

Современный режим Верхне-Паратунских термальных источников
Журавлев Н.Б., Кирюхин А.В., Воронин П.О., Сергеева А.В., Нуждаев И.А.
Modern regime of the Verhkne-Paratunsky thermal springs

Zhuravlev N.B., Kiryukhin A.V., Voronin P.O., Sergeeva A.V., Nuzhdaev I.A.

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский;
e-mail: zhuravlev-95@mail.ru

В работе рассматривается современный режим, химический, газовый и микроэлементный состав термальных вод Верхне-Паратунских термальных источников по данным возобновленного с 2024 г. регулярного мониторинга.

Верхне-Паратунские источники (рис. 1) являются наиболее крупным видимым очагом естественной разгрузки Верхне-Паратунского месторождения. Всего насчитывается до 13 сосредоточенных выходов термальных источников. Термальные источники 3, 9+10 питаются термальными водами, циркулирующими в трещинно-жильных системах и связанными с водоносным комплексом вулканогенно-осадочных пород Вилючинской свиты, дренируются двумя термальными ваннами (Ванна-1, Ванна-2, соответственно), которые используются в бальнеологических целях. Остальные источники имеют грунтовый или смешанный тип питания [4]. Суммарная разгрузка источников аккумулируется в термальном ручье, впадающем в р. Паратунка.

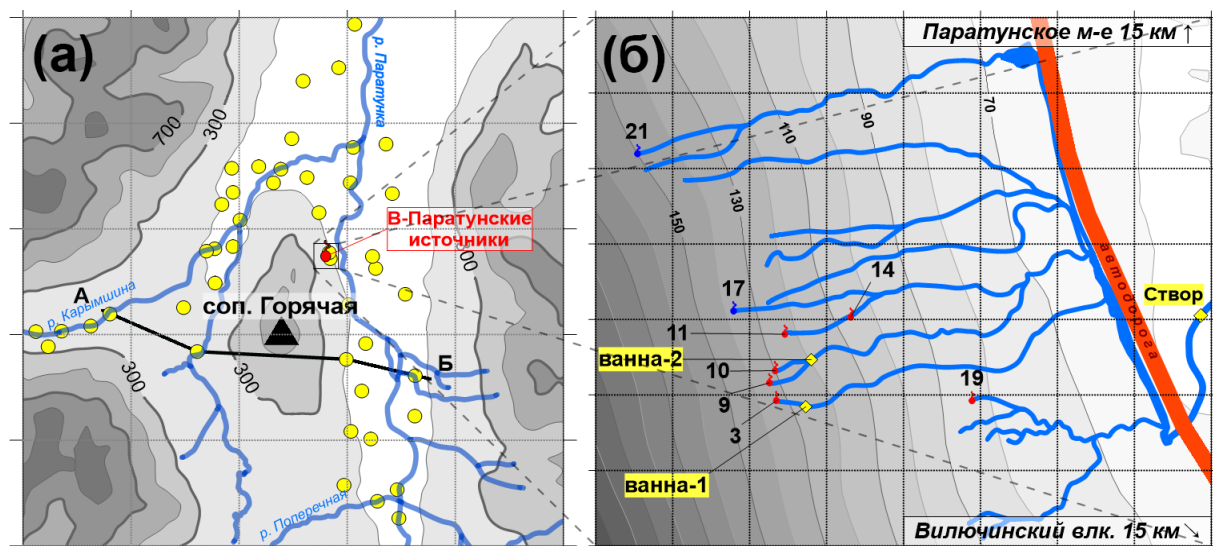


Рис. 1. (а) Расположение Верхне-Паратунских источников, разметка осей 1 км, желтые метки – скважины месторождения; (б) Верхне-Паратунские термальные источники, пункты режимных наблюдений (Ванна-1, -2) и замыкающий створ, разметка осей 50 м.

Многолетние изменения режима Верхне-Паратунских источников представлены на рис. 2. Суммарная видимая разгрузка термальных источников 3, 9, 10 до начала эксплуатации Верхне-Паратунского месторождения составляла 7-9 кг/с при температуре 60-65 °С [3, 4]. Воздействие опытно-эксплуатационных выпусков (ОЭВ) (1970-1975, 1981-1983 гг.) привело к существенному изменению температурного и химического режима источников. В периоды ОЭВ средние дебиты термальных источников испытали понижение до 2.9-3.0 кг/с, сопровождавшееся понижением температуры на изливе до 30-35 °С. Гидродинамические и температурные изменения по источникам сопровождались изменениями химического состава воды. По всем источникам в период ОЭВ произошло снижение минерализации за счет снижения содержания всех составляющих макрокомпонентного состава.

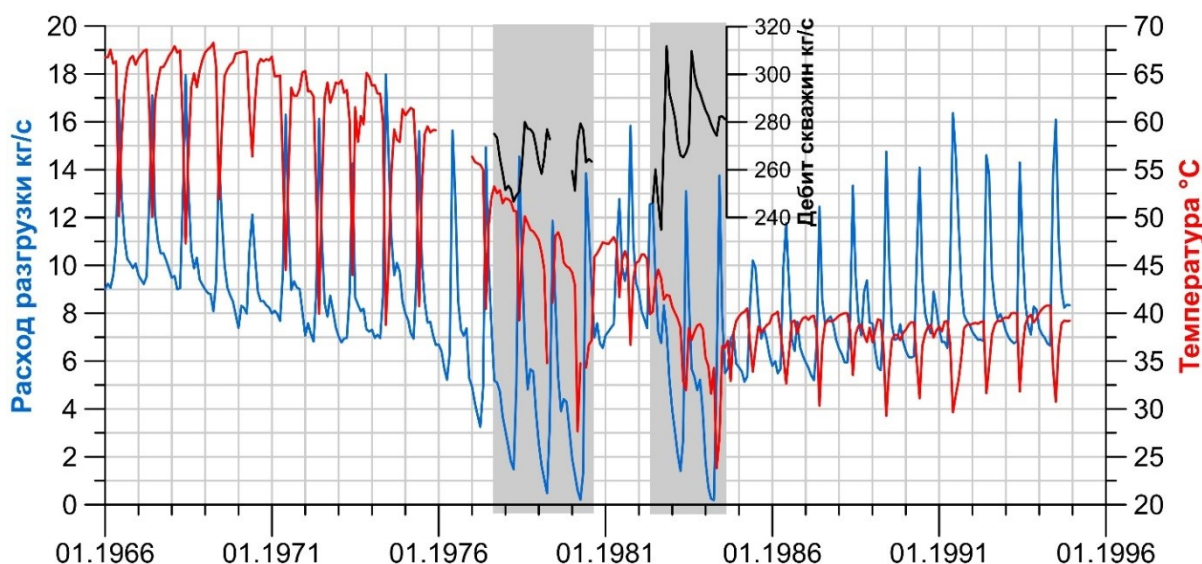


Рис. 2. Вариации суммарного расхода и средневзвешенной температуры Верхне-Паратунских термальных источников по данным [1, 3, 4]. Серым цветом показаны интервалы опытно-эксплуатационных выпусков [3], суммарные дебиты опытных скважин – в кг/с.

В октябре 2024 г., после 29-летнего перерыва, авторами были возобновлены режимные (1 раз в месяц) наблюдения с целью установления актуального режима разгрузки Верхне-Паратунских термальных источников. В ходе мониторинга проводятся измерения температуры, расхода термальных источников 3, 9, 10, химический и газовый анализы состава вод, а также измерение величины суммарной разгрузки на замыкающем створе.

Результаты возобновленного мониторинга представлены на рис. 3. По состоянию на 2026 г., термальные источники разгружаются со среднегодовым суммарным расходом 5 кг/с при средневзвешенной температуре 48.9 °С. Дебит термальных источников увеличивается с 3.5 до 8.2 л/с во время весенне-летнего паводка и уменьшается в период зимней межени. Синхронно изменяется максимальная температура источников с увеличением от 46 до 58 °С, но максимум температуры по времени сдвинут на 2 месяца по сравнению с максимумом дебита и приходится на август.

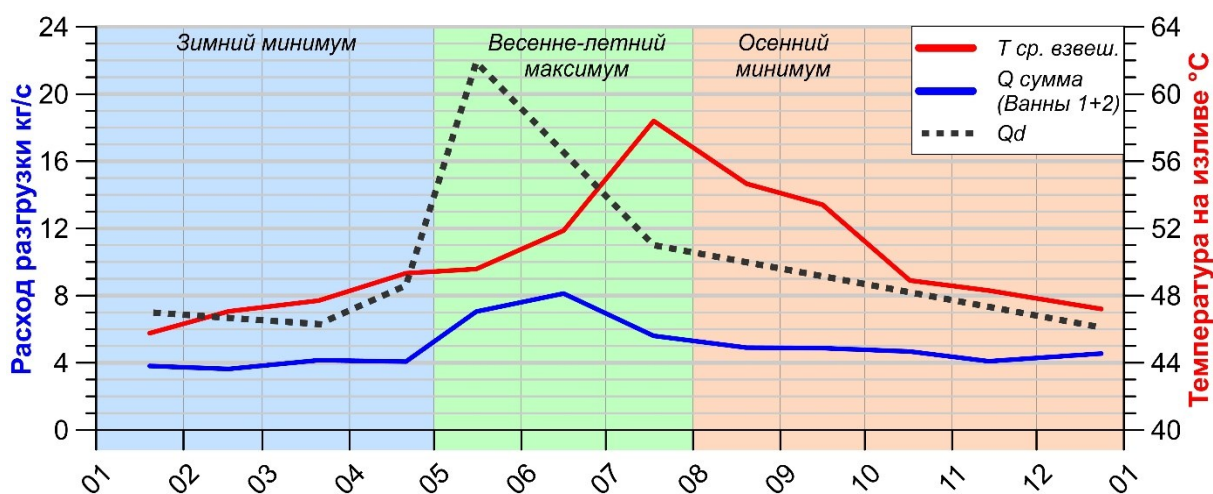


Рис. 3. Температура T , дебит Q и суммарная глубинная составляющая Q_d Верхне-Паратунских термальных источников по данным мониторинга 2025-2026 гг. в формате гидрогеологического года.

Применение хлоридного трассерного метода [7] позволило оценить суммарную разгрузку Верхне-Паратунских источников на замыкающем створе. В пересчете на

глубинную составляющую Qd, оцениваемую по максимальной концентрации хлор-иона 78 мг/л в источнике 10, она изменяется в годовом цикле от 6.3 кг/с (март) до 21.9 кг/с (май). Среднегодовое значение глубинной компоненты естественной разгрузки Верхне-Паратунских источников составляет 10.2 кг/с.

Химический состав вод термальных источников представлен в табл. 1. Разгружающиеся воды пресные или слабоминерализованные, слабощелочные, кальций-натриевые, от хлоридно-сульфатных до хлоридно-гидрокарбонатных.

Таблица 1. Химический состав вод Верхне-Паратунских источников (источник 9), мг/л

| Дата | pH | HCO ₃ ⁻ | Cl ⁻ | SO ₄ ²⁻ | F ⁻ | Li ⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | H ₃ BO ₃ | SiO ₂ |
|------------|-----|-------------------------------|-----------------|-------------------------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|--------------------------------|------------------|
| 20.01.2025 | 7.0 | 25.6 | 74.4 | 287.2 | 2.1 | 0.4 | 141.8 | 2.9 | 50.2 | 0.2 | 22.3 | 64.2 |
| 15.02.2025 | 8.1 | 26.5 | 78.0 | 305.9 | 1.8 | 0.5 | 141.8 | 2.9 | 45.3 | 0.2 | 21.7 | 46.2 |
| 21.03.2025 | 7.1 | 24.4 | 78.0 | 313.0 | 2.2 | 0.4 | 140.3 | 2.2 | 49.1 | 0.1 | 21.8 | 53.0 |
| 21.04.2025 | 7.9 | 28.0 | 77.2 | 345.0 | 2.1 | 0.4 | 153.0 | 2.8 | 56.5 | 0.3 | 23.1 | 34.9 |
| 16.05.2025 | 8.2 | 24.8 | 78.0 | 316.0 | 2.2 | 0.4 | 151.8 | 2.6 | 52.0 | 0.2 | 19.8 | 32.4 |
| 16.06.2025 | 7.4 | 24.4 | 69.5 | 298.0 | 2.03 | 0.4 | 126.4 | 2.6 | 54.1 | 0.1 | 20.3 | 39.1 |
| 18.07.2025 | 8.0 | 24.4 | 66.0 | 280.1 | 2.0 | 0.5 | 162.1 | 2.6 | 38.3 | 0.1 | 18.8 | 36.2 |
| 25.08.2025 | 8.0 | 24.4 | 70.9 | 302.0 | 2.0 | 0.4 | 141.3 | 2.7 | 40.7 | 0.1 | 19.9 | 34.4 |

Эволюция термальных вод источников представлена на диаграммах Гиггенбаха (рис. 4а), Пайпера (рис. 4б). Диаграмма Гиггенбаха показывает их «незрелый» характер относительно равновесия хлорит-слюда-полевой шпат [6] и одновременно является индикатором интенсивной циркуляции в гидротермальной системе.

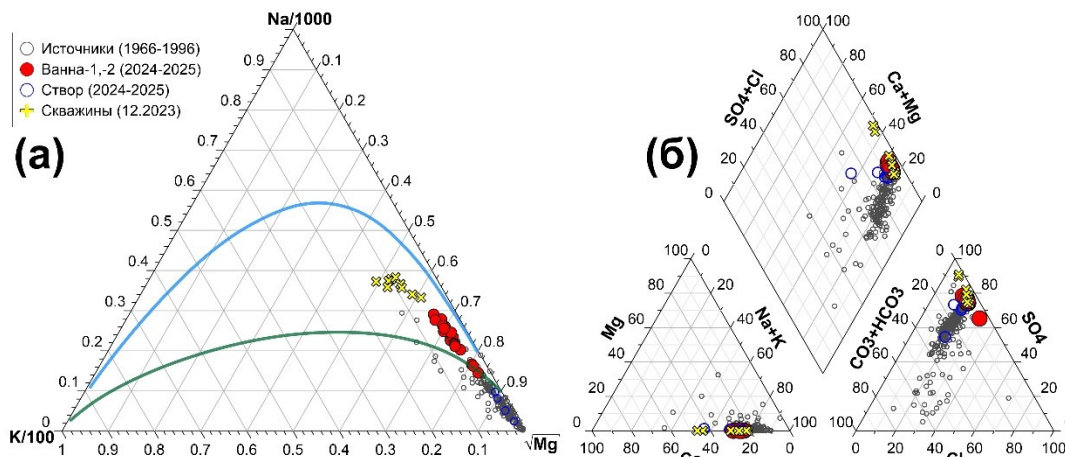


Рис. 4. Диаграммы Гиггенбаха (а), Пайпера (б) для вод Верхне-Паратунских термальных источников и термальных вод месторождения, вскрытых скважинами.

Газовый состав термальных вод постоянен и представлен в табл. 2. Преобладает азот (94 %), также присутствуют кислород (5 %), аргон, углекислый газ и гелий.

Таблица 2. Газовый состав вод Верхне-Паратунского термального источника 10 (Ванна-2), об. %

| Дата | He | O ₂ | N ₂ | Ar | CO ₂ | CH ₄ |
|------------|-------|----------------|----------------|-------|-----------------|-----------------|
| 20.01.2025 | 0.037 | 4.39 | 94.486 | 0.54 | 0.443 | <0.001 |
| 17.02.2025 | 0.038 | 4.284 | 94.616 | 0.69 | 0.172 | <0.001 |
| 21.03.2025 | 0.038 | 4.829 | 94.188 | 0.695 | 0.127 | <0.001 |
| 21.04.2025 | 0.038 | 5.795 | 93.266 | 0.717 | 0.076 | <0.001 |
| 16.06.2025 | 0.037 | 4.672 | 94.691 | 0.542 | 0.055 | <0.001 |
| 18.07.2025 | 0.033 | 6.311 | 92.951 | 0.329 | 0.31 | <0.001 |
| 20.08.2025 | 0.034 | 4.968 | 94.365 | 0.568 | 0.002 | <0.001 |

Микрокомпонентный химический состав Верхне-Паратунских источников представлен в табл. 3. Выявлены следующие микрокомпоненты в мг/л: стронций (0.31-0.58 мг/л), мышьяк (0.14-0.29 мг/л), барий (0.008-0.104 мг/л), марганец (0.01-0.06 мг/л).

Таблица 3. Содержание некоторых микрокомпонентов в Верхне-Паратунских термальных источниках в период межени и паводка, мг/л

| Место | Дата | Ba | As | Sr | Mn |
|---------|------------|--------|--------|--------|--------|
| Ванна-1 | 20.01.2025 | 0.0493 | 0.2920 | 0.2403 | 0.0642 |
| Ванна-1 | 21.04.2025 | 0.0047 | 0.2290 | 0.4160 | <0.005 |
| Ванна-2 | 20.01.2025 | 0.0239 | 0.3300 | 0.2439 | 0.0734 |
| Ванна-2 | 21.04.2025 | 0.0052 | 0.2550 | 0.3120 | <0.005 |
| Створ | 20.01.2025 | <0.005 | 0.1280 | 0.1685 | 0.0631 |
| Створ | 21.04.2025 | 0.0043 | 0.0810 | 0.0092 | <0.005 |

Барий, стронций, мышьяк, марганец встречаются в термальных источниках Камчатки [2, 5]. Мышьяк, стронций, барий свидетельствуют о подпитке источников глубинными горячими водами, скорее всего щелочными, как, например, на Паужетском месторождении парогидротерм, в которых также присутствует мышьяк. Максимальные концентрации макро- и микрокомпонентов регистрируются в последние зимние месяцы, что является признаком замедленного водообмена вследствие минимального поступления инфильтрационных вод в гидротермальную систему в это время.

Таким образом, сопоставляя многолетние изменения дебита, температуры и минерализации Верхне-Паратунских источников с периодами ОЭВ, можно сделать вывод о том, что водоотбор термальных вод скважинами Верхне-Паратунского месторождения приводит к перехвату и сокращению естественной разгрузки источников с уменьшением их минерализации и температуры.

Список литературы

1. Данилин А.А., Данилевич Н.С., Кандинская С.В. Изучение режима подземных вод на участках опорной гидрогеологической сети, репрезентативном бассейне «Плотникова-Дальний», контроль за охраной подземных вод от истощения и загрязнения и ведение ГVK «Подземные воды» на территории Камчатской области в 1993-1996 гг. Елизово: Камчатский территориальный гидроэкоцентр, 1996. 4 т.
2. Копылова Г.Н., Гусева Н.В., Копылова Ю.Г., Болдина С.В. Химический состав подземных вод режимных водопроявлений Петропавловского геодинамического полигона, Камчатка: типизация и эффекты сильных землетрясений // Вулканология и сейсмология. 2018. № 4. С. 43-62. <https://doi.org/10.1134/S0203030618040041>
3. Мальцева К.И., Нажалова И.Н., Раичева И.С. Изучение режима подземных вод на участках опорной гидрогеологической сети, репрезентативном бассейне «Плотникова-Дальний». Многолетний отчет по изучению режима подземных вод на территории Камчатской области за 1986-1990 гг. Термальный: ГПП «Камчатгеология», 1993. 5 т.
4. Павлова Л.Е., Ефремова Л.А., Новикова Э.В. Сводный отчет по изучению режима подземных вод на территории Камчатской области за период 1964-1975 гг. Елизово: Камчатское территориальное гидрогеологическое управление, 1979. 5 т.
5. Bortnikova S.B., Gavrilenko G.M., Bessonova E.P., Lapukhov A.S. The hydrogeochemistry of thermal springs on Mutnovskii Volcano, southern Kamchatka // Journal of Volcanology and Seismology. 2009. V. 3. P. 388-404. <https://doi.org/10.1134/S0742046309060025>
6. Giggenbach W.F. Geothermal solute equilibria. Derivation of Na-K-Mg-Ca geoindicators // Geochimica et cosmochimica acta. 1988. V. 52. Is. 12. P. 2749-2765. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(88\)90143-3](https://doi.org/10.1016/0016-7037(88)90143-3)
7. Kiryukhin A.V., Polyakov A.Yu., Zhuravlev N.B. et al. Dynamics of natural discharge of the hydrothermal system and geyser eruption regime in the Valley of Geysers, Kamchatka // Geothermics. 2022. V. 136. Art. 105166. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2021.105166>