01
М-1	35.31	31.65	0	32.7	132.5	0	3:01
М-6	1.49	30.52	63.66	0	132.5	2	3:01
М-7	1.89	30.38	67.40	0	132.5	1.6	3:01
М-10	2.25	30.26	67.17	0	132.5	1.3	3:01
М-9	2.27	30.26	67.15	0	150	1.3	3:01
М-8	1.93	30.37	67.38	0	150	1.6	3:01
М-11	0	24.56	66.88	8.24	132.5	2	6:01

Примечание. P1 – во сколько раз разбавлен раствор реки Светлой H_2O ; С:К – пропорции, в которых смешиваются водотоки ручья Кислого и реки Светлой (в молях). В вариантах № 1-11 фиксированное содержание следующих компонентов: воздух – 180 л; Al^{3+} – 0.15 г/л; Fe^{3+} – 0.12 г/л; Ca^{2+} – 0.32 г/л.

Эти расчеты позволяют выяснить физико-химические параметры, при которых возможно образование осадка, имеющего состав бокситов, и влияние различных факторов на этот процесс. По расчетным данным протобокситы с большим содержанием диаспора могут образовываться в довольно узких интервалах значений по каждому отдельному параметру. Таких сочетаний различных параметров, при которых возможно его образование, достаточно много. К параметрам, влияющим на образование ГО, относятся: а) концентрации таких элементов как Al^{3+} , Ca^{2+} и H_4SiO_4 ; б) содержание в воде воздуха и кислорода и соотношения

между ними; в) пропорции, в которых смешиваются водотоки; г) разбавление (например, атмосферными осадками или талой водой) или испарение.

В качестве примера расчетов, основанных на анализах 1982 г., взята таблица 3, где четко видно влияние разбавления раствора р. Светлой водой на состав осадка. Разбавление водой в 2 раза раствора реки Светлой ведет к смене состава осадка, вместо осадка кварц-гетит-диаспорового появляется кварц-гетит-каолининовый (М-1 и М-11). Кроме того, на соотношение минералов в осадке также сказываются пропорции, в которых смешиваются водотоки (М-6 и М-11). Иногда незначительное изменение в содержании кислорода ведет к резкой смене состава осадка. Увеличение содержания последнего с 132 л до 132.25-132.5 л приводит к резкой смене состава осадка с гетит – каолининового на кварц – гетит - диаспоровый (М-4 и М-5, М-6, см. табл. 3). Но если при содержании кислорода 132.5 л произойдет разбавление раствора реки Светлой в 2 раза, то в осадке исчезнет диаспор и появится каолинит (М-1 и М-6).

Расчет на основе анализов проб, отобранных в 1997 г., показал следующее. Наибольшая вероятность образования тонких пиритных слоев, разделяющих отдельные слои светлых каолининовых глин, приходится на вариант № 34 (рис. 3 а), в которых пирит составляет 76

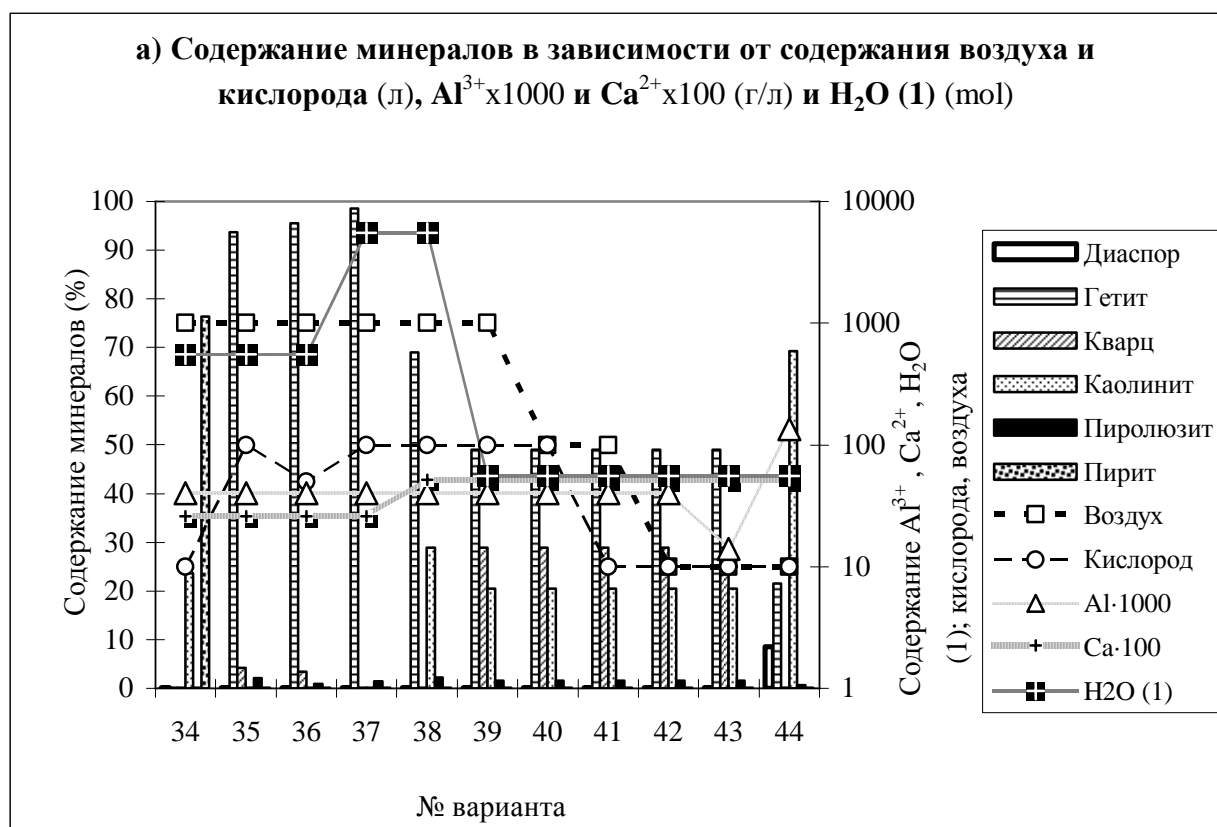


Рис. 3 а. Для №№ 34-44 постоянные значения: H_2O (2) = 555.1; $K : C = 1:5$; $H_4SiO_4 = 0.139$ г/л; $HCO_3^- = 0.061$ г/л; $P_2 = 2$.

%, каолинит - 24 %. Таких пиритных слоев было зафиксировано 2. В примечании к этому рисунку указаны компоненты, имеющие постоянные значения. На этой смешанной гистограм-

ме видно, изменение каких параметров ведет к смене минерального состава осадков. Пирит появляется тогда, когда соотношение воздух-кислород равно 100. Уменьшение этого соотношения до 10 (№ 35) приводит к исчезновению пирита и каолинита, вместо них образуется гетит (94 %) и кварц (6 %). Увеличение содержания Са в воде (№№ 37-38) ведет к появлению каолинита и уменьшению содержания гетита (29 % и 69 % соответственно). При сравнении №№ 38-39 видно, что уменьшение разбавления от 100 до 0 приводит к появлению кварца (29 %), уменьшению содержания гетита (до 49 %) и каолинита (до 20 %). При высоком содержании Ca^{2+} в воде (0.517 г/л) уменьшение содержания Al^{3+} с 0.04 г/л до 0.014 г/л не влияет на состав осадка. Но его увеличение до 0.135 г/л ведет к появлению диаспора в осадке (~ 8.5 %).

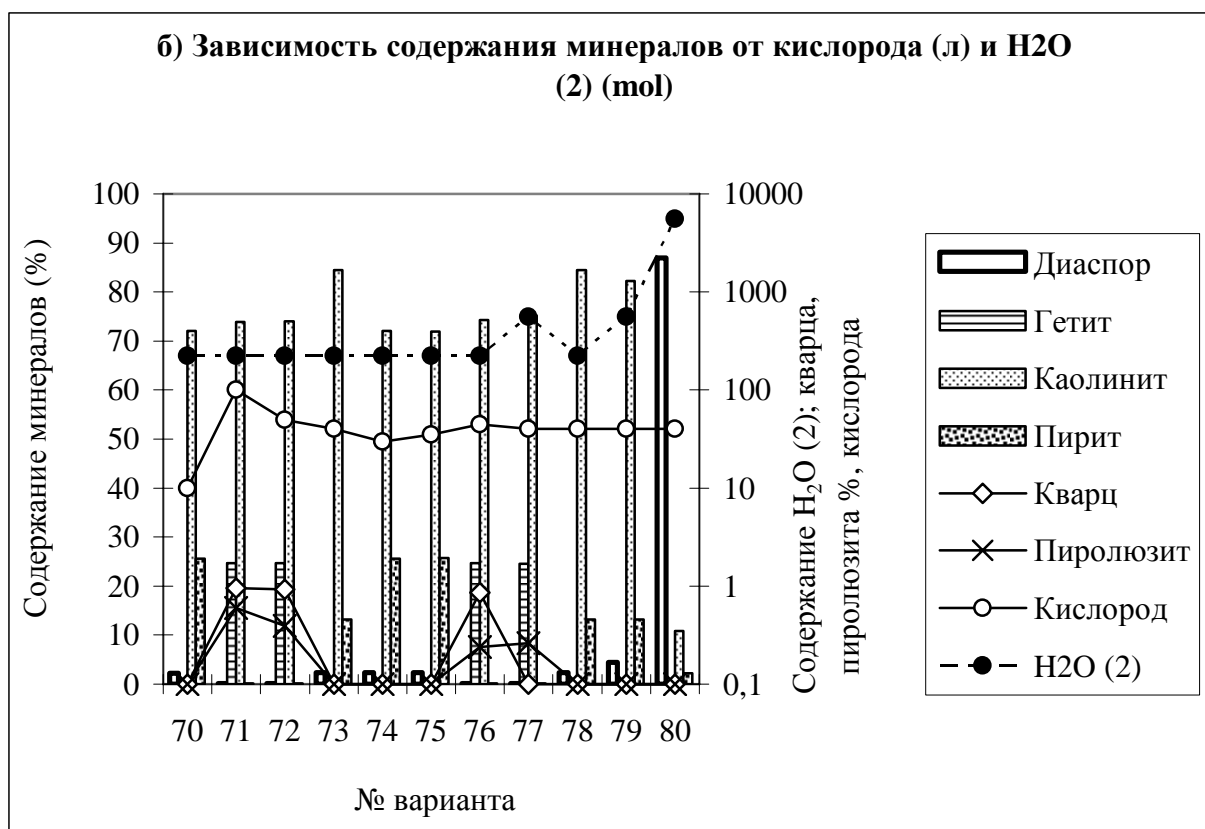


Рис. 3 б. Для №№ 70-80 постоянные значения: H_2O (1) = 55.51; Al^{3+} = 0.135 г/л; Ca^{2+} = 0.259 г/л; H_4SiO_4 = 0.139 г/л; P_2 = 0; воздух = 1000 л; К:С = 1:4. Содержание H_4SiO_4 = 0.239 г/л в №№ 70-77 и 0.138 г/л в №№ 78-80.

В других вариантах каолинит преобладает (~ 72 %), пирита существенно меньше (~ 26 %), и ~ 2 % диаспора (рис. 3 б, № 70, 74-75). Это возможно при постоянном значении компонентов, указанных в примечании к рисунку, при этом содержание H_4SiO_4 (№№ 70-77) и Al^{3+} в воде ручья Кислого выше реально наблюдаемого почти в 2 раза, хотя и могло существовать. Содержание воздуха в воде должно быть 1000 л (как в варианте № 34), кислорода - несколько выше (10-35 л). Увеличение последнего до 40 л (№ 73) ведет к изменению соотношения каолинита и пирита в осадке. При увеличении содержания кислорода до 50-100 л (№ 71-72) в осадке исчезают диаспор и пирит, но появляются гетит (24.6 %) и немного кварц-

ца (до 1 %). В варианте № 77 при всех тех же параметрах, что и в варианте № 73, при разбавлении раствора реки Светлой в 2.5 раза исчезает диаспор и пирит, но появляется гетит (24.5 %). В вариантах № 73 и 78 все параметры одинаковы, кроме содержания H_4SiO_4 , которая в первом случае в 2 раза выше, но это на составе осадка не сказывается. Но увеличение содержания H_4SiO_4 в варианте № 77 в 2 раза по сравнению с № 79 (при всех остальных одинаковых компонентах) ведет к резкому изменению состава осадка. В первом случае, когда разбавление отсутствует, осадок представлен каолинитом (~ 75 %) и гетитом (~ 24.6 %). Во втором – исчезает гетит и появляется пирит (13 %), диаспор (4.5 %) и увеличивается содержание каолинита до ~ 82.5 %. Это наблюдается при разбавлении раствора реки Светлой в 2.5 раза.

Розовый глинистый осадок (обр. 1518 б, см. табл. 1), осаждавшийся на поверхности кустов и коряг, встречающихся вдоль берега р. Мутной, состоит из почти равного количества гетита и каолинита, кроме того ~1.5% кальцита. В 1982 г похожий осадок осаждался так же, как и в 1997 г., на поверхности коряг, на ветвях и стволах кустов. По минеральному составу и соотношению минералов ближе всего к этому осадку вариант № 86 (рис. 3 в), но в этом

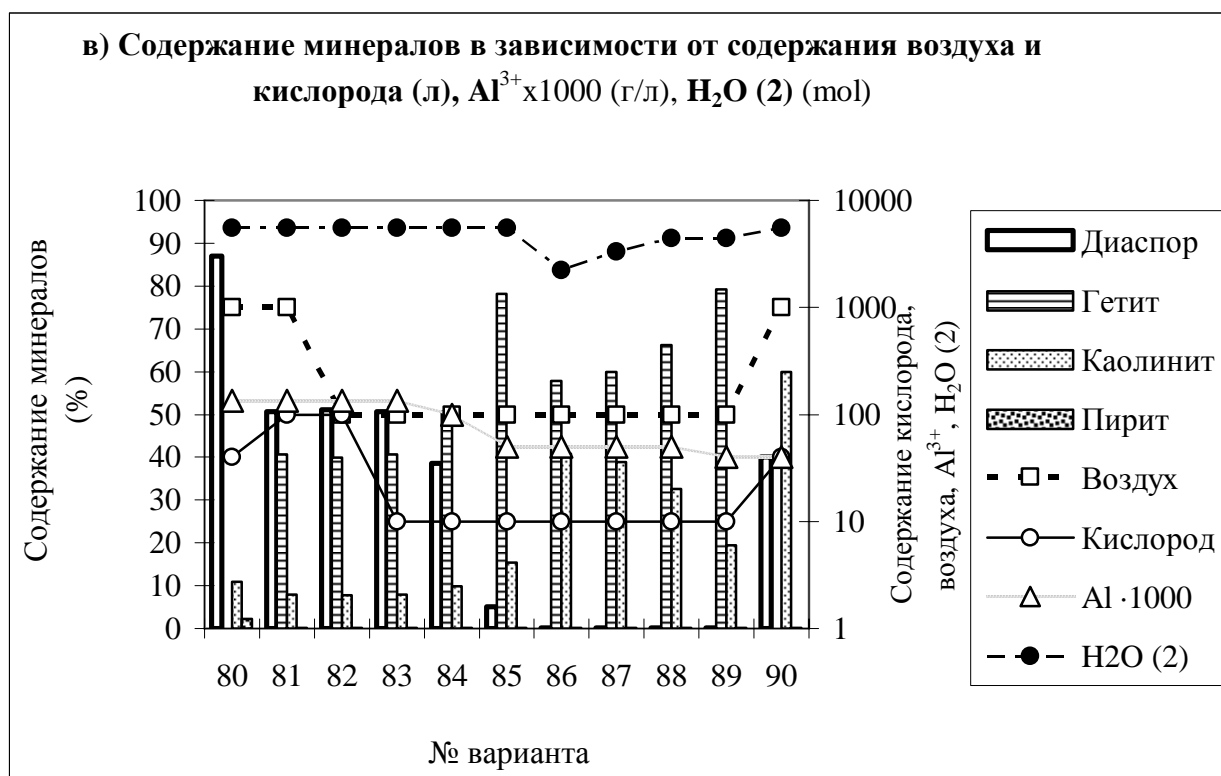


Рис. 3 в. Для №№ 80-90 постоянные значения имеют компоненты: H_2O (1) = 55.51; Ca = 0.259 г/л; H_4SiO_4 = 0.138 г/л; HCO_3^- = 0.061 г/л; P_1 = 0; $K:C$ = 1:4.

варианте на ~ 8 % содержание гетита выше, а каолинита ниже, чем в реальном образце. Благоприятствующими факторами для образования такого осадка, являются меньшая скорость результирующего водотока - реки Мутной, чем в ручье Кислом и реке Светлой, и повышенная аэрация. При высоком содержании воздуха и алюминия в воде увеличение кислорода с 40 до 100 л (№№ 80-81) ведет к появлению гетита в осадке и уменьшению содержания диас-

пора почти на половину. Уменьшение содержания в воде Al^{3+} с 0.135 г/л до 100 мг/л (№№ 83-84) не меняет минеральный состав, меняются только соотношения минералов в осадке. Дальнейшее снижение содержания алюминия до 0.05 г/л (№№ 84-85) ведет к резкому снижению содержания диаспора (с 35% до 5 %), возрастанию на 1/3 содержания гетита и каолинита. Уменьшение разбавления раствора реки Светлой (P_2) с 25 до 10 (№№ 85-86) ведет к исчезновению диаспора, уменьшению содержания гетита и резкому возрастанию каолинита в осадке. При изменении содержания Al^{3+} в воде с 0.135 г/л до 0.04 г/л (№№ 80, 90) в осадке на половину меньше диаспора и больше каолинита.

Светлый глинистый осадок (см. табл. 1, обр. 1518 в), взятый на берегу реки Мутной в 2-3 м от точки 1518 б, имел минеральный состав, похожий на другие образцы, отобранные на берегу в районе ручья Кислого и реки Светлой. Эти осадки (см. табл. 1, образцы 1516 а, б, г) состояли из каолинита (60-64 %), кремнезема (27.5-31 %) и гетита (8.3-9.1 %). Количество гетита в образце 1518в не изменилось, но на ~ 8 % увеличилось содержание кремнезема (за счет каолинита). На содержание кремнезема в осадке в значительной степени влияет испарение (рис. 3 г, №№ 65-66, где $P_2=0.25$ и 0 соответственно). Сильное испарение с поверхности

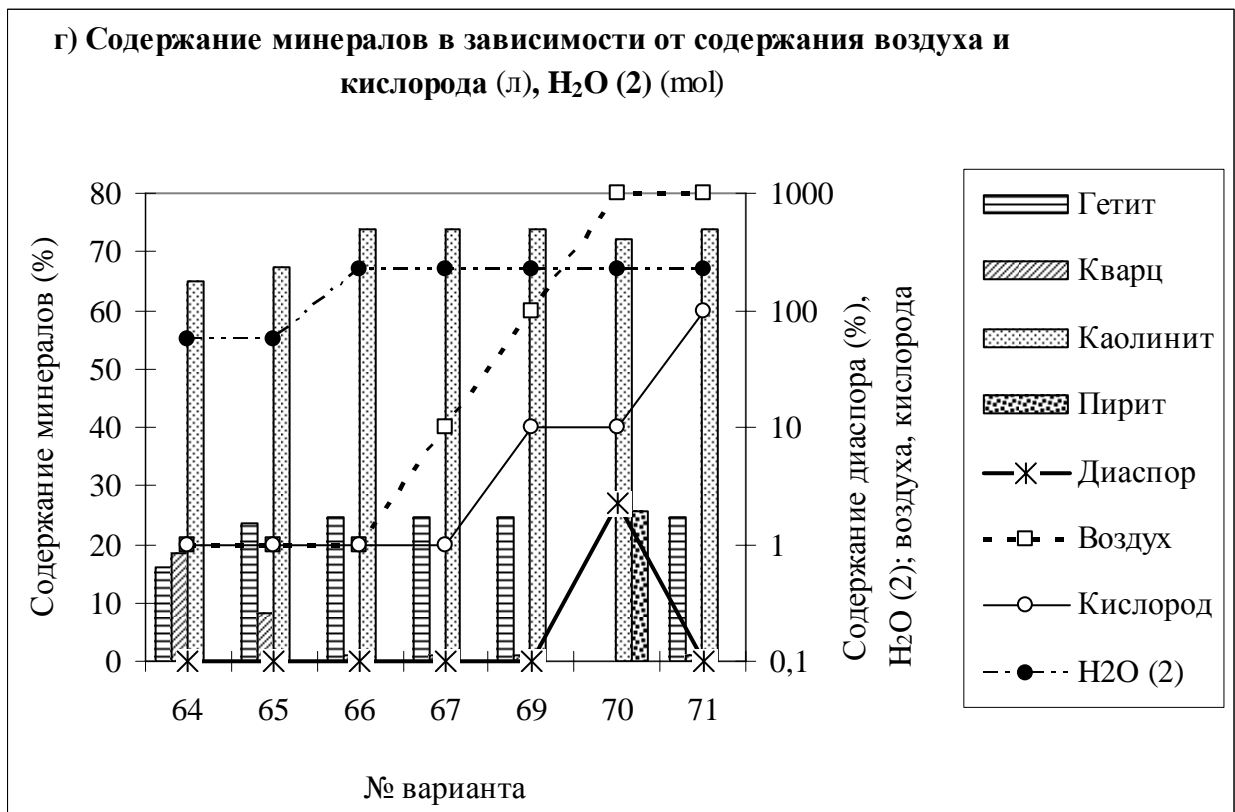


Рис. 3 г. Для №№ 64-71 постоянные значения: H_2O (1) = 55.51; $P_1 = 0$; $Al^{3+} = 0.135$ г/л; $Ca^{2+} = 0.259$ г/л; $H_4SiO_4 = 0.139$ г/л; $HCO_3^- = 0.061$ г/л. В №№ 65-71 пропорции, в которых свеживаются водотоки (ручей Кислый – К и река Светлая – С) К:С = 1:4, в № 64 К:С = 1:10.

водотока (0.25) ведет к увеличению содержания кремнезема в осадке. На этой же гистограмме четко видно влияние соотношения воздух / кислород (№ 69-71) на состав осадка. Если оно 10:1, то осадок состоит из $\frac{3}{4}$ каолинита и $\frac{1}{4}$ гетита, при его увеличении до 100:1 гетит исче-

зает и появляется пирит и ~ 2 % диаспора. Сухой светлый глинистый осадок (обр.1519) занявший большую территорию, о чем сказано выше, состоял из 51 % каолинита, 40 % кремнезема и 9 % гетита. В расчетных сериях пока не удалось получить состав осадка, полностью отвечающий реальному составу светлых каолиновых глин, покрывших все междуречье ручья Кислого и реки Светлой. Это задача на будущее.

На рис. 3 д четко видно влияние содержания Ca^{2+} в воде, увеличение содержания которого с 0.259 г/л (№№ 46-47) до 0.517 г/л (№№ 44-45 и 48-50) приводит к появлению диаспора и некоторому увеличению содержания каолинита в осадке. Увеличение содержания в воде H_4SiO_4 с 0.138 г/л (№ 50) до 0.239 г/л (№ 51-52) ведет к исчезновению диаспора в осадке и увеличению каолинита на 10 %.

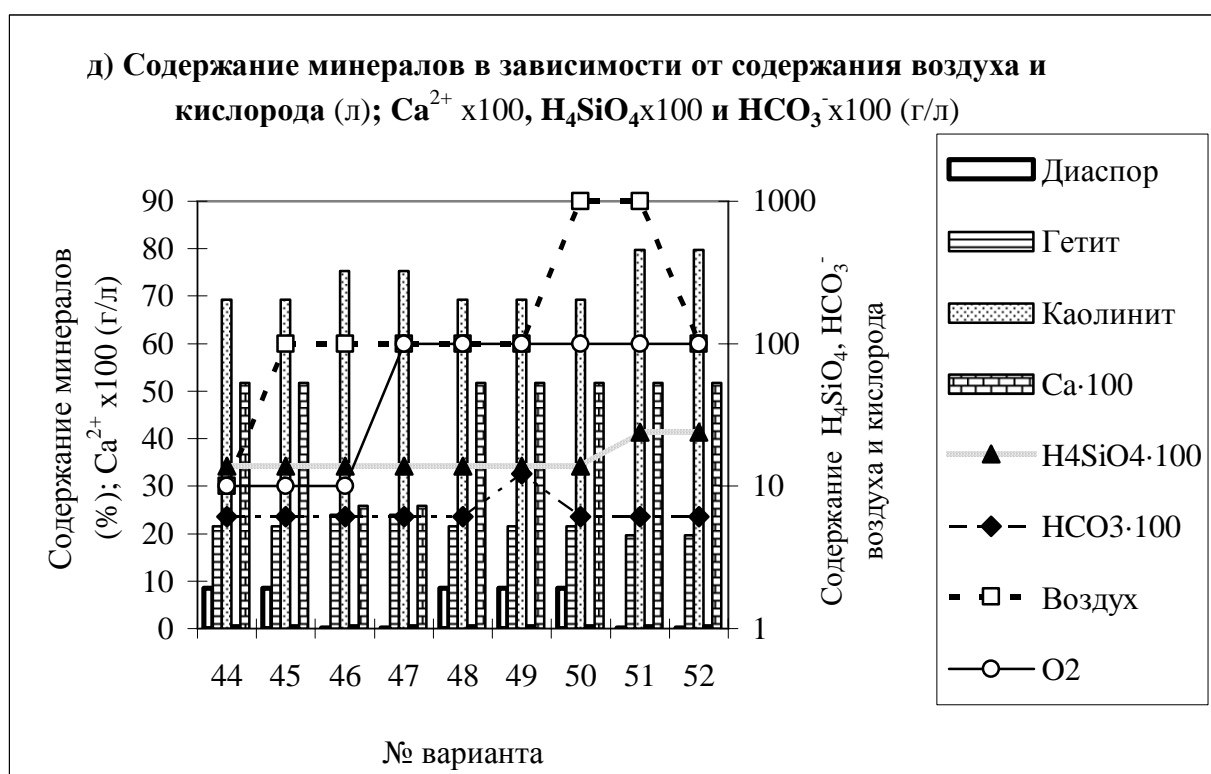


Рис. 3 д. Для №№ 44-52 постоянные значения: $P_1=0$; $P_2=2$; $\text{H}_2\text{O} (1) = 55.51$; $\text{H}_2\text{O} (2) = 555.1$; $\text{Al}^{3+} = 0.135$ г/л; $K : C = 1:4$.

Содержание диаспора в осадке может достигать по расчетным данным 20-40 % (рис. 3 е, варианты №№ 90-92) при исходных содержаниях в воде Al^{3+} , Ca^{2+} , HCO_3^- , H_4SiO_4 , но при очень большом содержании воздуха (1000 л) и большом разбавлении раствора реки Светлой водой, что возможно при интенсивном таянии снега весной. В примечании к этому рисунку приведены конкретные параметры системы. Изменение содержания кислорода всего на 5-10 л может кардинально изменить состав осадка. Так, увеличение содержания кислорода в воде всего на 5 л - с 40 (см. рис. 3 е, № 90) до 45 (там же, № 93) ведет к смене минерального состава осадка, вместо 40 % диаспора и 60 % каолинита (№ 90) появляется 94 % гетит и остается всего 6 % каолинита. Изменение содержания кислорода на 10 л (с 40 до 30 л, №№ 90 и 92,

см. рис. 3 е) ведет к появлению в осадке пирита, резкому (более чем в 5 раз) уменьшению каолинита и снижению в 2 раза содержания диаспора. Изменение содержания воздуха в воде от 100 до 1000 л слабо влияет на минеральный состав осадка (см. рис. 3 е, №№ 93-100). Эти расчеты показывают, что при увеличении в воде содержания кислорода всего на 5 л глиноземистые осадки сменяются железистыми.

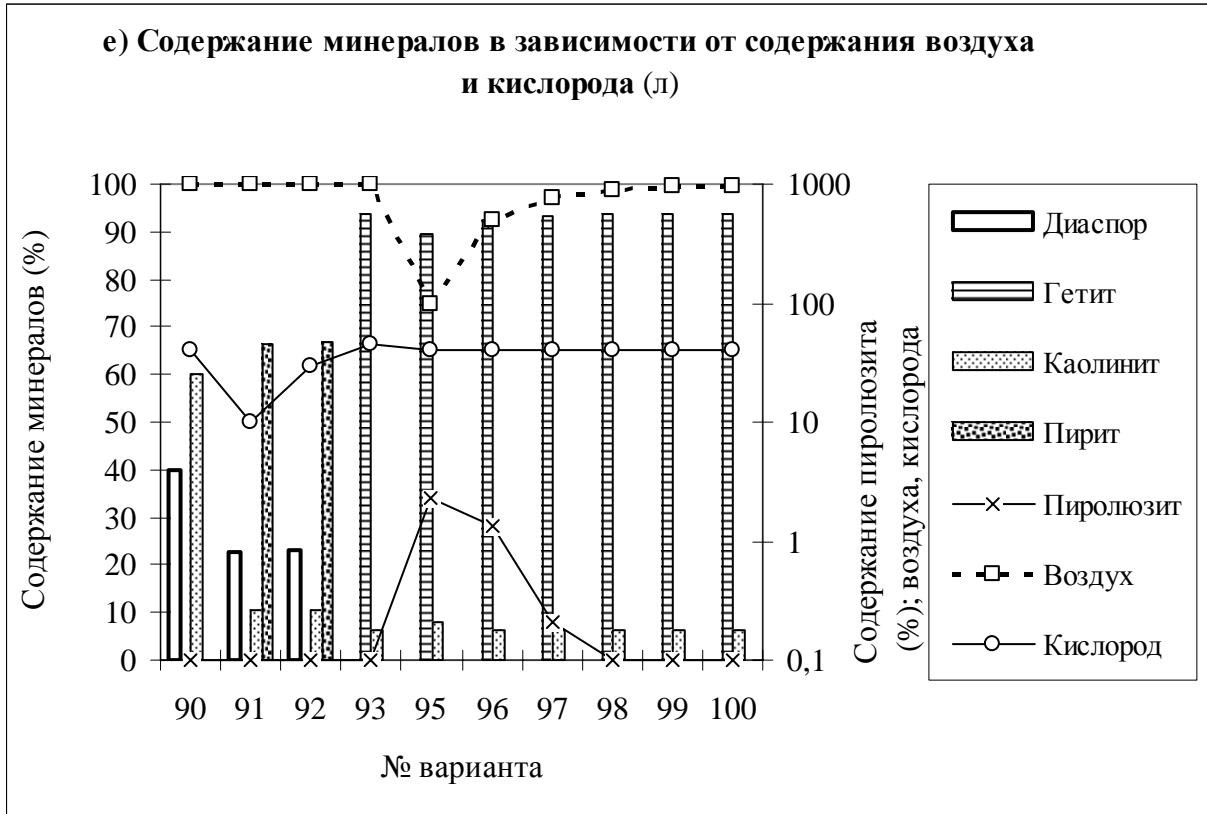


Рис. 3 е. Для №№ 90-100 постоянные значения: H_2O (1) = 55.51; H_2O (2) = 5551; Ca^{2+} = 0.259 г/л; Al^{3+} = 0.04 г/л; H_4SiO_4 = 0.139 г/л; HCO_3^- = 0.061 г/л; K:C = 1:4; P_1 = 0; P_2 = 25.

Расчетные значения pH и Eh для парагенетических ассоциаций близки к реальным параметрам, к значениям, определяемым в поле.

Расчеты, проведенные на основе гидрохимических анализов воды (см. табл. 2, пробы 1047 а-в), отобранных в 1982 г. в ручье Кислом и реке Светлой, показали возможность образования осадка, близкого к природному (образец 1047 в₂, см. табл. 1). Эти расчеты показали, что глиноземистые осадки, близкие по составу бокситам, образуются при смешении водотоков в соотношениях от 1:3 до 1:6. При содержании алюминия в воде 0.068-0.1 г/л обычно образуются ассоциации диаспор – гетит – аморфный кремнезем, если содержание алюминия в воде выше (0.15-0.3 г/л), то чаще появляются ассоциации диаспор – гетит – каолинит. Осадки с алунитом (каолинит – гетит – алунит), подобные образцу 1047 в₃, как правило, образуются тогда, когда содержание воздуха в воде равно или меньше, чем кислорода. В вариантах, где в составе осадка присутствует алунит, соотношение дебитов водотоков, как правило, таково, что кислой воды должно быть столько же, сколько слабощелочной, или больше, примерно так,

как при образовании осадка 1047 в₃ (см. рис. 2 а, табл. 1). Следует также отметить, что в воде водотоков мало Na^+ и K^+ , но много NH_4^+ , что ведет к образованию аммониаалунита, а не К- или Na-алунита. Для аммониаалунита и оксониаалунита надежных термодинамических данных пока нет. Поэтому расчетные данные для тех случаев, где встречается алунит достаточно приближительные. Но они отражают характер процесса образования алунита в осадке.

Заключение. По результатам физико-химического моделирования можно сделать следующие выводы.

1) Из исходного гидрохимического состава вод в зоне смешения водотоков ручья Кислого и р. Светлой возможно образование ГО, не содержащих сульфаты, в узких интервалах значений отдельных параметров.

2) Чем выше в зоне контакта содержание алюминия в воде, тем больше содержание диаспора в осадке.

3) Для образования ГО определяющим факторами в зоне контакта водотоков являются: а) содержание алюминия в ручье Кислом; б) соотношения, в которых смешиваются водотоки; в) содержание воздуха и кислорода в растворе в зоне контакта (см. 3 в); г) разбавление (талой или дождевой водой) или концентрация (испарение) растворов водотоков.

4) Физико-химическое моделирование показало: а) при исходном гидрохимическом составе водотоков и высоком содержании воздуха в зоне их смешения содержание диаспора в осадке чутко реагирует на содержание растворенного кислорода в системе (изменение последнего всего на 5 л резко меняет состав осадка с диаспор - каолинитового на железистый); б) при одинаковом содержании кислорода изменение содержания воздуха от 100 л до 975 л практически не влияет на характер осадка.

5) По данным физико-химического моделирования в зоне смешения водотоков в широком интервале значений основным минералом хемогенных осадков являлся каолинит, наиболее распространенной была ассоциация минералов каолинит + гетит, часто с кремнеземом. Подобная картина находит подтверждение на рассматриваемом природном объекте (истоки реки Мутной).

6) Моделирование позволило выяснить условия образования тех типов осадков или минеральных ассоциаций, наблюдаемых в зоне контакта водотоков, для которых эти условия были неизвестны (например, сухой осадок, имеющий пирит - каолинитовый или каолинит – пиритный состав).

7) Расчеты показывают влияние различных параметров (например, содержание воздуха и кислорода в зоне контакта), которые по разным причинам не могли быть определены в поле.

8) К параметрам, оказывающим определенное влияние на состав осадков, но которые сложно учесть при расчетах, относятся: а) дебит водотоков; б) их скорость; в) угол, под ко-

торым ручей Кислый впадает в реку Светлую. Этот угол определяет активную площадь соприкосновения водных масс, что влияет на характер перемешивания водотоков в зоне контакта, т.е. на степень протекания реакции образования ГО.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (№ 97-05-65035 и № 01-05-65108).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карданова О.Ф., Карпов Г.А. Условия образования и типы парагенетических ассоциаций глиноземистых осадков Кихпиньчского долгоживущего вулканического центра (Камчатка) // Вулканология и сейсмология. 2000. № 3. С. 15-34.

УДК 550.461, 550.462, 551.214, 551.215.6

СПОНТАННЫЕ ГАЗЫ ТЕРМАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ КАЛЬДЕРЫ АКАДЕМИИ НАУК

Д.Ю. Кузьмин, В.И. Андреев, Г.А. Карпов

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский
devis@kscnet.ru, karpovga@kscnet.ru, via@kscnet.ru

Представлен материал исследования газового состава термальных источников в кальдере вулкана Академии Наук после катастрофического извержения в северном секторе Карымского озера, включающий несколько десятков анализов спонтанных газов, отобранных авторами в период 1997-2006 гг. Рассмотрена динамика изменения газового режима за 10-летний период после извержения 1996 года. Обсуждаются вопросы генезиса, возраста и классификации спонтанных газов гидротерм, их сходства и различия, возможная связь вариаций состава газов с активностью Карымского вулкана, с геотектонической приуроченностью термальных источников.

В кальдере Академии Наук выходы термальных вод и спонтанных газов- «источники Академические» были известны ранее [3, 9, 13]. Извержение и последующее образование кратера Токарева 02.01.1996, предвалявшееся и сопровождавшееся сейсмотектонической активизацией, вызвало образование ряда новых термопроявлений, в том числе, сформировавшихся в результате извержения на полуострове Новогодне Пийповских источников, а также новых газо-гидротермальных выходов в южном, юго-восточном, северо-восточном и северном секторах бассейна Карымского озера.

Геотектоническое положение термальных источников. Источники Академии Наук и источники бухты Желанной (рис. 1) приурочены к зоне разлома субмеридионального направления, выделенной по данным аэромагнитной съемки и геологическому строению [4,