

СРАВНЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ТЕРМАЛЬНЫХ, СТОЧНЫХ И ГРУНТОВЫХ ВОД КУЛЬДУРСКОГО РАЙОНА

В.А. Потурай

Институт комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН, г. Биробиджан

В статье приведены результаты математической обработки данных мониторинга Кульдурских термальных скважин, р. Кульдур и пресных водозаборов. Вода из Кульдурского термального поля высокоминерализованная и щелочная. Термальные воды обогащены относительно сточных и грунтовых вод такими компонентами, как $\text{Na}^+(\text{+K}^+)$, Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , F^- , H_4SiO_4 . Сточные и грунтовые воды являются слабоминерализованными и нейтральными. В воде из реки Кульдур и пресноводных скважин наблюдается повышенное содержание кальция относительно термальных источников. Обогащение термальных вод такими компонентами, как $\text{Na}^+(\text{+K}^+)$, Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , F^- , H_4SiO_4 связано со значительным вкладом ювенильных вод, поступающих из глубоких областей земной коры.

Введение

Известно, что формирование химического состава поверхностных водотоков в большей степени происходит за счет влияния атмосферных осадков и контакта водных объектов с вмещающими породами и почвами. Термальные источники отличаются от поверхностных водотоков. Формирование химического состава терм может происходить на больших глубинах земной коры. В этой связи проводилось изучение гидрохимического состава Кульдурского термального поля, р. Кульдур и пресных водозаборов, результаты которого изложены ниже.

Целью данной работы является изучение химического состава Кульдурских термальных вод, р. Кульдур и холодных пресноводных скважин и оценка влияния атмосферных осадков на формирование гидрохимии исследуемых водных объектов.

В ходе исследования планировалось получить данные для решения следующих задач:

1. Изучение химического состава термальных вод, р. Кульдур и артезианских скважин.
2. Сравнение химического состава минерализованных термальных скважин с химическим составом вод р. Кульдур и артезианских скважин.

Краткая характеристика

Кульдурского термального поля

Кульдурское термальное поле располагается в северо-западной части Еврейской автономной области (ЕАО), в 2 км от одноименной станции Дальневосточной железной дороги. Термы связаны с крупной зоной тектонического дробления в гранитном массиве. Рассматриваемые растворы представляют собой типичные напорные трещинные воды, поднимающиеся с глубины, как минимум, на 2–3 км [4]. По нашим данным, источник ювенильной составляющей этих вод находится в области частично расплавленных пород в астеносферном слое, на глубине порядка 40–50 км. Вода из скважин является высокоминерализованная. Термальная площадка месторождения приурочена к правобережной час-

ти долины р. Кульдур (левого притока р. Биры), берущей начало с восточных склонов хр. Малый Хинган. Русло реки весьма извилистое, ширина водотока 8–10 м, глубина 0,1–0,45 м. Зимой она перемерзает, за исключением участков восходящей разгрузки термальных вод [3].

Формирование терм происходит на больших глубинах за счет нормального геотермического градиента. Восполнение запасов термальных вод обеспечивается инфильтрационной частью атмосферных осадков, проникающих по открытым трещинам на большие глубины где-то в пределах хребта Малый Хинган и за счет перетока на эти же глубины подземных вод из вышележающих водоносных горизонтов и комплексов. Воды имеют щелочной состав и относятся к азотно-кремнистому типу. Схожие термальные воды были обнаружены в Хабаровском крае – это Тумнинские и Анненские источники [1].

На месторождении установлена отчетливая зональность (рис. 1). Наиболее высокотемпературные воды (71–

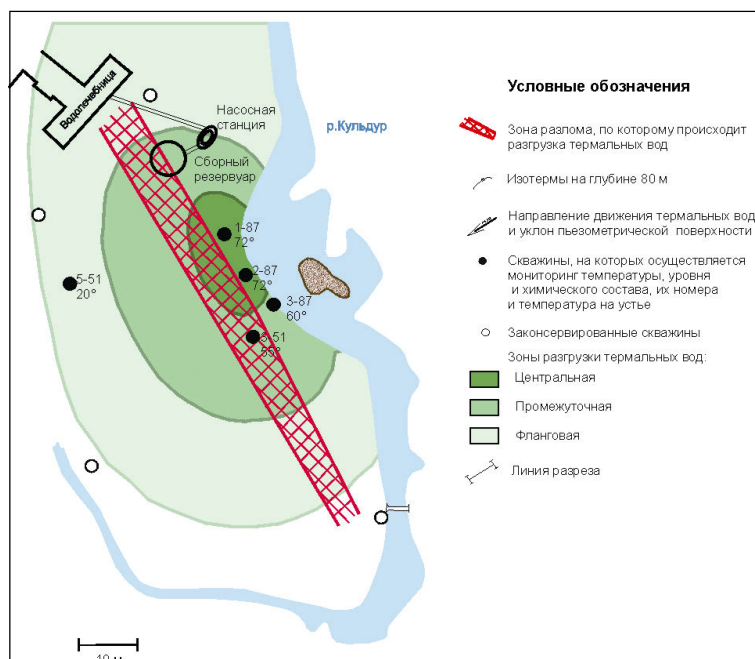


Рис. 1. Зональность Кульдурского термального поля (с использованием материалов Сидорова В.Е.)

72°C) вскрываются в его центральной части скважинами 1-87 и 2-87 глубиной 100 м, которые являются проточными и используются для лечения отдыхающих. В промежуточной зоне расположены скважины 3-87 и 3-51, имеющие температуру 55-60°C. Скважина 5-51 с температурой воды 20–25°C располагается во фланговой зоне. Скважины 3-87, 3-51 и 5-51 являются непроточными, на них проводятся режимные наблюдения (мониторинг уровня воды, температуры, химического состава) [2].

Пробы воды из р. Кульдур отбирались из четырех контрольных точек. Точка I находится выше термального поля по течению реки. Точка II располагается в месте слива излишка термальной воды, которая используется в санаториях. Точка III находится в районе естественной разгрузки термальных скважин. Точка IV – ниже термальной площадки по течению реки на 500 м (рис. 2).

В настоящее время (с 2006 г.) санаторий Кульдур ввел в эксплуатацию четыре скважины (№ 10-1, 10-2, 10-3, 10-4) нового водозабора, расположенного в склоновой части долины р. Кульдур и оборудованного преимущественно на палеозойских гранитах. На этих скважинах также проводится мониторинг химического состава.

Методика исследования

Для изучения химического состава термальных, сточных и грунтовых вод были использованы данные мониторинга по пяти термальным скважинам 1-87, 2-87, 3-87, 3-51, 5-51 и по четырем точкам р. Кульдур за 2007–2008 гг., предоставленные Кульдурской гидрогеологической станцией (отчет за 1996 г.). Пресные водозаборы начали наблюдаться с 2008 года в среднем раз в месяц. Данные обчислены за 2008–2009 гг. Их математическая обработка производилась при помощи программы MS Excel. Мониторинг проводился каждые три дня для следующих компонентов: F⁻, H₄SiO₄, рН, температуры и каждые 10 дней для NH₄⁺, Na⁺ (+K⁺), Ca²⁺, Cl⁻, SO₄²⁻, CO₃²⁻, HCO₃⁻, H₂S, общей минерализации. С мая 2008 г. наблюдение по всем параметрам проводилось каждые 5 дней. Химический анализ артезианских скважин проводился для NH₄⁺, Na⁺ (+K⁺), Ca²⁺, Cl⁻, SO₄²⁻, CO₃²⁻, HCO₃⁻, H₂S, F⁻, H₄SiO₄, рН.

Результаты исследования

В результате проведенного исследования было определено среднее значение концентраций наблюдаемых компонентов в пробах воды, отобранных из скважин Кульдурского термального поля (табл. 1), из четырех точек реки Кульдур (табл. 2) и из пресных водозаборов санато-

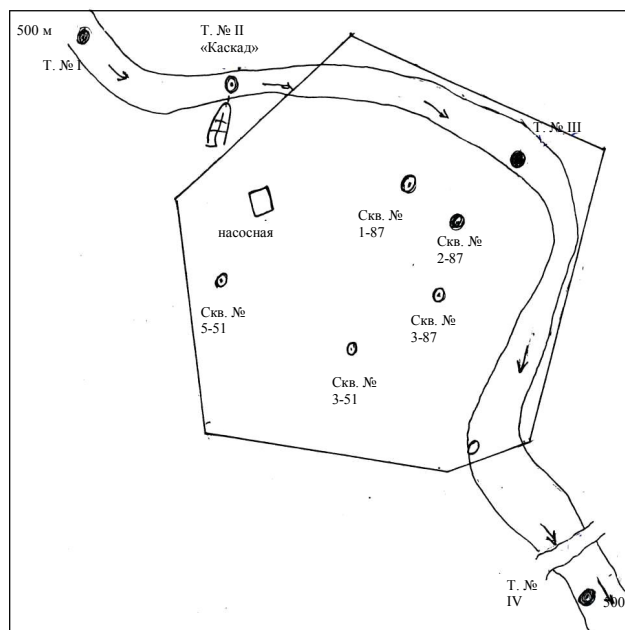


Рис. 2. Схема точек отбора проб из термального поля и реки Кульдур

рия «Кульдур» (табл. 3). Дисперсия в таблицах приведена в скобках.

Обсуждение результатов

В ходе исследования были сопоставлены полученные данные по термальным скважинам, водам р. Кульдур и артезианским скважинам. Установлено, что концентрации таких компонентов, как Na⁺ (+K⁺), Cl⁻, SO₄²⁻, CO₃²⁻, F⁻, H₄SiO₄ в термальных скважинах значительно выше (в 3–10 раз), чем в р. Кульдур и пресных скважинах. Это находит отражение в общей минерализации, которая в термах в 3,5 раза выше, чем в реке. Концентрация Ca²⁺ в термах заметно ниже, чем в реке и пресных водозаборах. Значение рН в термах также выше, чем в реке и пресных водозаборах. Это, возможно, связано с тем, что в термальных скважинах в значительной мере присутствует ювенильная составляющая и вода из этих скважин меньше подвержена разбавлению атмосферными осадками, тогда как вода из р. Кульдур и пресных скважин практически полностью имеет атмосферное происхождение. Поэтому можно говорить о том, что Na⁺ (+K⁺), Cl⁻, SO₄²⁻, CO₃²⁻, F⁻, H₄SiO₄ поступает в воду в основном за счет глубинной составляющей. Эти компоненты также присут-

Таблица 1

Среднее значение концентрации компонентов, температуры и рН по зонам Кульдурского термального поля за 2007–2008 гг.

Зоны термального поля	Компоненты, мг/дм ³												
	NH ₄ ⁺	Na ⁺ (+K ⁺)	Ca ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	H ₂ S	Общ. мин-ция	F ⁻	H ₄ SiO ₄	рН	Т°С
Центральная зона	0,33 (0,002)	144,02 (47,92)	1,86 (0,02)	33,08 (2,2)	11,85 (8,4)	42,5 (12,51)	117,56 (194,38)	5,4 (0,3)	524,71 (443,9)	20,73 (3,82)	137,69 (145,39)	9,6 (0,01)	72,03 (0,87)
Промежуточная зона	0,12 (0,008)	141,2 (69,35)	1,78 (0,04)	30,96 (9,09)	10,44 (8,81)	41,91 (40,19)	125,24 (311,28)	4,96 (0,25)	498,99 (795,02)	20,3 (7,39)	109,35 (906,53)	9,68 (0,04)	58,51 (7,51)
Фланговая зона	0,21 (0,005)	140,5 (54,33)	1,86 (0,02)	32,96 (2,39)	11,01 (9,16)	40,62 (16,03)	117,68 (196,42)	5,08 (0,2)	509,88 (482,66)	20,39 (3,8)	130,34 (132,32)	9,57 (0,01)	23,37 (15,86)
Общее среднее	0,22 (0,01)	142,24 (59,99)	1,83 (0,03)	32,17 (6,15)	11,12 (9,08)	41,94 (25,02)	120,79 (256,82)	5,16 (0,3)	511,43 (733,01)	20,49 (5,35)	124,6 (636,03)	9,63 (0,03)	58,37 (285,25)

Таблица 2

Среднее значение концентрации компонентов, температуры и pH р. Кульдур за 2007–2008 гг.

Площадки р.Кульдур	Компоненты, мг/дм ³												
	NH ₄ ⁺	Na ⁺ (+K ⁺)	Ca ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	H ₂ S	Общ. мин-ция	F ⁻	H ₄ SiO ₄	pH	T°C
Точка I	0,33 (0,03)	10,41 (25,2)	7,86 (1,06)	0,14 (0,34)	0,02 (0,03)	0	43,18 (176,46)	4,46 (0,16)	84,31 (401,69)	0,49 (0,52)	19,21 (41,14)	7,06 (0,09)	3,29 (8,07)
Точка II	0,16 (0,02)	64,39 (1720)	4,7 (5,65)	14,05 (131,7)	4,48 (15,27)	15 (199,6)	76,69 (736,72)	4,63 (0,16)	271,83 (22215)	10,28 (53,3)	78,67 (2114,4)	8,68 (0,94)	21,09 (202,28)
Точка III	0,28 (0,03)	18,94 (307,12)	7,71 (1,41)	2,58 (42,39)	0,61 (3,44)	0,5 (5,1)	52,04 (377,63)	4,57 (0,18)	115,21 (3947,72)	3,62 (29,73)	30,84 (459)	7,29 (0,28)	5,65 (23,45)
Точка IV	0,27 (0,03)	16,69 (264,95)	7,66 (1,55)	2,13 (37,54)	0,47 (3,45)	0,7 (9,67)	51,04 (386,24)	4,59 (0,17)	108,07 (3088,36)	1,33 (5,8)	23,81 (192,25)	7,3 (0,25)	4,83 (18,16)
Общее среднее	0,26 (0,03)	27,62 (1014,29)	7 (4,06)	4,75 (82,19)	1,39 (8,66)	3,95 (90,54)	55,99 (570,07)	4,57 (0,17)	144,99 (12586,66)	4,56 (41,75)	41,21 (1398,89)	7,64 (0,87)	9,49 (126,31)

ствуют и в атмосферных осадках, но в меньшей степени. В отличие от вышеупомянутых компонентов, повышенное содержание кальция связано с приповерхностными водами, в которые он, вероятно, поступает из вмещающих пород и почв.

SO₄²⁻, CO₃²⁻, F⁻, H₄SiO₄ в значительной степени привносятся в воды термального поля с флюидами, поднимающимися из глубоких областей земной коры. Об этом говорит резкий скачок концентраций этих показателей в точке II р. Кульдур, в месте слива излишка термальной воды.

Таблица 3

Среднее значение концентрации компонентов и pH по пресным водозаборах п. Кульдур за 2008–2009 гг.

Пресные скважины	Компоненты, мг/дм ³										
	NH ₄ ⁺	Na ⁺ (+K ⁺)	Ca ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	F ⁻	H ₂ S	H ₄ SiO ₄	pH
Скв. 10-1	0,08 (0,002)	13,3 (17,38)	19,15 (33,73)	1,8 (0,75)	2,33 (0,53)	0,16 (0,06)	86,21 (340,9)	0,13 (0,01)	0,31 (0,05)	6,07 (0,91)	7,02 (0,1)
Скв. 10-2	0,11 (0,005)	11,35 (14,21)	23,11 (17,81)	1,77 (1,72)	2,16 (0,49)	0,49 (2,32)	93,26 (83,62)	0,11 (0,003)	0,35 (0,06)	6,47 (0,67)	7,31 (0,07)
Скв. 10-3	0,16 (0,03)	13,7 (51,48)	30,22 (149,3)	4,57 (21,1)	5,2 (15,4)	0,1	113,25 (373,5)	0,63 (0,72)	0,63 (0,08)	10,65 (11,41)	6,57 (0,04)
Скв. 10-4	0,08 (0,001)	13,12 (76,82)	35,06 (4,53)	8,08 (16,2)	6,4 (96,8)	0,1	112,86 (61,36)	0,47 (0,05)	0,53 (0,01)	7,88 (0,14)	6,54 (0,03)
Общее среднее	0,1 (0,006)	12,57 (25,94)	23,97 (61,13)	2,91 (9,35)	3,1 (14,6)	0,28 (0,93)	95,35 (297,7)	0,22 (0,1)	0,39 (0,06)	6,95 (3,49)	7,02 (0,18)

Наиболее интересным является сравнение гидрохимии термального поля с гидрохимией р. Кульдур в различных точках отбора проб. Как уже отмечалось выше, пробы из р. Кульдур отбирались из четырех точек. Первая точка выше термального поля по течению реки, поэтому не подвержена разбавлению сливами с термальных скважин. Вторая точка находится непосредственно в месте слива излишка термальной воды. Остальные две точки находятся ниже по течению реки. Концентрации таких компонентов, как Na⁺(+K⁺), Cl⁻, SO₄²⁻, CO₃²⁻, F⁻, H₄SiO₄, а также pH и минерализации в точке I р. Кульдур ниже, чем в остальных точках, и близки по значению с концентрациями этих же компонентов в пресных водозаборах. В точке II р. Кульдур концентрация этих компонентов заметно возрастает и приближается по значению к среднему содержанию их в термальных скважинах. В точке III и IV концентрации Na⁺(+K⁺), Cl⁻, SO₄²⁻, CO₃²⁻, F⁻, H₄SiO₄, а также pH и минерализации резко снижаются и становятся близки по значению с концентрациями этих компонентов в точке I р. Кульдур и в пресных скважинах (рис. 3). Это подтверждает сделанный ранее вывод о том, что вода из скважин термального поля в значительной степени имеет глубинную составляющую и меньше подвержена влиянию атмосферных осадков. Na⁺(+K⁺), Cl⁻,

В отличие от вышеупомянутых компонентов среднее содержание кальция в термальных водах значительно ниже, чем в реке Кульдур и в пресных скважинах. В точке I, III и IV р. Кульдур средняя концентрация кальция значительно выше, чем в точке II реки и в термальных скважинах (рис. 4). Это также служит доказательством того, что

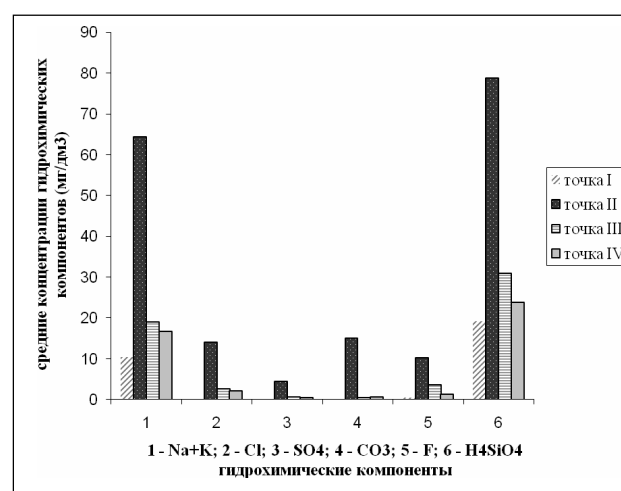


Рис. 3. Средние концентрации гидрохимических показателей р. Кульдур

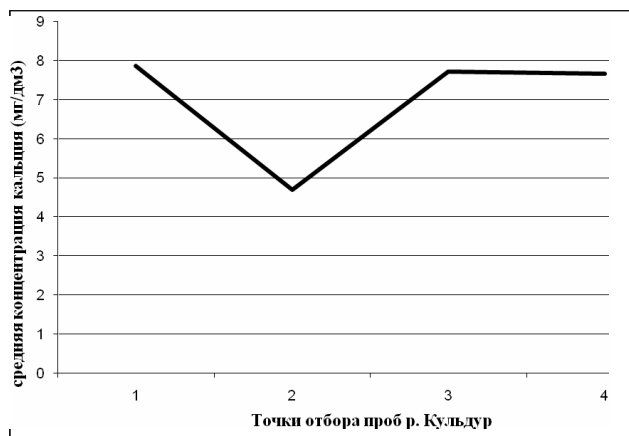


Рис. 4. Средняя концентрация кальция в р. Кульдур

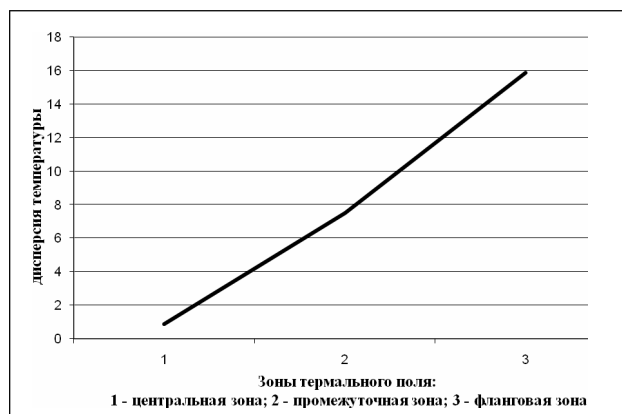


Рис. 5. Дисперсия температуры воды Кульдурского термального поля

термальные воды меньше подвержены влиянию атмосферных осадков и в большей степени зависят от притока из глубинных областей земной коры.

Также в пользу этого утверждения говорит следующий факт. Дисперсия температуры воды из центральной зоны термального поля имеет минимальное значение (0.87) и возрастает к фланговой зоне (15.86) (рис. 5). То есть, отклонение от среднего значения температуры воды из центральной зоны минимально, это говорит о том, что в течение года она практически не меняется. Следовательно, вода из центральной зоны в минимальной степени зависит от атмосферных осадков и грунтовых вод, тогда как вода из фланговой зоны частично восполняется за счет атмосферных осадков. Дисперсия температуры воды в р. Кульдур имеет достаточно высокие значения во всех точках отбора проб. Поэтому р. Кульдур полностью питается за счет атмосферных осадков и грунтовых вод.

Заключение

Основные результаты исследования можно свести к следующим выводам.

1. Вода из Кульдурского термального поля высокоминерализованная и щелочная. Термальные воды обогащены относительно сточных и грунтовых вод такими компонентами, как $\text{Na}^+(\text{K}^+)$, Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , F^- , H_4SiO_4 .
2. Сточные и грунтовые воды являются слабоминерализованными и нейтральными. В воде из р. Кульдур и пресноводных скважин наблюдается повышенное содержание кальция относительно термальных источников.
3. Обогащение термальных вод такими компонентами, как $\text{Na}^+(\text{K}^+)$, Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , F^- , H_4SiO_4 связано со значительным вкладом ювенильных вод, поступающих

из глубинных областей земной коры, а вода из реки Кульдур и пресных водозаборов имеет атмосферное происхождение.

Автор выражает благодарность Кульдурской гидрогеологической станции за предоставленные материалы.

Исследование поддержано грантами РФФИ 08-05-98504_р_восток-а, и РФФИ 10-05-98003_р_сибирь-а.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Завгородуко В.Н., Завгородуко Г.В., Завгородуко Т.И. Тумнинский минеральный источник. Изд. 3-е, перераб. и доп. Хабаровск: Изд-во Дальневосточного гос. мед. ун-та, 1999. 138 с.
2. Компаниченко В.Н., Потурай В.А., Рапопорт В.Л. Кульдурские термальные источники как объект для биогеохимических исследований и полевой практики // Россия в постреформенный период: региональные аспекты: мат-лы регион. открытой науч.-практич. конф. г. Биробиджан, 29 мая 2009 г. [сб. мат.]. Биробиджан: БФ АмГУ, 2009. С. 10–14.
3. Компаниченко В.Н., Потурай В.А., Рапопорт В.Л. Особенности химического состава вод Кульдурского термального поля // Региональные проблемы. № 12. 2009. С. 20–25.
4. Потурай В.А., Рапопорт В.Л., Компаниченко В.Н. Органическое вещество в Кульдурском термальном поле // Территориальные исследования: цели, результаты, перспективы: мат-лы V регион. школы-семинара молодых ученых, аспирантов и студентов. г. Биробиджан, 20–23 октября 2009 г. [тезисы]. Биробиджан: ИКАРП ДВО РАН – ДВГСГА, 2009. С. 28–31.

The results of mathematical processing of monitoring data on the Kuldur thermal wells, rivers and fresh water from wells are presented in the article. The water from the Kuldur thermal field is high mineralized and alkaline. The thermal water, as compared to the river water and groundwater, is enriched with such components as $\text{Na}^+(\text{K}^+)$, Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , F^- , H_4SiO_4 . Both the river water and groundwater is low mineralized and neutral. The water from the Kuldur-river and freshwater-wells is characterized by a higher content of calcium in comparison with thermal springs. The thermal water enrichment with $\text{Na}^+(\text{K}^+)$, Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , F^- , H_4SiO_4 is connected with a significant inflow of juvenile waters rising from the depths of the Earth's crust.