



УДК 551.21/23

Е. Г. Калачёва, Т. А. Котенко, Л. В. Котенко, Е. В. Волошина

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

Термальные поля и источники о. Шиашкотан (Курильские острова)

Приводятся новые сведения о поверхностных проявлениях Северо-Шиашкотанской гидротермальной системы, связанной с активным андезитовым вулканизмом островодужного типа, позволяющие уточнить структуру и геохимию гидротермальных потоков. Рассчитаны глубинные температуры.

Введение

Шиашкотан — один из островов Онекотанского блока Большой Курильской дуги (рис. 1) длиной 26 км [1]. Основными морфологическими структурами острова являются два многоцентровых вулканических массива среднего плейстоцена-голоцена Синарка и Кунтоминтар, которые насажены на более древние породы, предположительно плиоценового возраста [5] также вулканического происхождения (рис. 1). Оба массива соединены сложным древними породами перешейком Макарова. Действующим является существенно лавовый стратовулкан Синарка [7], из кратера которого выступает молодой экструзивный купол извержения 1878 г. [2] — наивысшая точка острова (934 м). В настоящее время парогазовая деятельность сосредоточена на склонах и вершине купола. Центр массива Кунтоминтар занимает существенно пирокластический стратовулкан [7] типа Сомма-Везувий высотой 828 м. На западном краю массива расположена открытая к западу кальдера, к восточной стенке которой приурочен молодой пирокластический конус с кратером диаметром около 300 м и глубиной 150–200 м, проявляющий в настоящее время активную фумарольную деятельность (рис. 1).

На склонах вулканов и в береговой зоне разгружаются термальные воды, которые детально исследовались в 60–70 гг. прошлого столетия [4, 5]. В 2007–2008 гг. были частично обследованы термальные поля вулкана Синарка [3]. В данной работе приводятся новые данные по геохимии термальных вод, разгружающихся в пределах острова, полученные авторами в ходе полевых исследований в июне – июле 2011 г. В точках опробования измерялись рН, Eh и температура растворов с помощью портативного мультипараметрового анализатора Multi 340i/SET немецкой фирмы WTW. Общий химический анализ, включающий определение ионов NH_4^+ , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , Cl^- , F^- , SO_4^{2-} , H_3BO_3 , H_4SiO_4 проведён в аналитическом центре

ИВиС ДВО РАН потенциометрическим, объёмным, колориметрическим и атомно-абсорбционным методами.

Обработка гидрогеохимических данных, расчёт глубинных температур на базе катионных геотермометров и графическое отображение химического состава термальных вод проводились с помощью компьютерной программы AQUACHEM 5.1.

Описание термальных полей и источников.

Термальные поля влк. Кунтоминтар. Основные термопроявления сосредоточены в центральном кратере вулкана (см. рис. 2), обрывистые стенки которого сложены газо-гидротермально изменёнными обелёнными породами. Подножия стенок перекрыты материалом осыпей. По дну кратера и его стенкам наблюдаются многочисленные выходы газов со скоростями на устье от менее 5 м/с до 20–35 м/с. Температура фумарол варьирует в пределах 144–480°С

Выходы термальных вод сосредоточены вдоль руч. Кратерного, дренирующего фумарольные площадки Центрального кратера вулкана (рис. 2а). Температура воды опробованного источника составила 64,5°С, рН = 2,35 и Eh = +311 мВ при общей минерализации воды 5,4 г/л. Расход ручья у окончания термального поля достигает 4 л/с, температуры воды 18,4°С, рН = 2,42, Eh = +265 мВ. По пути следования от истока до устья ручей принимает воды многочисленных притоков, расход его значительно увеличивается и в устье достигает 700 л/с (на 20 июня 2011 г.). В устье речки и в море в зоне радиусом 50–60 м цвет воды молочно-розовый за счёт взвеси, образующейся вследствие смешения морских вод и вод ручья.

Термальные площадки склонов влк. Синарка. Горячие источники, приуроченные к Центральному экструзивному куполу (далее ЦЭК), распространены на западном склоне вулкана ниже подножья купола. Ранее здесь было выделено 6 термальных площадок [4].

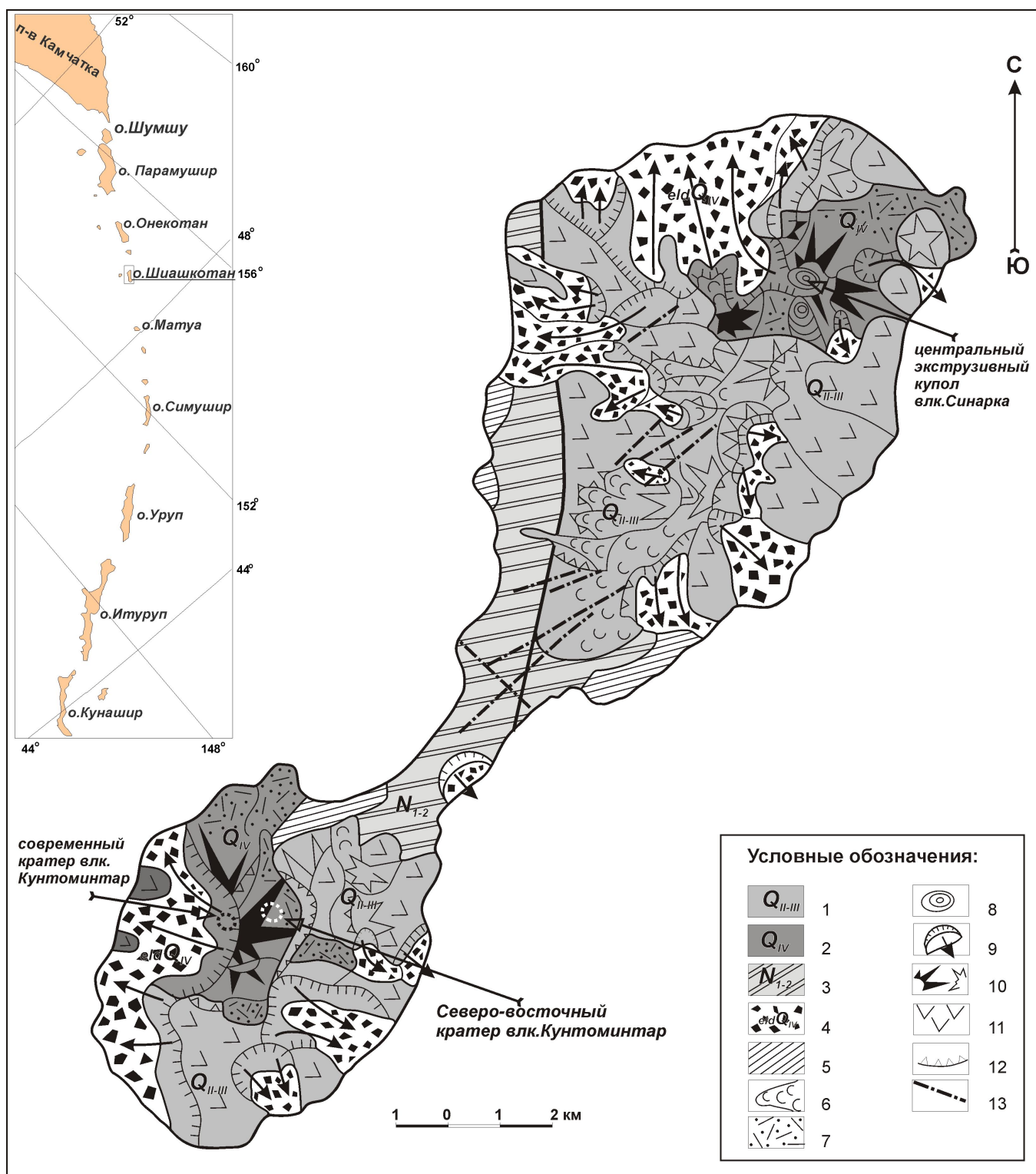


Рис. 1. Геолого-геоморфологическая карта-схема о. Шиащкотан (составлена по [1, 5, 7]) (На врезке расположение о. Шиащкотан в Курильской островной гряде, по [1]); Условные обозначения: 1 — вулканогенные отложения плейстоценового возраста (андезиты, андезитобазальты, базальты); 2 — вулканогенные отложения голоценового возраста (андезитобазальты, андезиты); 3 — вулканогенно-осадочные породы (туффиты, туфы и лавы от базальтового до андезитового состава); 4 — обвалльно-осыпные отложения голоценового возраста; 5 — абразионные морские террасы среднего-верхнего плейстоцена; 6 — базальт-андезитовые лавовые потоки; 7 — пемзовые пирокластические покровы; 8 — экструзивные купола, сложенные андезитовыми породами; 9 — вулканосейсмостектонические обвалы; 10 — вулканические постройки; 11 — остатки вулканических построек, не сохранившие первичного рельефа; 12 — эрозионные уступы; 13 — разрывные нарушения, выраженные в рельефе.

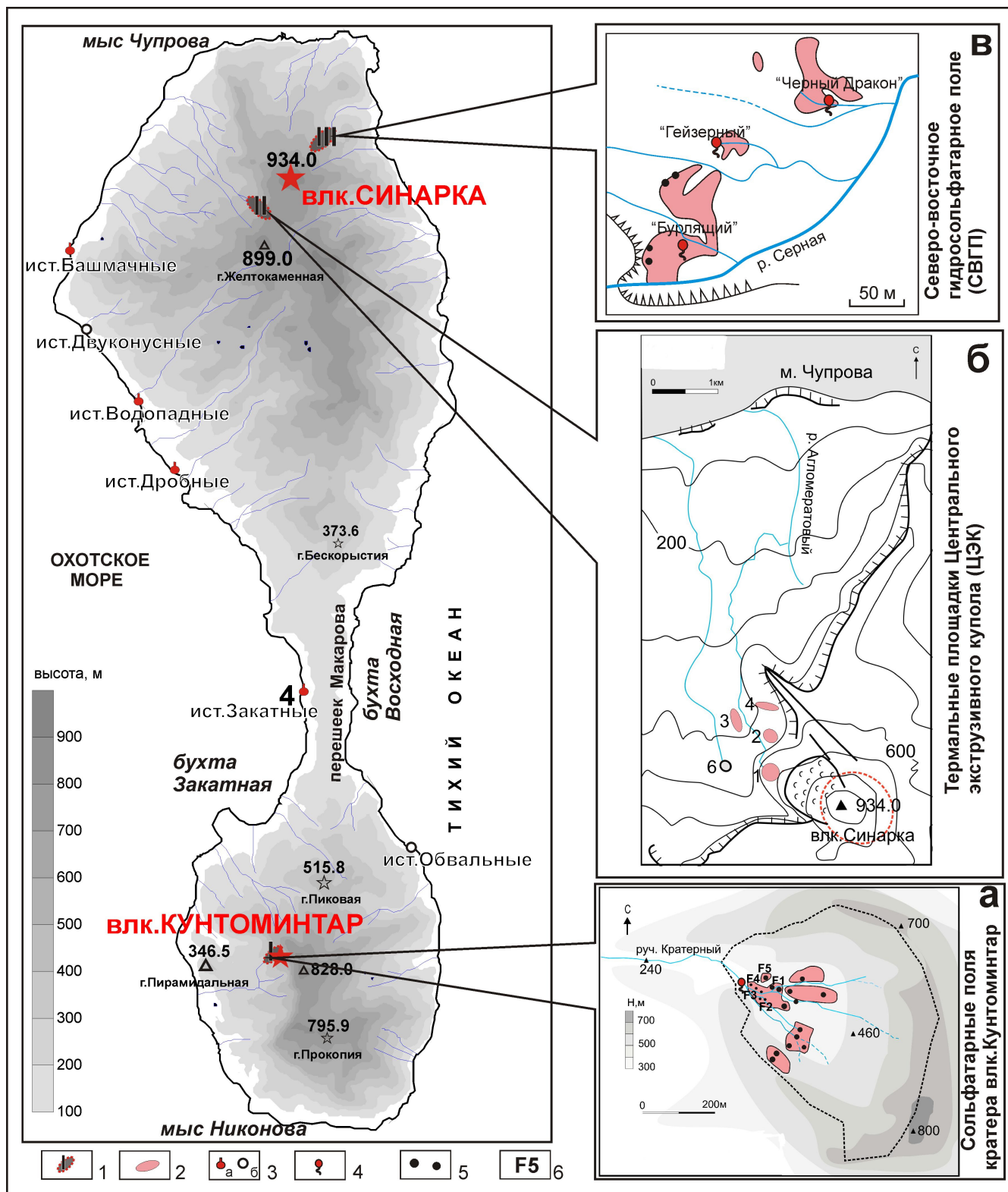


Рис. 2. Топографическая схема о. Шиащкотан. Примечание: 1 – Термальные поля: I – кратера влк. Кунтоминтар; II – Центрального экструзивного купола влк. Синарка (ЦЭК); III – Северо-восточное гидросольфатарное поле влк. Синарка (СВГП) (схема по [3]); 2 – Термальные площадки; 3 – Термальные источники: а – группы терм прибрежной зоны, б – признаков термальной деятельности не обнаружено; 4 – одиночные выходы термальных вод, 5 – парогазовые струи; 6 – номер фумаролы.

Термальные площадки 1–3 расположены на склонах различной крутизны (от 5–6° до 40°) истока руч. Агломератового (см. рис. 2б). Все они покрыты плащами из гидроокислов железа мощностью от 1 до 10 см. Сквозь небольшие проколы в плаще под напором вытекает вода, иногда образуя фонтанчики высотой до 10 см. Широко развиты зелёные термофильные водоросли ярко зелёного цвета. Температура вод, разгружающихся на данных площадках 37–52° С, значения рН варьируют от 2,6 до 3,2, диапазон Eh составляет +230 ÷ +270 мВ. Некоторое количество термальных вод ниже площадок просачивается в рыхлые отложения, а большая часть стекает небольшими ручьями в основной водоток. Общий дебит руч. Агломератового ниже третьей площадки составляет 15 л/с при температуре 21,3° С, рН = 3,38, Eh = +211 мВ.

Площадка 4 расположена в распадке, берущем начало у подножья экструзивного купола, выжато несколько севернее центрального (рис. 2б). Авторам побывать на ней не удалось. Можно лишь отметить, что ручей, дренирующий термальную площадку 4, несёт значительное количество взвешенного пирокластического материала в руч. Агломератовый и превращает его в мутный поток.

Площадка 5, описанная в [4], авторами не обнаружена. На площадке 6, расположенной в 200–250 м к западу от первого участка, термопроявлений нет. Все рассредоточенные нисходящие источники, разгружающиеся здесь, имеют температуру 5–6° С, слабо кислую реакцию (рН = 4,7) и общий дебит 8–10 л/с.

Северо-Восточное гидросольфатарное поле вулкана Синарка (далее СВГП) (рис. 2в) авторам посетить не удалось. В работе использованы (табл. 1) химические параметры термальных вод, приведённые в работах [3, 4].

Источники прибрежной зоны. В прибрежной полосе острова выделено [4] шесть групп термопроявлений (Башмачная, Двуконусная, Водопадная, Дробная, Закатная, Обвальная) (рис. 2) с видимым суммарным дебитом всех источников 50 л/с. Авторами было обследовано 5 из них (кроме Башмачной группы), на двух — Двуконусные и Обвальные — признаков термальной деятельности не обнаружено.

Все выходы термальных вод побережья приурочены к дайковым комплексам, секущим остров. Разгрузка осуществляется из трещин в лавовых плитах, со дна лунок между пляжными валунами или из рыхлых пляжных отложений, трещины заполнены сцементированным мелкозёмом, иногда полосчатым халцедоном, кальцитом и пиритом. Дебиты отдельных выходов не превышают 0,2–0,3 л/с. Максимальная температура воды 63,8° С измерена в источниках Водопадной группы. Все они характеризуются близнеутральной реакцией (рН = 5,9 – 6,9). Изредка в местах выходов источников пробулькивают пузырьки газа с дебитом отдельных газовых струй до 1,5 л/час (Закатные источники).

Результаты работ и их обсуждение

Химический состав термальных вод. Результаты химических анализов водных проб термальных полей острова представлены в табл. 1. По химическому составу термальные источники кратера влк. Кунтоминтар и исток руч. Кратерного имеют Al-Ca-SO₄ тип вод (рис. 3а) с высокими значениями Fe³⁺ (до 195 мг/л). Количество растворённых веществ в этих водах составляет 5,4 г/л. Конденсат фумарольных газов кратера вулкана Кунтоминтар по составу резко отличается от состава терм и соответствует Ca-Cl гидрохимическому типу с M_{общ} = 1,3 г/л. Термальные источники ЦЭК влк. Синарка имеют пестрый состав, среди катионов преобладают Ca²⁺, Mg²⁺ и Al³⁺, среди анионов Cl⁻ и SO₄²⁻. Общая минерализация изменяется от 4,2 до 6,2 г/л, а электропроводность варьирует от 4100 µS/см до 8040 µS/см. Максимальное содержание растворённой кремнекислоты в 459 мг/л наблюдается в пробе, отобранной на площадке 1. Для этой пробы также характерны наибольшие концентрации Cl⁻ (2,5 г/л), Na⁺ (385 мг/л), Mg²⁺ (501 мг/л) Fe³⁺ (106 мг/л) и H₃BO₃ (49 мг/л). Химический состав руч. Агломератового ниже термальных площадок подобен составу распространённых здесь термопроявлений (см. рис. 3а) при меньшей минерализации — 2,3 г/л.

Термальные источники СВГП [по 4] имеют в основном сульфатный тип вод с пёстрым катионным составом. Минерализация этих вод редко превышает 1 г/л, но довольно широко варьирует рН — от 3 до 7,6. Содержание H₂SiO₃ в источниках в среднем составляет 150 мг/л, H₃BO₃ — 5 мг/л. Наиболее крупный источник поля — «Чёрный дракон» [3], как и ранее существовавший здесь источник «Гейзерный» (табл. 1) по химическому составу относится к Ca-Mg-SO₄-Cl гидрохимическому типу. В нескольких метрах ниже расположен небольшой «кипящий» источник с температурой 102,7° С и рН = 3,3.

Термальные воды всех известных групп, разгружающиеся в прибрежной полосе острова относятся к Na-Cl типу вод (см. рис. 3а) с общей минерализацией от 3,1 до 12,9 г/л. Для них характерны также высокие значения электропроводности (табл. 1) от 8310 µS/см до 18 260 µS/см. Концентрация растворённой кремнекислоты колеблется от 110 мг/л до 280 мг/л, среднее содержание ортоборной кислоты составляет 40 мг/л. Количество растворённого железа в водах данных источников ниже предела обнаружения, однако практически все выходы гидротерм сопровождаются охристыми налётами и натёками его гидроокислов.

Сравнительная гидрохимическая характеристика. На графиках, показывающих зависимость между отдельными макрокомпонентами (рис. 4) вынесены точки, отражающие значения, характерные для термальных вод, разгружающихся на склонах вулкана Синарка (ЦЭК и СВГП) и в прибрежной

Таблица 1. Химический состав термальных вод о. Шиашкотан.

Место отбора	Гидрохимический тип	Т _{тем} , °С	рН _{лаб} / рН _{пол.}	Еh, мВ	SEC, µS/см	H ₄ SiO ₄ (H ₂ SiO ₃)	H ₂ BO ₃ (HBO ₃)	M _{общ} , г/л	Cl ⁻ , мг/л	HCO ₃ ⁻ , мг/л
Кратер в.л. Кунто- минтар	исток руч. Кратерного	18,4	2,42/2,3	265	6580	198,9	2,04	5,41	312,4	
	термальный источник									
	у уреза руч. Кратерного	64,5	2,35/2,16	311	3380	506,8	10,88	5,43	461,5	
	конденсат фумарольного газа (фумарола F5)		2,3/1,7	310	10 080	2,32	80,92	1,30	887,5	
в.л. Синарка. СВФП	термальный участок 4*	25	4,6	н/о	н/о	(84,95)	(7)	1,49	95,85	1,83
	ист. Гейзерный*	78	7,6	н/о	н/о	(167,31)	(5)	1,09	68,87	153,72
	ист. Бурлящий*	90	3	н/о	н/о	(127,75)	(4)	0,83	41,53	н/о
	ист. Черный дракон**	93,1	7,1	н/о	н/о	(104)	—	1,34	206	91,5
в.л. Синарка. ЦАК	площадка 4**	38,1	2,8	н/о	н/о	(179)	—	4,29	1028	
	площадка 1	51,2	2,67/2,38	279	8040	456,8	48,96	6,20	2538,2	
	площадка 2	37,6	3,21/2,74	234	4610	315,6	25,8	4,15	1065	
	площадка 3	42,6	3/2,6	271	5750	293,6	21,76	4,74	1384,5	
руч. Агломератовый ниже термальных площадок		3,38/2,71	211	3180	179,2	14,3	2,29	681,6		
Источники прибрежной зоны	ист. Закагные	53,4	6,03/6,55	52	12 600	120,1	27,2	7,64	3834	337,94
	ист. Закагные 2	30	5,94/6,55	63	8310	111,83	0,28	3,06	1420	289,7
	ист. Водопадные	55,6	6,88/7,04	9	12 850	269,4	65,28	8,84	4657,6	112
	ист. Водопадные 2	63,8	6,3/6,78	47	12 660	269,4	62,56	8,69	4586,6	129,3
	ист. Дробные	43	6,27/6,62	47	18 260	201,76	42,16	12,88	6780	225,7
	ист. Дробные 2	43,4	6,66/6,9	21	17 760	219,2	42,16	12,43	6461	208,6
	ист. Башмачные *	74	6,61	н/о	н/о	(175,8)	—	4,35	2303,6	106,14
	ист. Башмачные 2*	71	6,35	н/о	н/о	(246,4)	—	7,20	3815,5	80,5
атмосферные осадки (дождь)		5	4,86/4,51	124	38	0,92	<0,28	13,73	2,13	
Охотское море		4	7,1	н/о	н/о	н/о	19,8	34,87	19127,7	134,2

Примечание: н/о — не определялось, прочерк — ниже предела обнаружения, данные из *-[4], **-[3]

Таблица 1. Продолжение

Место отбора	HSO ₄ ⁻ мг/л	SO ₄ ²⁻ мг/л	H ⁺ мг/л	Na ⁺ мг/л	K ⁺ мг/л	Ca ²⁺ мг/л	Mg ²⁺ мг/л	Fe ²⁺ мг/л	Al ³⁺ мг/л	Fe ³⁺ мг/л
Кратер влк. Кунто- минтар	исток руч. Кратерного	566,48	3269,8	6,25	63,64	1,95	412,8	26,75	355,5	195,3
	термальный источник у уреза руч. Кратерного	667,7	2795	8,65	63,94	1,95	364,7	29,2	337,5	181,4
	конденсат фумарольного газа (фумарола F5)	97	122,9	24,1	0,72	1,56	76,15	4,86	<0,3	<0,05
	термальный участок *	708,9			104,75	5,59	174,4	49,61	—	—
влк. Синарка. СВФП	ист. Гейзерный*	405,5			100,35	9	122	25,96	—	0,5
	ист. Бурлящий*	379,6			87,17	0	71,6	18,36	—	2
	ист. Черный дракон**	580			84	12	217	47,4	—	0,1
	площадка 4 **		1960	5	175	11,2	536	304	50	89,6
влк. Синарка. ЦАК	площадка 1	216,3	1321,9	5,15	385	29,8	545,1	501	49,14	106,02
	площадка 2	114,46	1612,8	2,25	159,9	10,56	513,02	238,3	73,8	14,1
	площадка 3	165,7	1660,8	3,1	250,01	21,2	489	338	43,52	68
	руч. Агломератовый ниже термальных площадок	61,11	784,3	2,35	111,8	4,1	272,5	136,2	29,34	12,24
Источники прибрежной зоны	ист. Закагные	474,2			2398,9	195,4	80,16	170,24	<0,3	<0,05
	ист. Закагные 2	182,4			839,04	35,88	150,3	32,83	<0,3	<0,05
	ист. Водопадные	711,4			2449,5	114,1	240,5	220,1	<0,3	<0,05
	ист. Водопадные 2	583,7			2433,4	120,12	260,5	245,6	<0,3	<0,05
	ист. Дробные	1058			3730	211,4	240,5	394	<0,3	<0,05
	ист. Дробные 2	1003,2			3638,6	257,4	240,5	355,1	<0,3	<0,05
	ист. Башмачные *	109,45			1246,95	70	245	8,05	н/о	н/о
	ист. Башмачные 2*	355,4			2273,4	249,3	91	н/о	н/о	н/о
атмосферные осадки (дождь)		6,24			1,3	2,34	0,8	<0,12	<0,3	<0,05
Охотское море		2704,4			10 699,6	440,8	440,9	1220,9	н/о	н/о

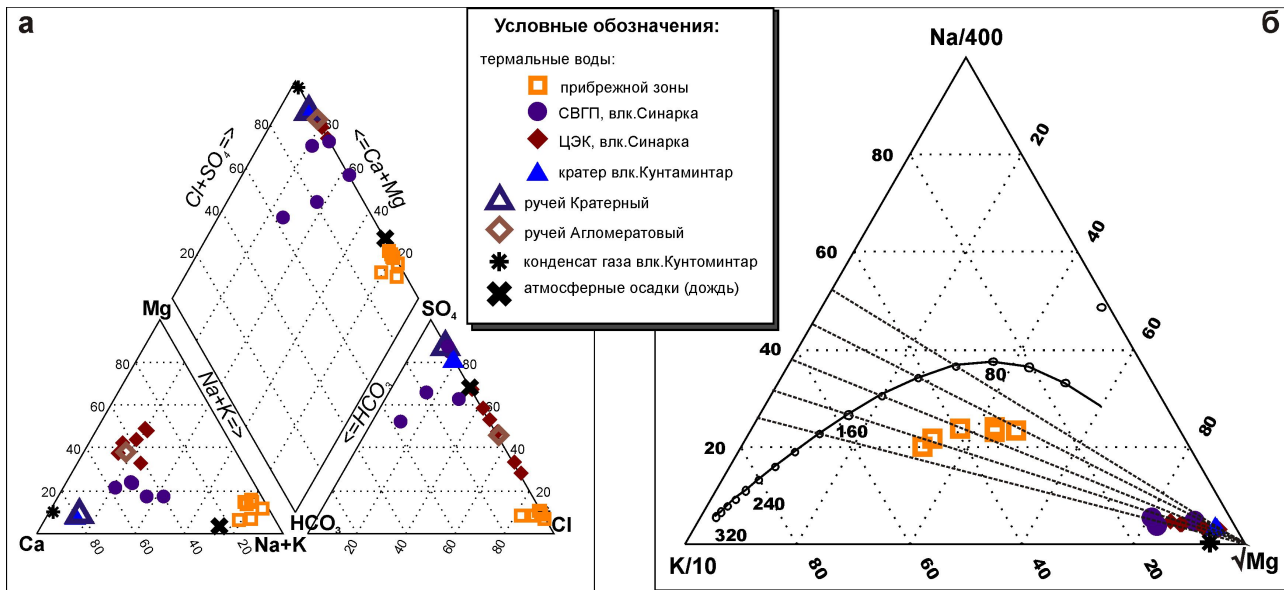


Рис. 3. Диаграммы химического состава (а) и Гиггенбаха (б) для термальных вод о. Шиащкотан.

зоне, а также соотношения фоновых компонентов (морская вода и атмосферные осадки, см. табл. 1) и конденсата фумарольного газа влк. Кунтоминтар. Из графиков хорошо видно, что в термальных водах, разгружающихся на склонах влк. Синарка, нет явной взаимосвязи между отдельными компонентами, тогда как для береговых терм характерна линейная зависимость между основными катионами и анионами с высокими коэффициентами корреляции (0,8–0,99). При этом точки на графиках соотношений концентраций К, Mg, Cl, SO₄ к Na (рис. 4) ложатся вдоль линии смешения морских и метеорных вод, что указывает на значительную роль последних в формировании термальных вод, разгружающихся в прибрежной зоне острова. Небольшие отклонения от линии смешения в сторону увеличения калия (рис. 4д) и уменьшения магния (рис. 3е) характерны для морских вод, прошедших интенсивное взаимодействие со вмещающими породами и магматическими флюидами. Результаты численного моделирования взаимодействия морской воды с кислым, горячим и обогащенным СО₂ глубинным флюидом, проводимого различными исследователями [8, 13] для гидротермальных систем островодужного типа [по 14] сводятся к тому, что с увеличением температуры и давления и последующим уменьшением рН происходит значительное изменение исходного состава морской воды. Гидрогеохимическая система стремится достичь термодинамического равновесия химических веществ, таких как кальций и магний. Растворимость их с ростом температуры падает, в результате чего эти компоненты осаждаются из воды в виде карбонатов. Напротив, калий и натрий имеют тенденцию растворяться при росте температуры и уменьшении рН.

На рис. 4а нанесены точки отражающие отношение Cl/B. В воде Охотского моря вблизи остро-

ва содержится 3,4 мг/л бора и 19 128 мг/л хлора (табл. 1) (Cl/B = 5680). Дождевая вода имеет очень низкое содержание В (<0,01 мг/л) и Cl (2,13 мг/л). Основными породами, слагающими остров, являются андезиты и базальты. Для андезитов (А) характерно отношение Cl/B = 30, а для базальтов (В) Cl/B = 65 [9, 13]. Практически все точки, отражающие данные для различных типов исследуемых термальных вод, на графике занимают промежуточное положение между линиями, характеризующими смешение метеорных вод с морскими водами и вмещающими породами. Исключение составляет конденсат фумарольного газа из кратера влк. Кунтоминтар. Концентрация Cl-ионов в конденсате составляет 888 мг/л, а содержание Н₃ВО₃ – 81 мг/л, отношение Cl/B при этом равно 61, что близко к значениям, характерным для вмещающих пород. Полученные данные свидетельствуют о том, что химический состав термальных вод формируется за счёт разной степени взаимодействия вмещающих пород с метеорными и морскими водами.

Температурный режим. Для оценок глубинных температур, при которых происходит формирование различных типов термальных вод исследуемого района, применены ионно-солевые геотермометры. Термальные воды, разгружающиеся в пределах острова, имеют невысокие дебиты и температуру меньше 100° С. Поэтому для расчётов были выбраны Na/K-геотермометры, применение которых возможно в данном интервале температур, графическая палетка Гиггенбаха, а также кварцевый и халцедоновый геотермометры. Из распределения отношений Na-K-Mg (рис. 3б) в водах, разгружающихся на склонах влк. Синарка (ЦЭК) и СВГП) и в кратере влк. Кунтоминтар, можно сделать вывод, что данные термы не являются насыщенными по отношению к натрию и калию, поскольку

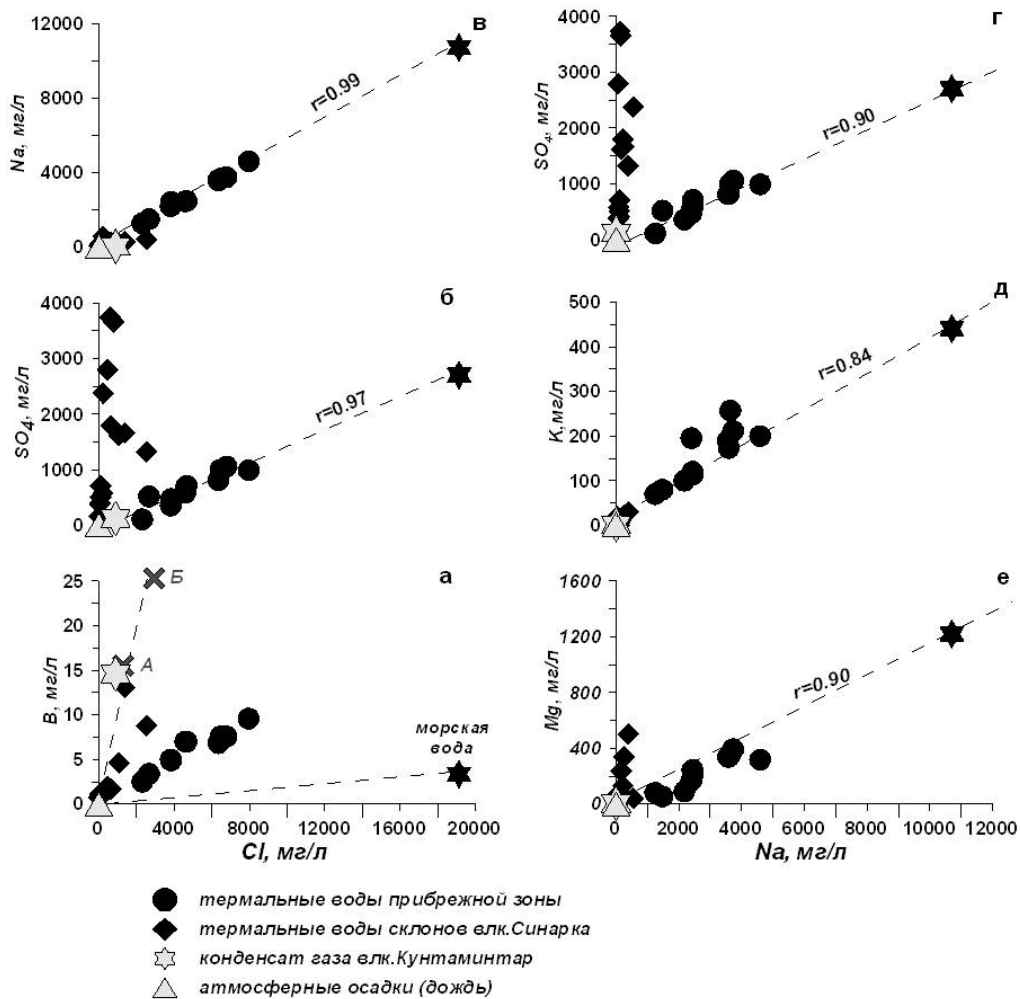


Рис. 4. Соотношение отдельных макрокомпонентов в термальных водах о. Шиащкотан

все точки сконцентрированы в области незрелых вод. По [11] подобное расположение характерно для кислых термальных вод, формирующихся в зоне аэрации за счёт растворения магматических эманаций в грунтовых водах и использование Na/K-геотермометров для таких вод некорректно.

Точки отношений Na-K-Mg в термальных водах прибрежной зоны острова, находятся на границе частично равновесных и уравновешенных с породами вод в диапазоне температур от 120 до 180°С. Рассчитанные температуры по Na/K-геотермометрам для этих вод дают интервал температур от 128°С до 187°С (табл. 2). Вероятнее всего, такой разброс связан с тем, что в итоговом химическом составе Na-Cl термальных вод искажены истинные катионные отношения за счёт смешения с холодными грунтовыми водами в близповерхностных условиях, при этом степень смешения в различных группах различная. В связи с этим для расчётной температуры глубинного резервуара мы принимаем наибольшую полученную температуру 187°С.

Рассчитанные по SiO₂-геотермометрам глубинные температуры представлены в табл. 2. Следует отметить, что глубинные температуры, рассчитан-

ные по SiO₂-геотермометрам для термальных источников прибрежной зоны, в среднем, ниже тех, что получены при использовании Na/K-геотермометров. Можно предположить, что в процессе подъёма гидротерм и в местах разгрузки на поверхности происходит осаждение кварца и его модификаций из раствора, в результате чего количество растворённой кремнекислоты в точках опробования значительно меньше, чем в глубинных гидротермах. Многие водопроницаемые трещины (в дайках и лавовых блоках) на всех термальных площадках прибрежной зоны, помимо других минералов, заполнены полосчатым кварцем и халцедоном.

Заключение

Полученные результаты геохимических исследований дают возможность скорректировать устоявшиеся представления об условиях формирования и разгрузки термальных вод острова Шиащкотан. Термальные воды северной части острова пространственно и генетически связаны с вулканическим массивом влк. Синарка и являются поверхностными проявлениями Северо-Шиащкотанской гидротермальной системы островодужного ти-

Таблица 2. Измеренные и рассчитанные глубинные температуры термальных вод о. Шиашкотан.

Точка отбора пробы	Т° С изм.	SiO ₂ -кварц		SiO ₂ -халцедон		Na/K	Na/K	Na/K
		F	A	A	F	N	T	A
ист. Закатные	53,4	118	117	93	91	187	183	175
ист. Дробные	43,0	142	141	119	123	160	163	143
ист. Дробные 2	43,4	146	145	123	128	176	184	162
ист. Водопадные	55,6	157	156	134	143	147	145	128
ист. Водопадные 2	63,8	157	156	134	143	151	150	133
площадка 1 (ЦЭК)	51,2	186	186	167	185			
площадка 2 (ЦЭК)	37,6	165	165	144	155			
площадка 3 (ЦЭК)	42,6	161	161	139	149			
термальный источник у уреза руч. Кратерный	64,5	193	193	174	194			
ист. Черный дракон (СВФП)	93,1	112	110	109	111			

Примечание: авторы геотермометров: F — Fournier, 1977; A — Arosson *al.*, 1983; N — Nieva and Nieva, 1987; T — Tonani, 1980, данные из [13].

па [по 14], имеющей классическую вертикальную зональность для гидротермальных систем вулканических дуг. Проекция восходящих гидротерм на дневной поверхности ассиметричны: отдельные потоки от них простираются по нескольким главным направлениям, определяемым тектоникой, и совпадают с региональным потоком подземных вод. В зоне основного восходящего потока, пространственно совпадающего с молодым экструзивным куполом влк. Синарка, сконцентрирована мощная парогазовая деятельность. Температура фумарол на границе купола и молодого конуса в среднем составляет 100–150° С, непосредственно на куполе достигает 449° С [3]. У подножия экструзивного купола, на западном склоне вулкана на четырёх термальных площадках происходит разгрузка кислых (рН < 4), сульфатно-хлоридных вод с пёстрым катионным составом с общей минерализацией до 8 г/л и температурой до 60° С, формирующихся в зоне аэрации за счёт растворения фумарольных газов в грунтовых водах, дренирующих лавовые потоки экструзивного купола. Расчётные температуры их формирования составляют 155–180° С. Многочисленные парогазовые струи с температурой около 100° С и кипящие сульфатные и сульфатно-хлоридные источники с широким диапазоном значений рН и общей минерализацией до 1 г/л встречаются в бассейне руч. Серного. Приурочены они к вулcano-тектоническому разлому северо-восточного простираения. Их формирование также происходит в приповерхностных условиях. Пар и газ, в основном СО₂ с примесью Н₂С, SO₂, и возможно других газов, которые выделяются в глубинной части гидротермальной системы, по ослабленной зоне поднимаются к поверхности, где частично абсорбируются грунтовыми водами, насыщенными кислородом. В результате формируются разнообразные по химическому составу конденсатные воды.

Механизм формирования подобных вод достаточно хорошо изучен и описан [6, 12, 10].

В прибрежной полосе разгружаются хлоридные натриевые термальные воды, являющиеся дериватами глубинных гидротерм, формирующихся в зоне восходящего потока гидротермальной системы. Места выходов их на поверхность контролируются структурными позициями: пересечением разломов с дайковыми комплексами разных возрастов. На общие условия формирования термальных источников прибрежной зоны указывает их единый гидрохимический тип, высокая корреляционная зависимость макрокомпонентов. Основным источником водного питания для глубинных гидротерм служат морские воды, поступающие в недра системы по зонам повышенной проницаемости, где они смешиваются с восходящим магматическим флюидом. Температура глубинного водного резервуара, рассчитанная по Na/K-геотермометрам составляет 187° С. В процессе миграции глубинного раствора к поверхности происходит смешение с холодными грунтовыми потоками, за счёт чего происходит существенное снижение температуры на выходе гидротерм до 40–50° С. Разная степень смешения приводит в итоге к формированию источников различной минерализации.

Тепловое и газовое питание системы осуществляется, вероятнее всего, за счёт больших объёмов остывающих пород, находящихся на глубине и занимающих подводящий канал. Молодой экструзивный купол был выжат около 150 л. н. и впоследствии были отмечены два извержения, которые сопровождалось выбросами ювенильного материала [2]. В связи с тем, что остывание магматического тела путём газовой выделенной и теплопроводности происходит крайне медленно, предполагаемая температура внутренней части тела купола на глубине должна быть не менее 500–600° С (по [5]). В последнее

время отмечено [3] увеличение температуры одной из fumarol на склоне купола на 70° С.

Кунтоминтарская гидротермальная система также пространственно и генетически связана с одноимённым вулканом и, вероятнее всего, в прошлом была подобна Северо-Шиащкотанской. Об этом свидетельствуют значительные массы гидротермально изменённых пород, обнажающихся в котловине-кальдере на юго-западном склоне вулкана. В настоящее время поверхностные проявления Кунтоминтарской гидротермальной системы ограничены двумя термальными полями. Основная разгрузка осуществляется в виде мощных парогазовых струй в кратере молодого пирокластического конуса влк. Кунтоминтар. Термальные источники, расположенные в кратере, формируются практически на поверхности в пониженных участках кратера за счёт попадания холодных грунтовых, а часто и поверхностных вод в зону выхода парогазовой струи.

Благодарности

Авторы выражают благодарность В. Н. Бурканову, С. И. Архипову и В. Ш. Саакяну за неоценимую помощь, благодаря которой состоялась экспедиция на о. Шиащкотан в 2011 г.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов ДВО РАН 09-III А-08-423 и 11-III Д-08-044.

Список литературы

1. Атлас Сахалинской области. Хабаровск: ФГУП ДВ АГП, 2007. С. 107.
2. Горшков Г. С. Вулканизм Курильской островной дуги. М.: Наука, 1967. 287 с.
3. Жарков Р. В., Козлов Д. Н., Дегтерев А. В. Современная фумарольная и гидротермальная активность вулкана Синарка (о. Шиащкотан, Курильские острова) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2011. № 1. выпуск № 17 С. 179–185
4. Мархинин Е. К., Стратула Д. С. Гидротермы Курильских островов. М.: Наука, 1977. 212 с.
5. Стратула Д. С. Вулканы и горячие источники о. Шиащкотан. Автореферат дис. канд. геол.-мин. наук. Петропавловск-Камчатский, 1969. 20 с.
6. Набоко С. И. Гидротермальный метаморфизм пород в областях современного вулканизма. М: АН СССР. 1963. 180 с.
7. Новейший и современный вулканизм на территории России / Отв. ред. Лаверов Н. П.. Москва: Наука, 2005. 604 с.
8. Таран Ю. А. Гавриленко Г. М., Черткова Л. В., Гричук Д. В. Геохимическая модель гидротермальной системы вулкана Ушишир (Курильские острова) // Вулканология и сейсмология. 1993. № 1. С. 55–68.
9. Arnórsson S., Andresdóttir A. Processes controlling the distribution of boron and chlorine in natural waters in Iceland // *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1995. Vol. 59. P. 4125–4146.
10. Arnórsson S., Stefánsson A., Bjarnason J.O. Fluid-fluid interactions in geothermal systems. // *Rev. Min. Geochem.* 2007. Vol. 65. 259–312.
11. Giggenbach W. F. Geothermal solute equilibria. Derivation of Na⁺ K⁺ Mg⁺ Ca geoindicators. *Geochim. Cosmochim. Acta.* 1988. V52. P. 2749–2765.
12. Giggenbach W. F. The origin and evolution of fluids in magmatic-hydrothermal systems. // *Geochemistry of hydrothermal ore deposits* (3rd edition). New York: John Wiley. 1997. P. 737–796.
13. Inguaggiato S., Pecoraino G., D'Amore F. Chemical and isotopic characterization of fluid manifestations of Isshia Island (Italy) // *Journal of volcanology and geothermal research.* 2000. Vol. 99. P. 151–178.
14. Lawless J. V. Variations in tapes of geothermal system with geological setting around the Pacific Rim. In: *Islands and basins: correlation and comparison of onshore and offshore geology.* SOPAC Miscellaneous Report. 1993, 22 p.