

УДК 551.21/23

ГЕОХИМИЯ И ФОРМИРОВАНИЕ ВОД ПУЩИНСКИХ УГЛЕКИСЛЫХ ТЕРМАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ.

Калачева Е.Г., Пташинский Л.А.

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

Приводятся новые данные по химическому и изотопному составу Пушинских горячих источников, расположенных в долине р. Кашкан и опробованных летом 2014 г. Изучен макро- и микрокомпонентный, а также газовый состав естественных выходов и глубинных вод, выведенных на поверхность скважиной. Рассмотрены условия формирования термальных вод. Показано, что они, вероятнее всего, пространственно и генетически связаны с интрузивным магматическим телом, возможным очагом вулканического массива г. Оленьей.

Введение

Углекислые термальные источники широко распространены на Камчатском полуострове. Согласно предыдущим представлениям [1], формирование их происходит на значительных глубинах в зоне замедленного водообмена вне сферы непосредственного влияния высокотемпературных вулканических очагов под воздействием термометаморфических процессов, приводящих к выделению из горных пород CO_2 . Однако, пространственно они ассоциируются обычно с вулканогенными палео-структурами. Углекислые термальные, воды связанные с подобным типом структур разгружаются в долине р. Кашкан в отрогах Восточно-Камчатского хребта в 16 км от с. Пушино. Первое наиболее полное описание источников с приведением химического и газового состава вод было сделано Б.И. Пийпом [5]. В дальнейшем источники упоминаются в некоторых работах, как пример углекислых термальных вод [4, 8, 10 и др.], но в работах приводится только средний состав макрокомпонентов термальных вод, по анализам 70-80-х годов XX века. В данной работе представлены новые данные по макро, микрокомпонентному и изотопному составу термальных вод района, полученные в результате полевых работ 2014 года и сделан вывод о магматическом тепловом и вещественном питании Пушинских источников.

Методика исследований.

Водные пробы на общий химический анализ были отобраны в пластиковые бутылки объемом 0.5 л с предварительной фильтрацией через 0.45 μm MILLIPORE фильтр. Температура (± 0.1 °C), pH (± 0.05) и электропроводность (± 2 %) измерялись непосредственно в точке отбора проб полевым мультиметром фирмы WTW. Пробы для определения микрокомпонентов после фильтрации отбирались в пластиковые пробирки объемом 15 мл и подкислялись химически чистой азотной кислотой. Определение концентраций основных катионов и анио-

нов (Na, K, Ca, Mg, HCO₃, Cl, SO₄), SiO₂ и бора, а также определение химического и минералогического состава осадков выполнялись в Аналитическом центре Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН стандартными методами. Анализ микроэлементного состава вод методом ICP-MS (Agilent 7500 CE), и его изотопный состав ($\delta^{18}\text{O}$ и δD) (IR-спектрометрия) выполнены в УНАМ (г. Мехико). Погрешность определения микроэлементов составляет $\pm 5\%$, изотопного состава $\pm 0.2\%$ для $\delta^{18}\text{O}$ и $\pm 1\%$ для δD .

Геологическое положение и описание термальных вод

Пушинское месторождение углекислых термальных вод относится к Восточно-Камчатской структурно-фациальной зоне [2] и располагается в зоне сочленения Центрально-Камчатской депрессии и поднятия Валагинского хребта, в области резкого погружения мел-палеогенового фундамента. Пушинский участок Центрально-Камчатской депрессии сложен породами от мелового до неоген-четвертичного возраста. Источники расположены в узкой каньонообразной долине р. Кашкан, заложенной по зоне разлома северо-западного простирания. Разгрузка термальных вод сосредоточена в пределах 1.5 км зоны в верхнем течении реки. Разгрузка осуществляется двумя группами, разделенными разрывным нарушением северо-западного простирания, который является сбросом с опущенным северо-восточным крылом [3]. Долина ручья Кашкан в районе верхней группы выходов термальных вод имеет V-образный профиль с шириной по дну от 5 до 20-30 м. Проявления термальных вод здесь прослеживаются на протяжении более 50 м по обоим бортам долины у подножия коренных склонов и на заболоченной пойме. Выходы из травертиновых отложений представлены газирующими грифонами, ваннами, просачиваниями. Наиболее высокотемпературные выходы расположены на правобережной площадке и образуют единый дренирующий ручей, стекающий в р. Кашкан. Дебит отдельных источников не превышают 0,1 л/с. Наибольшая измеренная температура в июле 2014 г. в естественных выходах составила 34°C. Нижняя группа характеризуется более мощной разгрузкой при более низких температурах. Максимальная температура в этой группе (24.2°C) отмечена в источниках, расположенных у подножия крутого склона правого борта ручья в 20 метрах от уреза воды. Ручей, сформированный источниками, также стекает в основной водоток. В таблице 1 представлены данные полевых измерений Пушинских источников.

В ходе поисковых работ в начале 80-х годов XX-го века в районе нижнего участка было пробурено 5 скважин, две из которых вывели с глубины от 127 до 652 м на поверхность слабощелочные HCO₃-Cl термальные воды [2] с температурой 55-70°C. В настоящее время функционирует только одна скважина. Температура на устье составляет 65°C. Вода из скважины самоизливом поступает в оборудованный для купания открытый бассейн.

Результаты.

Химический состав Пушинских термальных вод представлен в таблице 2. Все опробованные источники характеризуются слабоокислительными и слабовосстановительными значениями Eh (от -22 до +42). Отрицательные значения Eh наблюдаются в водах рН > 7. В целом значения рН варьируют от слабокислых до нейтральных (от 5.5 до 7.3). Химический состав

Таблица 1. Координаты и полевые данные термальных и холодных вод долины р. Кашкан (июль 2014 г).

Пробы	№	С.Ш.	В.Д.	Т°С	Eh мВ	pH _{field}	S, µS/cm
Источник	Пщ-1	54°02.950'	158° 2.547'	14,1	+6	7,18	1420
источник	Пщ-2	54°02.960'	158° 2.543'	9,6	+24	6,6	250
источник	Пщ-3	54°02.958'	158° 2.546'	20,6	+42	6,3	3810
скважина	Пщ-4	54°03.051'	158° 2.444'	60,1	-8	7,1	8550
источник	Пщ-6	54°02.938'	158° 2.712'	34	+11	6,8	5520
источник	Пщ-7	54°02.940'	158° 2.714'	31,9	+18	6,75	5470
источник	Пщ-8	54°03.089'	158° 2.567'	24,2	+31	6,46	3450
источник	Пщ-9	54°03.092'	158° 2.548'	14,8	-22	7,35	1938

Таблица 2. Химический (мг/л) и изотопный (‰ VSMOW) состав Пущинских термальных источников

№	Т, °С	pH _{lab}	SiO ₂	В	TDS г/л	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	δD	δ ¹⁸ O
Пщ-1	14.1	5.55	280	0.44	466	12.8	117	6.7	21.5	3.0	15.7	6.4	-127.1	-16.6
Пщ-2	9.6	5.65	117	0.44	280	10.6	103	6.7	19.5	2.2	12.5	6.5		
Пщ-3	20.6	6.4	196	9.1	1972	355	707	135	440	16.8	51.8	20.1	-124.0	-16.3
Пщ-4	60.1	7.29	231	49	7971	1791	2731	538	2080	117	158	48	-118.5	-14.0
Пщ-6	34.0	7.16	279	29	5265	1206	1739	346	1276	68	150	42	-121.6	-15.7
Пщ-7	31.9	6.95	310	26	5143	1135	1678	365	1261	64	142	42		
Пщ-8	24.2	6.88	363	16	3280	656	1037	230	728	33	110	32	-127.1	-16.3
Пщ-9	14.8	7.01	187	6.2	1838	319	691	134	353	14.2	81	24		
Расчетный состав	100					3500	5000	1050	4100		330	90		

термальных вод весьма постоянен, все опробованные воды относятся к гидрокарбонатно-хлоридным натриевым в широком диапазоне общего количества растворенных солей. Минерализация вод изменяется от 0.47 г/л до 5.27 г/л в естественных выходах. Максимальное значение (8 г/л) определено для воды, выведенной на поверхность скважиной. Содержание SiO₂, в среднем, составляет 200-250 мг/л. Составы всех опробованных вод ложатся на линию смешения между поверхностными грунтовыми водами и составом воды из скважины (рис. 1). Также наблюдается почти идеальная положительная корреляция между хлорид-ионом и температурой выхода. Такое распределение характерно для вод, формирование которых происходит в единых гидрогеологических условиях. Уменьшение минерализации, наблюдаемое на разных термальных участках, происходит за счет разбавления глубинных вод с грунтовыми в приповерхностных условиях, проходящее практически без выведения компонентов из раствора по пути миграции. Только при выходе на поверхность происходит формирование осадков в виде многослойных травертиновых плащей, состоящих в основном из кальцита (арагонита) (более 80%) с примесью гипса, магнезита и окислов железа. Химический состав отложений источников и скважин практически идентичен (таблица 3). Жильные отложения в лавах, наблюдаемые в обрывах р. Кашкан также состоят преимущественно из кальцита. Их химический состав идентичен отложениям источников и скважины (Табл. 3).

Практически идеальные линии смешения (коэффициенты корреляции выше 0.9, рис. 1) позволяют оценить гипотетический химический состав глубинной составляющей при температуре 100°C, (Таблица 2)

Впервые нами был определен изотопный состав Пущинских термальных вод. Все составы лежат близко к линии метеорных вод и близки к составам локальных поверхностных вод (рис. 2). График на рис. 2б демонстрирует линейную зависимость между хлор-ионом и δD в термальных водах. Чем выше δD тем выше концентрация хлора, и, соответственно, минерализация, что также подтверждает единый источник питания гидротермальной системы. Эта положительная корреляция между δD и содержанием хлорид-иона (рис. 2в) совпадает с

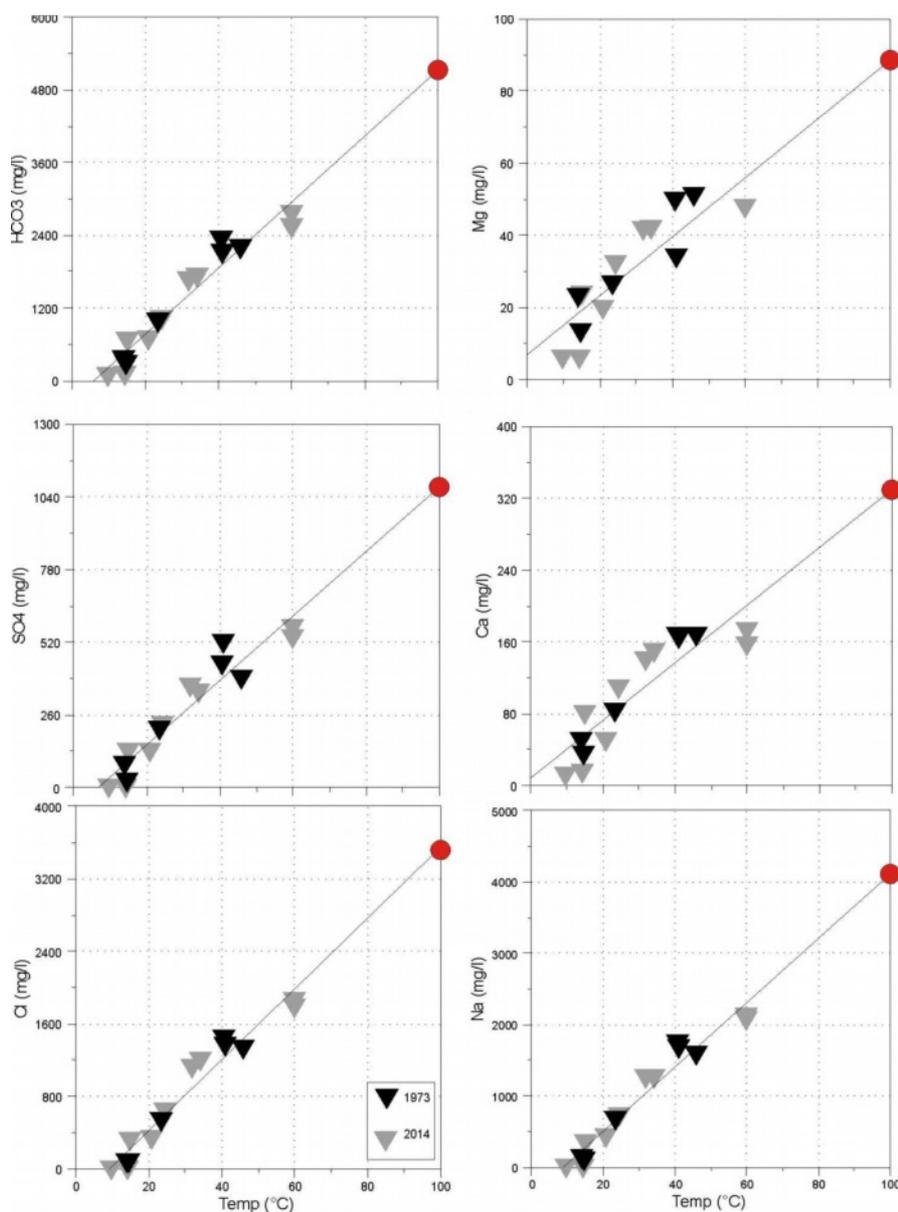


Рис. 1. Соотношение основных компонентов в Пущинских источниках.

Таблица 3. Химический состав травертиновых отложений Пущинских источников.

Место отбора	У источника	Возле скважины	Жила в лавах
SiO ₂	17.8	16.8	17.4
TiO ₂	0.02	0.01	0.02
Al ₂ O ₃	1.63	1.47	1.8
Fe ₂ O ₃	0.92	1.35	1.44
FeO	0.15	0.15	1.47
MnO	0.06	0.03	0.10
CaO	31.8	33	31
MgO	0.44	0.09	0.46
Na ₂ O	2.07	2.27	1.87
K ₂ O	0.09	0.06	0.11
P ₂ O ₅	0.04	0.04	0.06
CO ₂	43.7	43.9	43.7
S	1.02	0.62	0.42

трендом, направленным в область состава островодужных магматических вод [11], что указывает на магматический, а не коровый, источник теплового и вещественного питания Пущинских источников. Наблюдаемый изотопный сдвиг по дейтерию соответствует примерно 10% вклада магматической воды в питание Пущинских источников

Логарифмические графики, показывающие корреляцию между концентрациями редких элементов в воде одного из источников (Пщ-6) и скважины (Пщ-4) показаны на рис. 3. Точки, отражающие соотношение концентраций практически всех микрокомпонентов в этих водах расположены вдоль линии равных значений, что также подтверждает единые условия формирования вод на глубине. Общая концентрация РЗЭ в водах оказалась очень низкой, содержания отдельных редкоземельных элементов находятся на уровне или ниже предела обнаружения. В целом для Пущинских источников характерны повышенные содержания ряда элементов, включая литий (до 4 мг/л), стронций (до 6 мг/л), мышьяк (до 0.1 мг/л).

Условия формирования

Согласно данным, представленным в [2, 7] Пущинские источники являются поверхностными проявлениями гидротермальной системы, связанной с Кашканским супермассивом. Это система трещинно-жильного типа, приуроченная к межгорному артезианскому бассейну с водосборной площадью вокруг активных термопроявлений около 13 км². По мнению авторов отчета Пущинская гидротермальная система относится к типу инфильтрационных тектоногенных систем. Однако, в работе В.Л. Леонова [3] показано, что в верховьях р. Камчатки между р. Кашкан и ее левым притоком расположен массив г. Оленьей, который представляет собой единственное в этой части Центральной Камчатской депрессии вулканическое образование. В морфологическом плане массив выражен обособленной, несколько вытянутой в меридиональном направлении возвышенностью шириной 10 - 12 км с абсолютными отметками высот в 900 - 1000 м (рис. 4). По мнению автора на глубине не более 2-3 км под постройкой

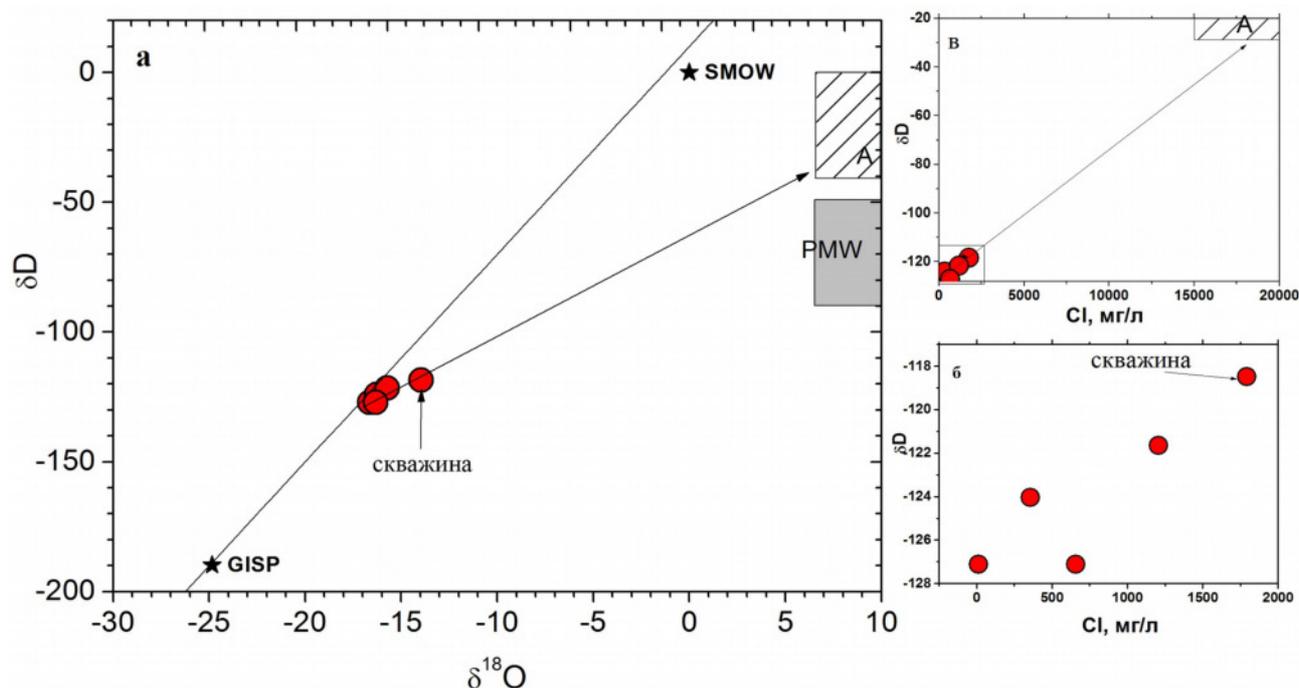


Рис. 2. Соотношение величин δD и $\delta^{18}O$ (а) и δD и Cl (б, в) в Пущинских источниках.

находится верхняя кромка близповерхностного магматического очага кислого состава, обеспечивающего тепловое питание Пущинских горячих источников и в настоящее время, и в целом, массив г. Оленьей является перспективным в отношении поиска средне-температурных термальных вод. Представленные нами данные согласуются с этой гипотезой. Более того, согласно ранее опубликованным данным [6, 10], изотопный состав гелия свободного газа Пущинских источников характеризуется высоким значением $5.4Ra$, где Ra – изотопное отношение в воздухе, равное 1.4×10^{-6} . Индикаторные отношения $CO_2/{}^3He \approx 10^{11}$ и $Cl/{}^3He \approx 10^9$ в Пущинских газах близко к среднему, оцененному для газов зон субдукции [9, 10]. Наши данные о корреляции изотопного состава воды с концентрацией хлорид-иона подтверждают участие магматического тепла и вещества в формировании Пущинских источников.

Заключение

Пущинские горячие источники - очаг разгрузки долгоживущей гидротермальной системы, которая традиционно связывалась с Кашканским массивом. Однако, вслед за Леоновым [3] нам наиболее вероятным представляется, что Пущинские источники связаны с вулканическим массивом г. Оленья. Помимо геологической позиции, на это указывает химический и изотопный состав источников, согласно которым хлор, гелий и CO_2 в термальных водах имеют магматическое происхождение. Низкие температуры источников связаны, как показано на примере корреляции хлорид-иона с температурой, с интенсивным смешением с поверхностными водами. Как показано в работе [3] вулканическая постройка рассечена множеством разрывных нарушений разного масштаба и направлений. Раздробленность пород в районе настолько высокая, что в привершинной части массива все долины ручьев и бессточные котло-

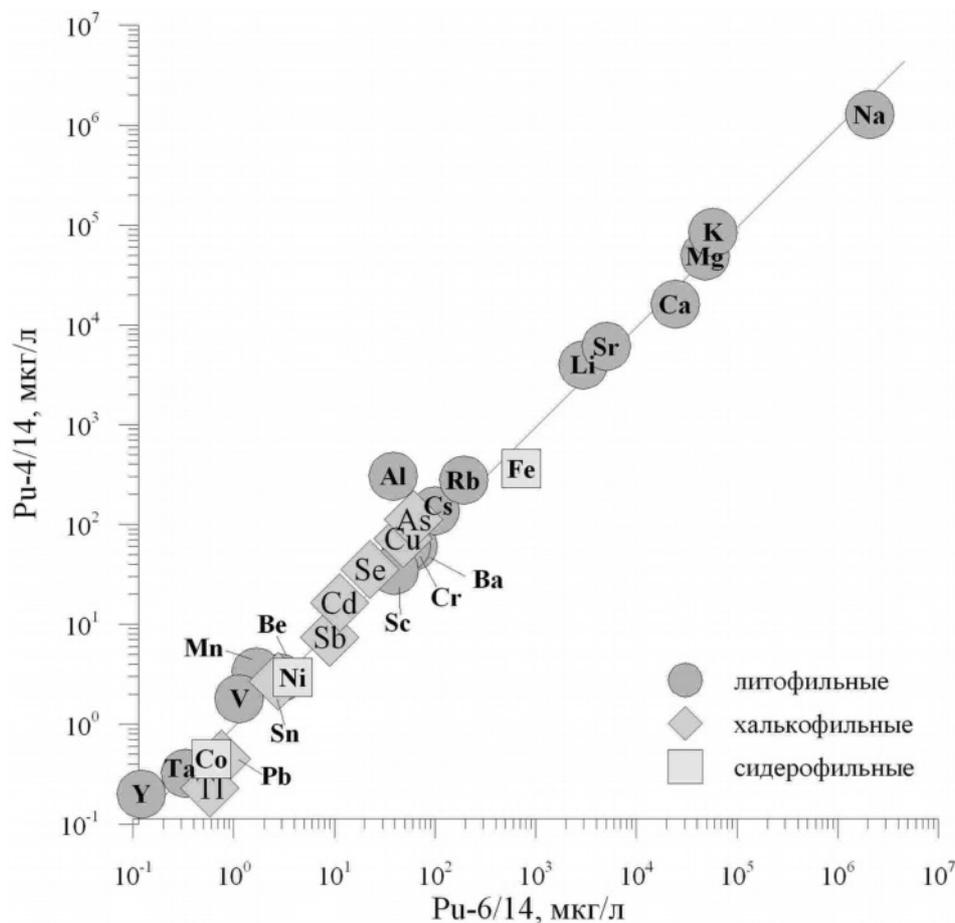


Рис. 3. Соотношение микроэлементов в Пушчинских источниках.

вины сухие. Вода по многочисленным трещинам проникает в глубокие части структуры и разгружается на поверхности лишь в глубоких врезках по её периферии. В связи с этим, необходимо провести дополнительные исследования вокруг вулканической постройки в бассейнах рек, дренирующих его склоны на предмет поиска минеральных и термальных вод схожего с Пушчинскими гидрохимического типа.

Список литературы.

1. Гидрогеология СССР Том XXIX Камчатка, Курильские и Командорские острова. М.: Недра. 1972. 364 с.
2. Комплексные геофизические исследования геологического строения месторождений термальных вод Камчатки (под редакцией В.М.Сугробова). М.:Наука. 1985. 112 с.
3. *Леонов В.Л.* Вулкано-тектоническая структура горы Оленьей (Центрально-Камчатская депрессия) и геолого-структурная позиция расположенных вблизи термальных источников // Вулканизм и геодинамика. Труды III Всероссийского симпозиума по вулканологии и палеовулканологии, 5-8 сентября 2006 г., Улан-Удэ: Изд-во Бурятского научного центра СО РАН 2006. С. 467-473.

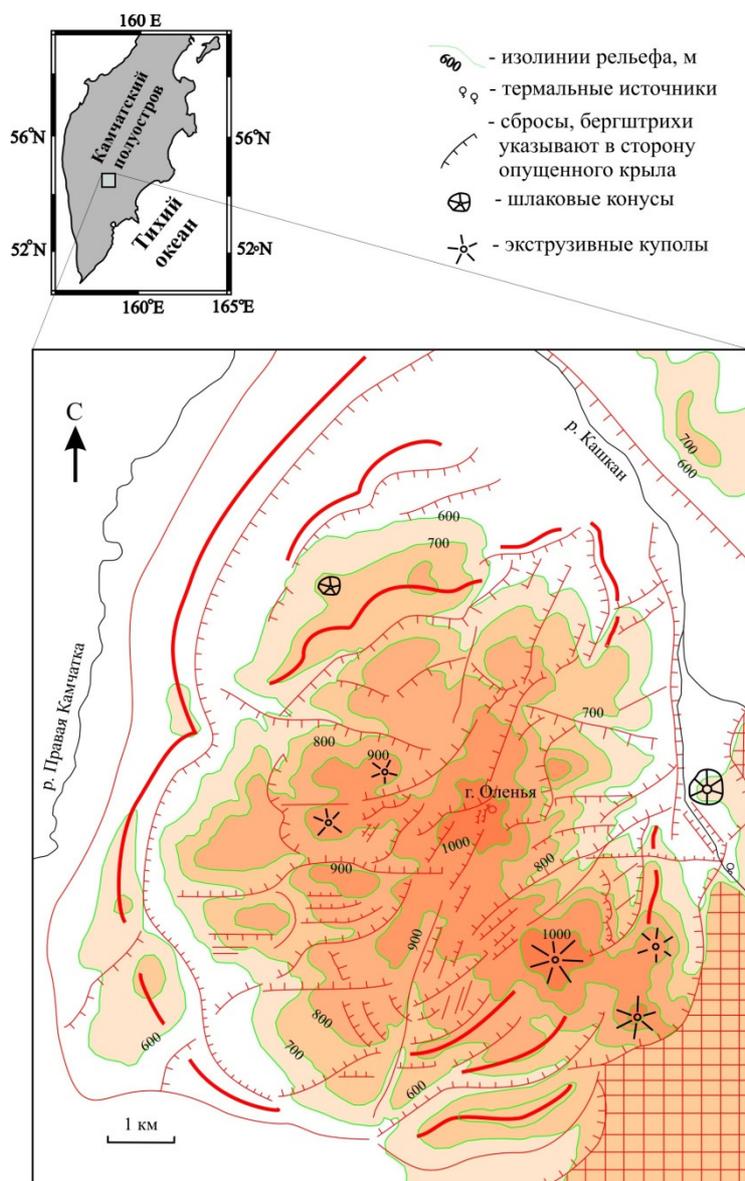


Рис. 4. Структурная схема массива г. Оленьей (из Леонов, 2006) .

4. Пампура В.Д. Геохимия гидротермальных систем областей современного вулканизма. Н.: Наука. 1985. 152 с.
5. Пийп Б.И. Термальные ключи Камчатки. М.: АН СССР, 1937. 268с.
6. Рожков А.М. Верховский А.Б. Геохимия благородных газов высокотемпературных гидротерм. М.: Наука, 1990. 133 с.
7. Прогнозная оценка геотермальных ресурсов Камчатской области по работам 1977-1980 гг. Отчет. Том 3. 351 с.
8. Трухин Ю.П. Геохимия современных геотермальных процессов и перспективные геотехнологии. М.: Наука. 2003. 376 с.

9. *Hilton D., Fisher T., Marty B.* Noble gases and volatile recycling at subduction zones. Noble gases in geochemistry and cosmochemistry. Reviews in Mineralogy and geochemistry. Washington. The V 47. 2002. P.319-370.
10. *Taran, Y.A.* Geochemistry of volcanic and hydrothermal fluids and volatile budget of the Kamchatka-Kuril subduction zone // *Geochim. Cosmochim. Acta.* № 73. 2009. P. 1067-1094.
11. *Taran Y., Zelenski M.*, 2014. Systematics of water isotopic composition and chlorine content in arc-volcanic gases. The Role of Volatiles in the Genesis, Evolution and Eruption of Arc Magmas. Geological Society, London, Special Publications, P. 410-432.