

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ ПРОТОБОКСИТОВОГО ВЕЩЕСТВА НА ТЕРМАЛЬНЫХ ПОЛЯХ КИХПИНЫЧСКОГО ДОЛГОЖИВУЩЕГО ВУЛКАНИЧЕСКОГО ЦЕНТРА, КАМЧАТКА

Карданова О.Ф.

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

Прошло почти сто лет (осень 1909 г.) с тех пор, как студент В.П. Савич, участник биологического отряда Камчатской экспедиции Ф.П. Рябушинского под руководством В.Л. Комарова, описал северный конус вулкана Кихпиныч, который получил в дальнейшем его имя (Комаров, 1950). У подножия вулкана Кихпиныч В.Л. Комаровым отмечены карбонатные и железистые осадки (Комаров, 1950). Возможно, это осадки термального поля (ТП) Травертинового (рис. 1, поле 7), где до сих пор на устьях теплых источников (21-29°C) осаждаются сидерогель. По ходу водотоков эти осадки сменяются карбонатными. Мощность травертина более 1 м, площадь этих осадков ~ (50-60)х200 м.

Исследованию геологического строения рассматриваемого района посвящены работы многих исследователей (Аверьев и др., 1971; Белоусов, 1978; Белоусов и др., 1983; Брайцева и др., 1974, 1985, 1991; Леонов, 1982; Леонов, Гриб, 2004); изучением теплового потока и гидротермальной деятельности занимались такие исследователи, как В.В. Аверьев с соавторами (Аверьев и др., 1971), Н.Г. Сугрובה (1982) и др.; изучению гидротермально измененных пород и металлоносности современных гидротерм большое внимание уделяла С.И. Набоко (1980).

Впервые Кихпинычский долгоживущий вулканический центр (КДВЦ), который расположен в центральной части Восточного вулканического пояса Камчатки, был выделен В.И. Белоусовым (Белоусов, 1978). Массив Кихпиныч состоит из нескольких разнородных и разновозрастных сооружений. Вулкан Старый Кихпиныч образовался до этапа мощных игнимбритообразующих извержений и кальдерообразования в Восточной вулканической зоне, произошедших 23-40 тысяч лет назад (Брайцева и др., 1985, 1991). Постройка вулкана Старый Кихпиныч (СК) служит основанием для двух голоценовых базальтовых конусов Молодого Кихпиныча и для расположенного несколько южнее позднеплейстоценового дацитового вулкана Сопка Желтая. Вулкан Молодой Кихпиныч состоит из конуса Западный (возраст 4.8 тыс. лет), и конуса Савича (1.4 тыс. лет), последнее извержение которого было 400-540 лет назад (Брайцева и др., 1985, 1991; Пономарева и др., 1990). Эти конуса образовались после длительного перерыва (десятки тысяч лет) в вулканической деятельности вулкана Старый Кихпиныч (СК), который сложен чередующимися высокоглиноземистыми (до 20-21.5 % Al_2O_3) толеитовыми низкотитанистыми базальтами и их агломератовыми туфами, сильно измененными гидротермальными процессами.

В районе КДВЦ обнаружено большое разнообразие современных хемогенных осадков. Это глиноземистые, железистые, марганцовистые, кремнистые, карбонатные и серные осадки. Среди хемогенных осадков глиноземистые осадки (ГО) представляют наибольший интерес, так как они по химическому составу соответствуют бокситам. Ранее в статье О.Ф. Кардановой, Г.А. Карпова (2000) были рассмотрены условия образования и типы парагенетических ассоциаций ГО в районе КДВЦ.

Роль вулканизма в бокситообразовании рассматривается обычно в двух аспектах: вулканизм - как поставщик высокоглиноземистого вещества в виде лав, туфов, а также соединений, растворенных в гидротермальных водах, и опосредованное влияние вулканизма - путем создания локальных специфических физико-химических сред, частично или полностью изменяющих характер гипергенеза. Б.М. Михайлов (1975) отрицал образование бокситов с участием ультракислых гидротермальных растворов

путем выпадения гидроокиси Al из этих растворов, основной проблемой при этом являлось удаление Si из процесса. По мнению В.А. Тенякова (1975) «исследователи, апеллирующие к неким гипотетическим гидротермальным растворам как к возможному источнику бокситового вещества, не указывают ни одного современного геологического и химического типа их проявлений, выносящих хоть сколько-нибудь сходное с бокситами (в химическом отношении) вещество». Химический состав ГО КДВЦ (табл. 1), восполняют этот пробел.

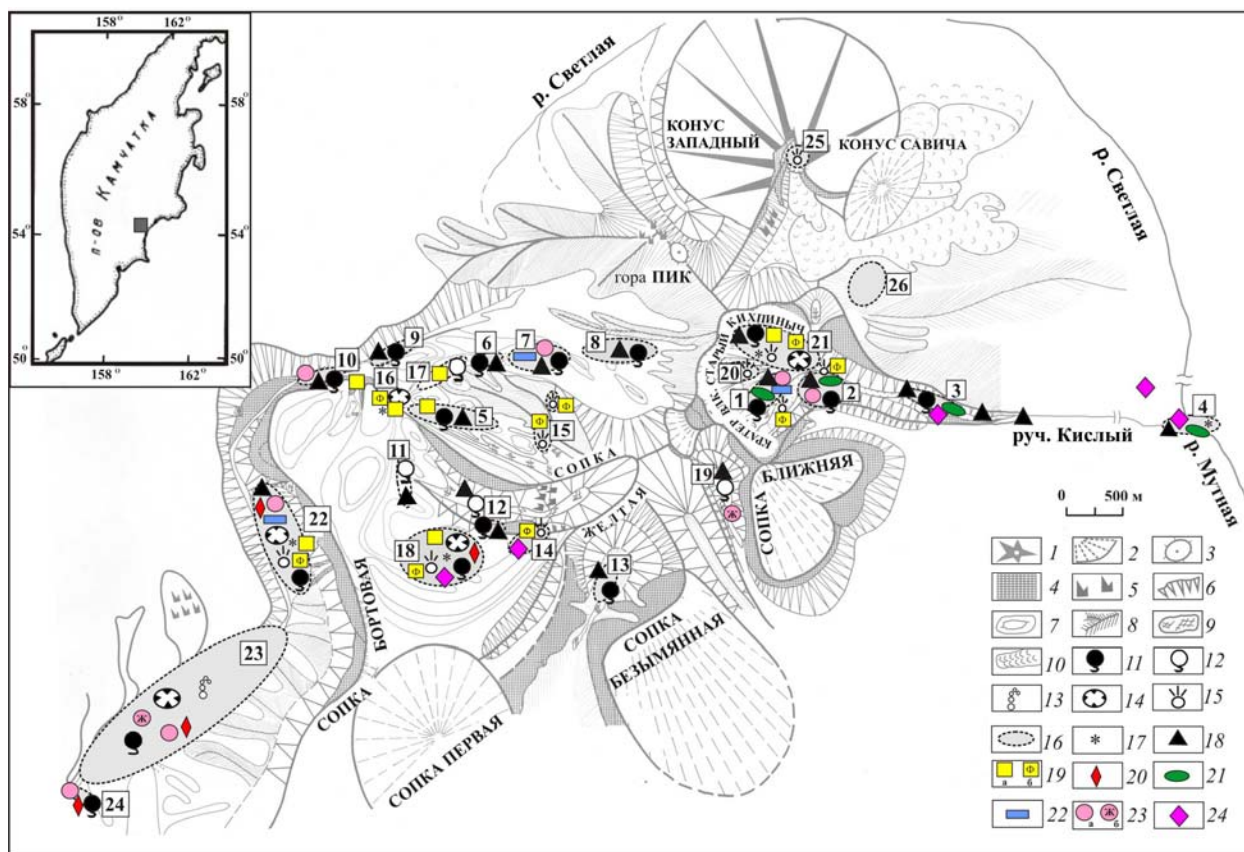


Рис. 1. Хемогенные осадки в районе КДВЦ. *Условные обозначения:* 1- лавовые конусы; 2 – лаво-пирокластические конусы; 3 – вершины; 4 – отвесные склоны; 5 – отдельные скалы; 6 – крутые склоны; 7– горизонталы; 8 – водоразделы; 9 – снежники; 10 – лавовые потоки; 11 – теплые и горячие источники; 12 – холодные источники; 13 – гейзеры; 14 – котлы; 15 – паровые струи; 16 – термальные поля (цифра – номер поля); 17 – границы полей с холодными источниками. *Типы хемогенных осадков:* 18 – железистые: а – гидроокислы, б – сульфиды; 19 – серные: а – осадки в источниках, б – сольфатарная сера; 20 – кремнистые; 21 – глиноземистые; 22 – марганцовистые; 23 – карбонатные: а – осадки, б – жилы; 24 – каолинитовые глины. *Термальные поля:* 1 – Южное (СК); 2 – Восточное (СК); 3 – «Щеки», восточный склон СК, русло ручья Кислый; 4 – исток р. Мутная; 5 – Каменный Карман; 6 – Теплое; 7 – Травертиновое; 8 – Перевальное; 9 – ручей Прозрачный; 10 – «Колорадо»; 11 – холодные источники Новые; 12 – горячий источник Новый; 13 – исток ручья Короткий Ключ; 14 – Вершинное; 15 – Северо-Кихпиньское; 16 – Долина Смерти; 17 – Серное (холодное); 18 – ЮКТП; 19 – источники в верховье ручья Извилистый; 20 – Западное; 21 – Северное (СК); 22 – Верхне-Гейзерное; 23 – Долина Гейзеров; 24 – ручей Второй (в ~ 0,5 км от гейзера Первенец вниз по р. Шумная); 25 – Конус Савича; 26 – Склоновое. На врезке показано расположение района исследований.

На КДВЦ существуют гидротермальные растворы, являющиеся источником бокситового вещества и на рис. 1 и 2 показаны ТП, где обнаружено несколько химических типов ГО, имеющих химический состав бокситов (табл. 1). Только привлекая вулканогенную, хемогенную и гидротермальную теории, а также процесс латеритизации,

Таблица 1. Сравнение химического состава современных осадков Кихпиньчского долгоживущего вулканического центра (КДВЦ) и бокситов Енисейского кряжа. Северного Урала и Средней Азии (вес. %).

Компоненты	Глиноземистые осадки								Латеритные бокситы			Осадочные бокситы			
	Кратер вулкана Старый Кихпиньч							Истоки реки Мутной	Енисейский кряж			Северный Урал			Средняя Азия
	Южное поле				Восточное	1981 г.	1982 г.		Лизалек и др.. 1979			Новиков. 1978			Богатырев 1980
	1997 г.							1982 г.							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	15016	1536	1538	1539	1023	1023в	825	1047в ₂	ЕК-1	ЕК-2	ЕК-3	СУ-1	СУ-2	СУ-3	СА - 1
SiO ₂	8.24	5.18	4.23	7.17	12	9.62	23.6	13.1	16.7	13.9	19.06	10.46	5	4.9	11.72
TiO ₂	0.08	0.1	0.18	0.15	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	3.9	3.94	3.04	1.79	2.9	2.13	1.66
Al₂O₃	42.96	39.47	39.48	39.75	35.64	35.3	28.06	25.65	27.24	36.62	46.85	36.19	36.8	47.11	37.15
FeO + Fe ₂ O ₃	3.86	7.78	9.83	6.72	7.24	9.12	10	24.28	35.38	28.7	8.6	21.77	29.95	25.14	25.14
CO ₂	5.28	13.2	4.4	3.52	1.58	2.2	0	1.32	13.76	16.8	21.74	9.35	3.5	21.06	12.7
H ₂ O ⁻ + H ₂ O ⁺	36.45	31.82	41	40.78	40.94	40.7	34.2	32.75				17.94	17.45		8.08
Прочие	3.37	1.97	1.39	2.29	2.73	2.54	4.31	3.02	3	0.1	0.7	1.38	3.86	0.37	3.27
Сумма	100.24	99.52	100.51	100.38	100.13	99.47	100.17	100.12	99.98	100.06	99.99	98.88	99.46	100.71	99.72

Примечание. Прочие компоненты: MnO + MgO + CaO + Na₂O + K₂O + P₂O₅. Тип бокситов по классификации Бардошши (1981), которому соответствуют глиноземистые осадки: 1-6 – боксит; 7 - глинистый боксит; 8 - Fe боксит. Месторождения бокситов: 9 - Восточное (Fe боксит); 10 - Митрофановское (Fe боксит); 11 - Сухое (боксит); 12 - Ишкининское (боксит); 13 - Актогайское (бобовый боксит); 14 - там же (бобово-обломочный); 15 - Янгоклыкское (боксит). Аналитики: Осетрова Т.Г. (№ 1-4), Байцаева Л.Г. (№ 5-8) (Институт вулканологии ДВО РАН).

который имеет свою специфику, можно объяснить образование ГО в районе КДВЦ. Изучение осадков на вулкане Кихпиныч доказало возможность образования протобокситов хемогенным путем. В кратере вулкана Старый Кихиныч, находящимся в сольфатарной фазе активности, на термальных полях идет химическое осаждение ГО. Ультракислые воды ($pH < 3$) обычно связаны с окислением фумарольной серы, пирита и других дисульфидов, приводящим к образованию серной кислоты. На **ТП 1** в результате взаимодействия сернистых газов сольфатар с многолетними снежниками образуются ультракислые воды («из-под снежника») с $pH < 3$. Не исключено, что это может быть кислый термальный источник, каких много на **ТП 21**. Но за всё время наблюдений (1980-1997 гг.) кислая вода на **ТП 1** всегда поступала из-под снежника.

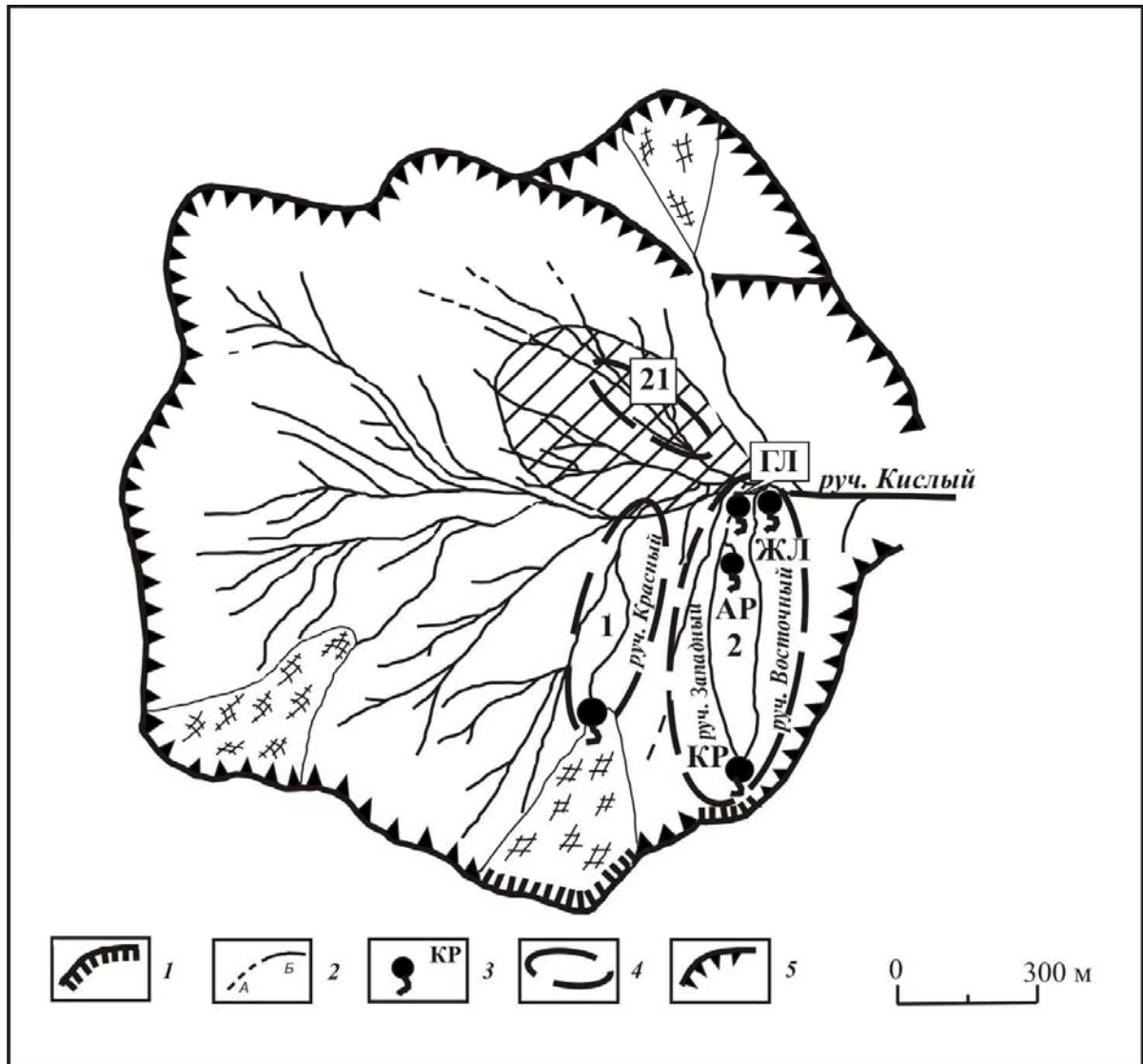


Рис. 2. Схема расположения источников и термальных полей в кратере вулкана Старый Кихпиныч. Условные обозначения: 1 – отвесные склоны; 2 – водотоки: А – временные, Б – постоянные; 3 – источники (КР – Карбонатный, АР – Арагонитовый, ГЛ – глиноземистый, ЖЛ – Железистый); 4 – контуры термальных полей (1 – Южное, 2 – Восточное, 21 – Северное); 5 – крутые склоны. Штриховка – материал обрушения 1982 г.

В районе КДВЦ в образовании ГО, имеющих состав бокситов, участвуют три из «гипотетических процессов» Б.М. Михайлова (1975), но имеющие некоторые особенности. Это три первых варианта образования ГО на КДВЦ.

**ОБРАЗОВАНИЕ ГЛИНОЗЕМИСТЫХ ОСАДКОВ В КРАТЕРЕ ВУЛКАНА
СТАРЫЙ КИХПИНЫЧ В 1997 Г. (ЮЖНОЕ ПОЛЕ)**

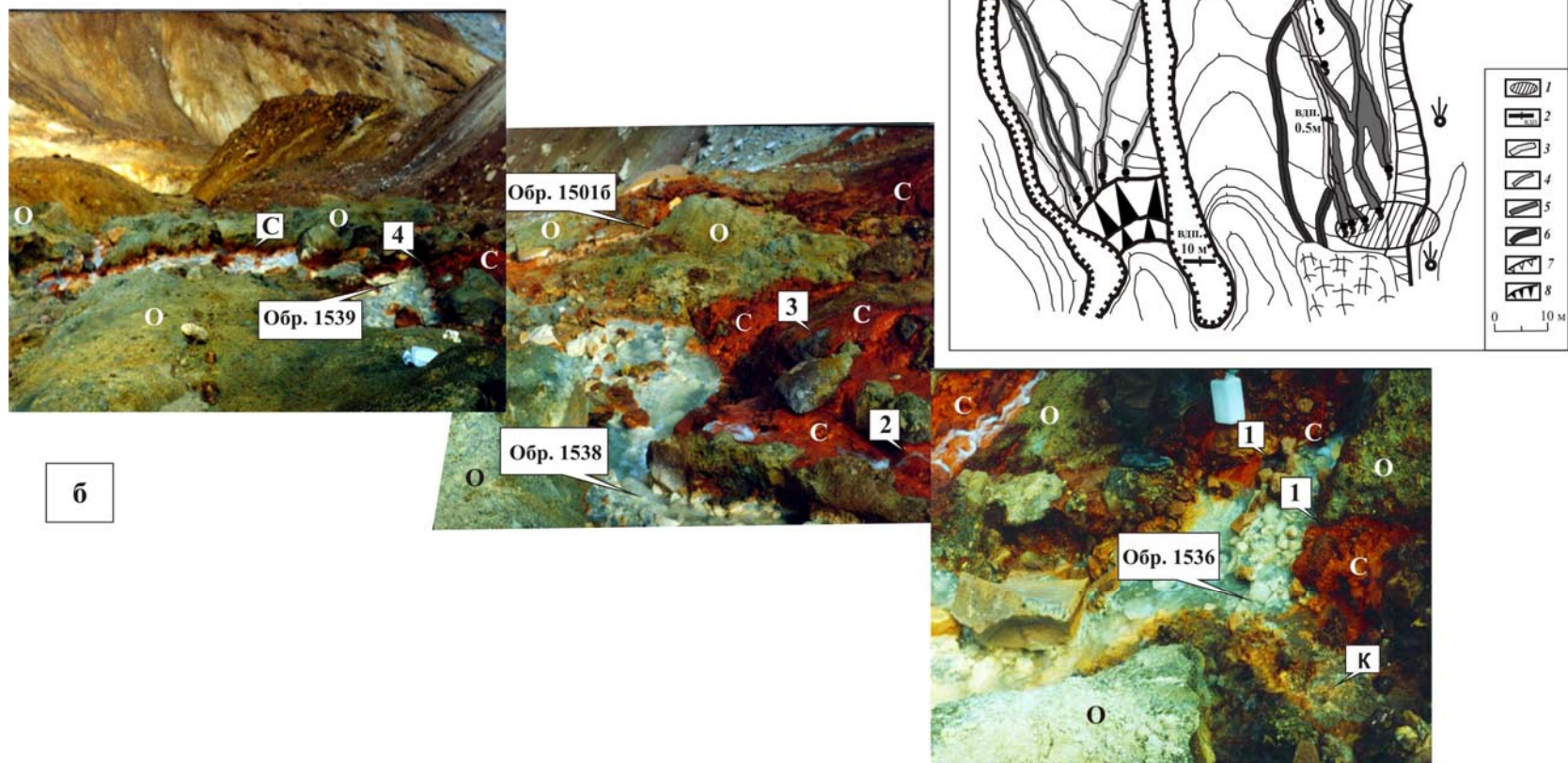


Рис. 3. Хемогенные осадки на Южном термальном поле в кратере вулкана Старый Кихпиныч. *a* - схема Южного поля в 1982 г.: 1 - оплывина 1981 г., 2 - водопад; 3-5 - осадки из нейтральных вод (3 - глиноземистые, 4 - Fe-Al; 5 - железистые); *б* - Fe осадки из кислых вод; 7 - крутые склоны грядки и оврага; 8 - материал оползня 1980 г.; горизонталы проведены через 2 м. Остальные условные обозначения см. рис. 1. *б* - Южное поле в 1997 г.: К - кислый ручей «из-под снежника», С - сидерогель на устьях источников, О - гидротермально измененные породы оползня 1997 г. Цифры 1-4 - ступени разбавления кислой воды «из-под снежника» субщелочной водой источников. Белый осадок в русле ручья - алюмогель, имеющий состав боксита (химический состав образцов приведен в табл. 1).

Вариант I - соединение ультракислых вод со щелочными водами – особенностью является высокое содержание в воде, в зоне смешения водотоков, ионов Ca и Mg, которые препятствуют кристаллизации каолинита из аморфного вещества и благодаря этому обеспечивают вынос кремнезема (Бардошши, 1981). В кратере вулкана Старый Кихпиньч этот процесс наиболее наглядно наблюдается на Южном поле (рис. 3а, 3б). В этом случае поставщиком Al является кислая вода, а Ca, Mg - вода термальных источников. На **ТП 1** в 1982 и 1997 гг. наблюдалось ступенчатое разбавление кислого раствора (pH 2.5-3) «из-под снежника» субщелочной (pH 7-8) водой термальных источников (рис. 3а, 3б), результатом которого было образование протобокситового вещества. Соотношение кислого и субщелочного водотоков ~ 1:5. В ГО сульфаты отсутствуют. На протяжении 18 лет (1980-1982, 1997) в зоне смешения кислых вод «из-под снежника» с субщелочными водами источников наблюдалось образование ГО, несмотря на оплывины и оползни, перекрывавшие иногда устья источников.

Вариант II - выпадение ГО из ультракислых растворов на карбонатном субстрате наблюдалось в 1981 г. на Восточном поле. На **ТП 2** в зоне смешения кислой воды небольшого ручейка, выбивающегося из-под осыпи на границе с карбонатным осадком ручья Западного (рис. 2), и небольшого субщелочного источника (источник Глиноземистый), шло образование слоистого ГО на карбонатном субстрате (рис. 4). Последний являлся донным осадком ручья Западного. Слоистые ГО состоят из алюмогеля, сидерогеля, каолинита и алунита. Когда этого источника достигает щелочная вода источника Западный, алунит в осадке исчезает. С поступлением новой порции субщелочной воды в действие вступает **вариант I**. В этом случае соотношение водотоков примерно 1:1, в отличие от первого варианта, но карбонатный субстрат, на поверхности которого осаждается ГО, увеличивает «щелочной ресурс». Поставщиком Al как и в первом варианте, является кислая вода, а Ca и Mg – субщелочной источник и карбонатный осадок.

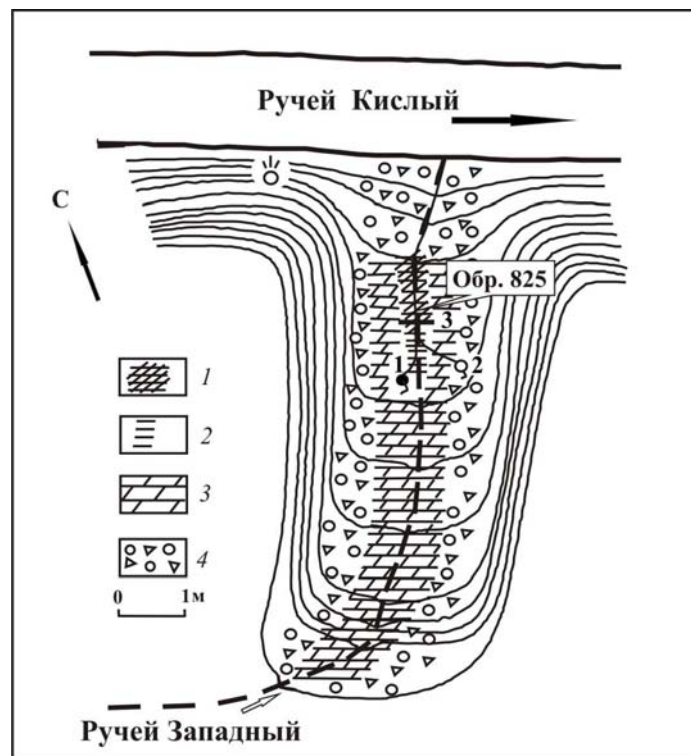


Рис. 4. Восточное поле, источник Глиноземистый. Условные обозначения: 1 - глиноземистые осадки; 2 – железистые осадки; 3 – карбонатные; 4 – осыпь. Источники: 1 - субщелочной; 2 – кислый; 3 – зона смешения субщелочного и кислого источников. Цифра в прямоугольнике – номер образца (см. табл. 1)

Вариант III реализуется на **ТП 4** (исток реки Мутной), в зоне смешения кислых вод ручья Кислого (рН 2.68-2.86), выносящего Al, Ca, Mg и субщелочных вод реки Светлой (рН>7), где на щелочном барьере происходит осаждение ГО. Соотношение водотоков - кислого и субщелочного - 1: ≥ 5 . Расположение водотоков на местности показано на рис. 5.

В 1982 г. в зоне смешения водотоков встречены хемогенные осадки 4 типов. Осадок в русле ручья Кислого (обр. 1047 б, рис. 6) состоял из гетита, алунита, ярозита и опала. В зоне непосредственного контакта водотоков наблюдались турбулентные завихрения, имеющие разное направление. Они были вызваны разностью в скорости водотоков, их температуре ($>5^{\circ}\text{C}$) и значительными отличиями в гидрохимическом составе воды водотоков. На дне реки Мутной, на глубине ~ 0.8 м, непосредственно под зоной турбулентных завихрений, выпадал белый глиноземистый осадок (обр. 1047 в₂, табл. 1), который прослеживался на расстоянии 50-60 м (рис. 6), ширина зоны 0.3–0.4 м. Скорость течения в ручье Кислом была 1 м/сек., в реке Светлой – заметно выше. Водотоки смешивались под углом $\sim 30^{\circ}$. Поверхность непосредственного контакта водотоков была весьма большой. За этой узкой полосой ГО шло бурное осаждение хлопьев железистого осадка (обр. 1047 в₃, рис. 6), состоящего из гетита, алунита и аморфного кремнезема.

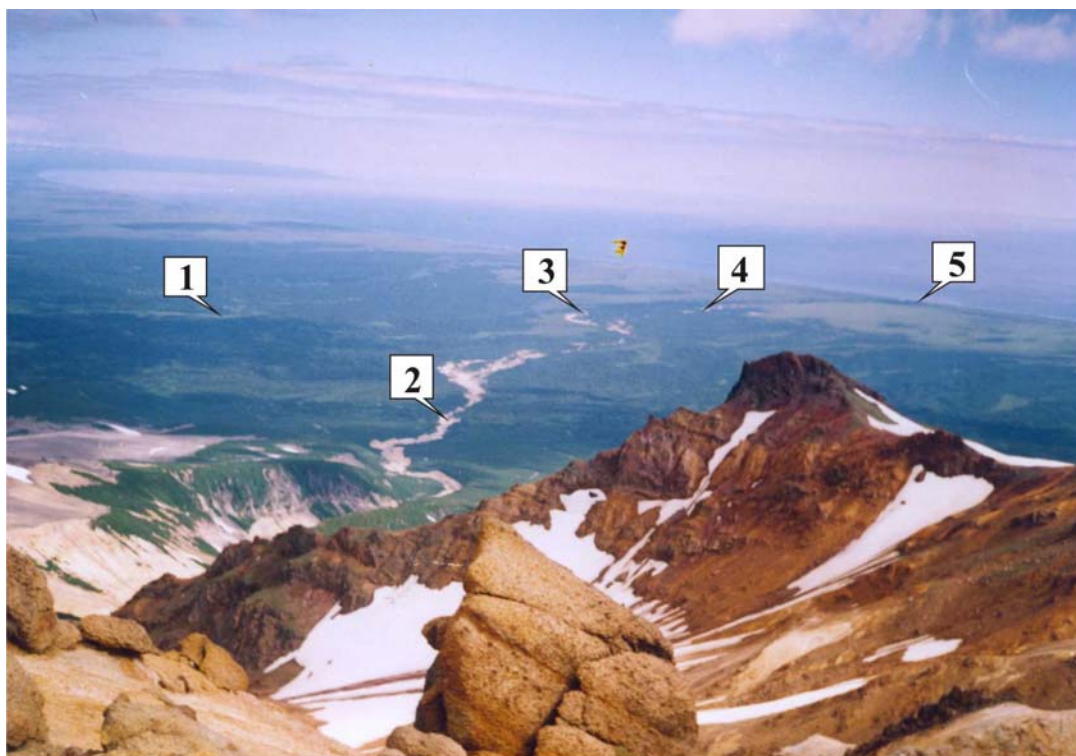


Рис. 5. Вид на ручей Кислый и реку Мутную с южной кромки кратера вулкана Старый Кихпинич. 1 – река Светлая; 2 – ручей Кислый; 3 – исток реки Мутной (зона смешения водотоков реки Светлой и ручья Кислого); 4 – река Мутная; 5 – устье реки Мутной.

Четвертый тип осадка, образующийся из воды реки Мутной (пр. 1048, рис. 6), имел вид пены розового цвета и был недоступен для отбора. Этот осадок осаждался также в зонах повышенной аэрации и турбулентных завихрений - на ветках и стволах кустарников и деревьев, выступающих из воды. Подобные осадки встречались и в 1997 г. в аналогичных условиях. Их химический состав следующий: SiO_2 - 17%; Al_2O_3 - 14 %; Fe_2O_3 - 33 %; CO_2 - 1 %; H_2O - 34%. Содержание CaO, MgO, Na_2O , K_2O – 1 %.

Вариант IV был обнаружен на **ТП 3** (рис. 1) в каньоне «Щеки». Здесь, на 1.5 м террасе ручья Кислого, на расстоянии ~ 200 м выходило более 20 мелких источников с температурой около 30°C . Разбавленные Cl-Na термальнeые воды источников с высоким содержанием Ca и Mg выносили кремний из галлуазитового цемента конгломерата,

оставляя на месте свободный глинозем. На этом поле расчетная базовая температура на глубине по различным гидрохимическим термометрам (Na/K, Na/K/Ca, K/Mg, Фурнье) составляет ~ 120-150°C.

Химический состав глиноземистых осадков КДВЦ близок к бокситам Северного Урала, Енисейского кряжа и Средней Азии (табл. 1). Основное отличие - в ГО вдвое больше H₂O и на порядок меньше - TiO₂. В таблице 2 приведены различные виды глиноземистых осадков, соответствующих определенным типам бокситовых пород по классификации Д. Бардошши (1981).

Латеритизация - процесс преобразования алюмосиликатов нисходящими токами теплой дождевой воды в условиях хорошего дренажа (Бушинский, 1975). Как известно, влияние тропических температур на латеритизацию заключается в ускорении химического выветривания. Особенностью латеритизации на **ТП 3** является вынос кремния из галлуазита, осуществляющийся восходящими токами теплой термальной воды источников. Пример тому - вариант IV, где в холодном климате Камчатки на алюмосиликаты воздействуют субщелочные Cl-Na разбавленные термальные воды с высоким содержанием Ca и Mg.

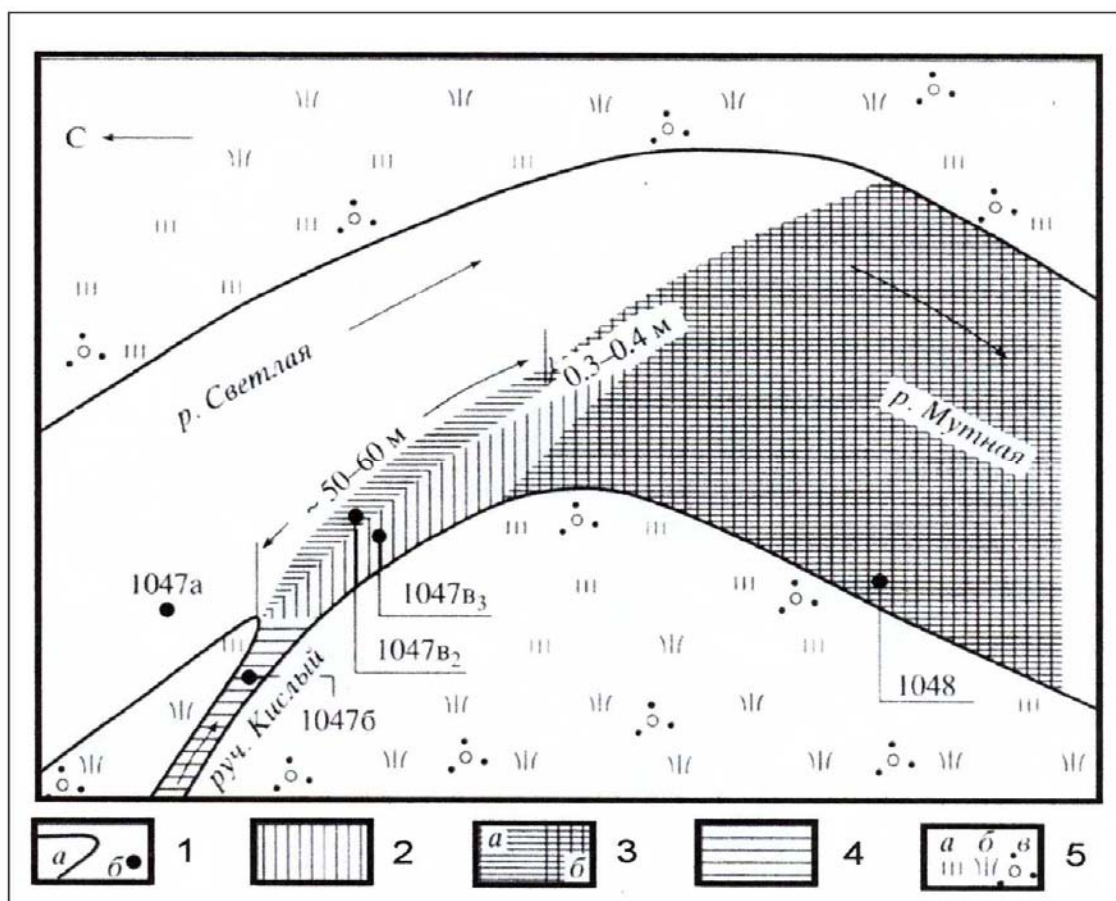


Рис. 6. Схематическая карта зоны смешения водотоков реки Светлой и ручья Кислого, 1980-1982 гг. Условные обозначения: 1 – водотоки (а – береговая линия, б – точки опробования и их номера); 2-4 – хемогенные осадки (2 – Fe из субщелочных вод, 3а – Al, 3б - Fe-Al); 4 – Fe из кислых вод; 5 – растительность (а – травянистая, б – камыш, в - кустарники).

В заключение отметим основные особенности образования протобокситового вещества на КДВЦ. Вместо карбонатных толщ на **ТП 1** имеем карбонатизированные базальтовые туфы. Карбонатизация базальтовых туфов южного склона вулкана Старый Кихпинич происходила в зоне вскипания термальных вод во время длительного перерыва

в деятельности вулкана (см. выше). Вместо влажного и сухого сезонов существует весенне-летний сезон и осенне-зимний. В первом случае открыты термальные поля, идет таяние снежников, являющихся поставщиками кислой воды с Al и в зоне смешения этой воды с водой источников образуются ГО. В осенне-зимний сезон, когда термальные поля закрыты снегом и нет поступления кислой воды с Al, идет образование гидроокислов железа, перекрывающих ГО. Сольфатары являются поставщиками серной кислоты, которая, воздействуя на алюмосиликаты, разрушает эти минералы, освобождая глинозем. Аналогично действуют и грунтовые воды, взаимодействуя с сульфидами измененных под действием гидротерм пород.

Состав продуктов химического осаждения зависит от соотношения мольных концентраций реагирующих веществ (Вассерман, 1980). При избытке ионов металла, наряду с гидроксидами алюминия образуются промежуточные продукты - основные соли, что и имело место на Южном поле. В 1980 г. в ручей с дебитом более 1 л/сек и pH ~ 8 (концентрация OH⁻ порядка 10⁻⁶ г-ион/л) впадал кислый малодобитный ручей «из-под снежника» с концентрацией Al³⁺ 11 мг/л (0.41x10⁻³ г-ион/л). Мольная концентрация Al³⁺ в данном случае на 3 порядка превосходит концентрацию OH⁻, содержание SO₄⁻² велико, этим и объясняется присутствие алуниита в осадке (обр. 729, табл. 2). В 1982 г. концентрация в воде Al³⁺ была 7x10⁻⁶ г-ион/л и OH⁻ - 8x10⁻⁶ г-ион/л. Концентрации Al³⁺ и OH⁻ практически равны, благодаря чему в этих образцах наибольшее количество алюмогеля, сульфат в осадке отсутствует (обр. 1023, 1023в, табл. 2).

Именно высокое содержание ионов Ca²⁺ (до 557 мг/л) и Mg²⁺ (до 112 мг/л) в воде препятствует кристаллизации каолинита из аморфных гелей, осаждающихся на дне водотоков, и ведет к выносу кремнезема из зоны образования ГО.

Таблица 2. Типы глиноземистых осадков КДВЦ

Тип боксита (Бардошши, 1981)	Тип	№ обр.	Соотношение компонентов в воде (с полевыми замерами Fe ²⁺ и Fe ³⁺), мг-экв.	Минералы, преобладающие в отдельных типах осадков КДВЦ
Боксит	I	1023в	SO ₄ >>HCO ₃ >Cl>F	алюмогель>каолинит>сидерогель (скарброит, кальцит)
		1023	Ca>Mg>Na>NH ₄ >Fe ³⁺ >Fe ²⁺ >Mn>K>Al	
		15016	SO ₄ >>HCO ₃ >Cl>F	
		1536 1538 1539	Ca>Mg>Fe ²⁺ >Na>Mn>K>Fe ³⁺ >NH ₄ , Al	
Боксит железистый	II	1047в ₂	SO ₄ =Mg>Cl>F Ca=Mg>Na=NH ₄ >Fe ²⁺ >K>Fe ³⁺ , Al	алюмогель>сидерогель>каолинит (сидерит, дельвоксит)
Боксит глинистый	III	825	SO ₄ >>HCO ₃ >Cl>F Ca>>Mg>Na>NH ₄ >K	каолинит>алюмогель>сидерогель
Боксит с алунином	IV-А	802	SO ₄ >>F>Cl=HCO ₃ Ca>Mg>Fe ²⁺ >Na=NH ₄ >H>Al>Mn>Fe ³⁺ >K	алюмогель>алуниит>каолинит> >сидерогель
Боксит с алунином	IV-Б	729	SO ₄ >>HCO ₃ >Cl>F Ca>Mg>>Na>NH ₄ >K>Al>Fe ²⁺ , Fe ³⁺	алюмогель>скарброит> сидерогель>алуниит (каолинит)
Боксит с алунином	IV-С	10296	SO ₄ >>HCO ₃ >Cl>F Ca>Mg>Na>>NH ₄ >K>Mn>Al	алюмогель>алуниит>сидерогель (каолинит, кальцит, гипс)
Руды железные Глинистые	V	1022	SO ₄ >>Cl=HCO ₃ >F Ca>Mg>>Na>NH ₄ >>Mn>K>Al, Fe ²⁺ , Fe ³⁺	сидерогель>каолинит>алюмогель (кальцит)
Глина железистая	VI	1028	SO ₄ >>HSO ₄ >F>Cl Ca>Mg>Na>H>Al>NH ₄ >Fe ³⁺ >K=Mn>Fe ²⁺	каолинит>сидерогель (гипс, опал, скарброит, кальцит, фосфаты)

Примечание. Жирным шрифтом выделены основные минералы, в скобках – второстепенные.

Список литературы

- Аверьев В.В., Богоявленская Г.Е., Брайцева О.А. и др.* Вулканизм и гидротермы Узон-Семьячинского геотермального района на Камчатке // Вулканизм и глубины земли. М.: Наука, 1971. С. 207-211.
- Бардошши Д.* Карстовые бокситы. М.: Мир, 1981. 454 с.
- Белоусов В.И.* Геология гидротермальных полей в областях современного вулканизма. М.: Наука, 1978. 137 с.
- Белоусов В.И., Гриб Е.Н., Леонов В.Л.* Геологические позиции гидротермальных систем Долины Гейзеров и кальдеры Узон // Вулканология и сейсмология. 1983. № 1. С. 65-79.
- Брайцева О.А., Богоявленская Г.Е., Эрлих Э.Н.* Геологическое строение Узонско-Гейзерной депрессии // Вулканизм, гидротермальный процесс и рудообразование. М.: Недра, 1974. С. 10-32.
- Брайцева О.А., Флоренский И.В., Волынец О.Н.* Вулкан Кихпинич // Действующие вулканы Камчатки. М.: Наука, 1991. Т. 2. С. 74-91.
- Брайцева О.А., Флоренский И.В., Пономарева В.В. и др.* История активности вулкана Кихпинич в голоцене // Вулканология и сейсмология. 1985. № 6. С. 3-19.
- Бушинский Г.И.* Современное состояние проблемы генезиса бокситов // Проблемы генезиса бокситов. М.: Наука, 1975. С. 5-17.
- Вассерман И.М.* Химическое осаждение из растворов. Л.: Химия, 1980. 207 с.
- Карданова О.Ф., Карпов Г.А.* Условия образования и типы парагенетических ассоциаций глиноземистых осадков Кихпиничского долгоживущего вулканического центра (Камчатка) // Вулканология и сейсмология. 2000. № 3. С. 15-34.
- Комаров В.Л.* Путешествие по Камчатке в 1908—1909 гг. Избранные сочинения. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1950. Т. 6. 527 с.
- Леонов В.Л.* Геологическое строение каньона р. Шумной и Узонско-Гейзерной депрессии на Камчатке // Вулканология и сейсмология. 1982. № 2. С. 100-103.
- Леонов В.Л., Гриб Е.Н.* Структурные позиции и вулканизм четвертичных кальдер Камчатки. Владивосток: Дальнаука, 2004. 189 с.
- Михайлов Б.М.* Эволюция обстановок бокситообразования в геологической истории Земли // Проблемы генезиса бокситов. М.: Наука, 1975. С. 41-78.
- Набоко С.И.* Металлоносность современных гидротерм в областях тектономагматической активности. М.: Наука, 1980. 199 с.
- Пономарева В.В., Брайцева О.А.* Вулканическая опасность для района Кроноцкое озеро – Узон – Долина Гейзеров // Вулканология и сейсмология. 1990. № 1. С. 27-42.
- Сугрובה Н.Г.* Некоторые закономерности режима гейзеров на Камчатке // Вулканология и сейсмология. 1982. № 5. С. 35-48.
- Теняков В.А.* Проблема источника и способа формирования вещества бокситов (геохимический аспект) // Проблемы генезиса бокситов. М.: Наука, 1975. С. 18-31.