

## **Анализ распределения продуктивных разломов и тектонических нарушений в Паратунском геотермальном районе**

**Журавлев Н.Б.<sup>1,2</sup>**

### **Analysis of distribution of productive fault and tectonic fracture in the Paratunsky geothermal area**

**Zhuravlev N.B.**

<sup>1</sup> *Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский*

<sup>2</sup> *Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург;*  
*e-mail: st099075@student.spbu.ru*

В работе проведен анализ распределения и азимутов простирания тектонических нарушений южной части Петропавловского геотермального района с целью выявить наиболее вероятные проницаемые структуры, обеспечивающее водное питание Паратунских геотермальных месторождений.

#### **Введение**

Критически важным вопросом при разработке стратегий устойчивой эксплуатации геотермальных месторождений является установление их источников водного питания. Это важно для определения запасов подземных вод и полезной тепловой энергии, которая может быть добыта и использована на месторождении.

Паратунский геотермальный район расположен в 40 км к юго-западу от г. Петропавловск-Камчатский. Основные гидротермальные объекты представлены двумя месторождениями термальных вод – Паратунским и Верхне-Паратунским – с общими запасами 48.1 тыс. м<sup>3</sup>/сут.

Несмотря на высокую степень изученности Паратунских месторождений, следующие вопросы все еще остаются достойными более подробного изучения: (1) Какие структуры могут вмещать каналы, по которым метеорные воды поступают в Паратунский геотермальный район? (2) Какова максимальная глубина инфильтрации метеорных вод и чем она обусловлена? (3) Возможна ли гидравлическая взаимосвязь Паратунского и Верхне-Паратунского месторождений через систему продуктивных разломов?

Так, в данной работе проведен анализ распределения тектонических нарушений в Паратунском геотермальном районе и вероятных областях его водного питания.

#### **Концептуальная модель водного питания**

Исходя из результатов анализов изотопного состава воды [5], область водного питания Паратунских геотермальных месторождений (в естественных условиях) не должна включать локальные водосборные бассейны в пределах самих месторождений, но должна быть приподнята до отметок ледников и многолетних снежников. Поэтому области с абсолютными отметками выше 1000 м, где фиксируется распространение ледников (Вилючинский вулкан, 2170 м абс.) и многолетних снежников (Вилючинский вулкан, локальные приводораздельные области кальдеры Леонова в верховьях р. Карымшина), являются наиболее вероятными областями водного питания Паратунских геотермальных месторождений (рис. 1) [2].

#### **Исходные данные**

Проведен анализ распределения азимутов простирания тектонических нарушений южной части Петропавловского геотермального района. Исходными данными являются: (1) глубинные разломы и разрывные нарушения, идентифицированные по данным [3, 4] в пределах областей водного питания и по наиболее вероятным путям фильтрации, скрытые под четвертичными образованиями; (2) субвертикальные (углы падения >20°) продуктивные разломы Паратунского и Верхне-Паратунского месторождений, идентифицированные ПО Frac-Digger как

плоско-ориентированные кластеры по кровлям продуктивных зон, вскрытых эксплуатационными скважинами [2]. Распределение азимутов простираения изучено по нескольким областям выборки, представленным на рис. 2. Суммарное число тектонических нарушений, использованных для сравнительного анализа – 558.

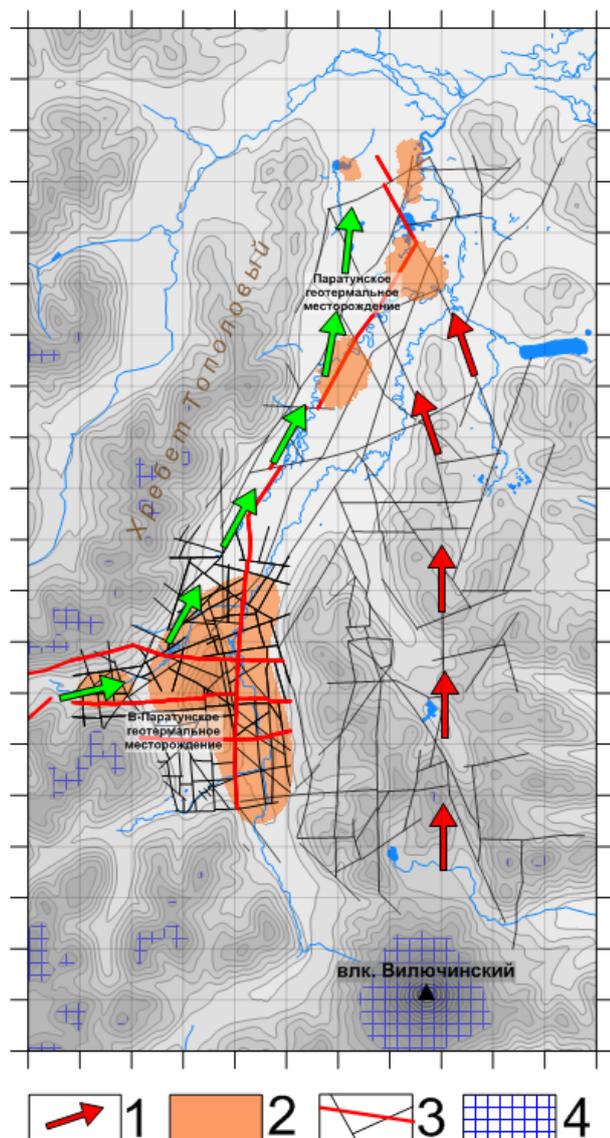


Рис. 1. Концептуальная модель водного питания Паратунского геотермального района.

Условные обозначения:

- 1 – направления фильтрации метеорных вод;
- 2 – границы продуктивных резервуаров на отм. -750 м абс. по данным [2];
- 3 – продуктивные разломы, тектонические нарушения по данным [3, 4];
- 4 – области распространения многолетних ледников и снежников выше 10000 м абс.

## Результаты

Результаты анализа представлены в виде роза-диаграмм на рис. 2. Здесь наибольший интерес представляет сравнение азимутов простираения тектонических нарушений по периферии Паратунского геотермального района (красные) с плоско-ориентированными кластерами Паратунского месторождения (синие). Так, для Паратунского грабена в целом (рис. 2а) свойственны две основные системы нарушений: субширотная ВСВ  $80-90^\circ$  и субмеридиональная ССЗ  $340-10^\circ$ . Для области выборки «Вилучинский вулкан – Паратунское месторождение» (рис. 2б) преобладающим является ССЗ простираение  $330-340^\circ$ .

Паратунский геотермальный резервуар включает 16 продуктивных разломов и горизонтов, среди которых наиболее продуктивными являются горизонты в диапазоне глубин от -490 до -560 м абс. (29 % от общей продукции по месторождению) и пять основных субвертикальных продуктивных разломов (41 % от общей продукции по месторождению), выявленных на продуктивных участках. Система питающих разломов характеризуется различными простираениями, преимущественно ЗСЗ, ССВ (рис. 2, синие) [2].

Линейно выраженные нарушения на Верхне-Паратунском месторождении, выявленные геофизическими исследованиями [3], представлены двумя системами – диагональной и ортогональной. Первая включает разрывные нарушения СВ и СЗ простирания, а вторая – субмеридиональные (ССЗ 340-0°) и субширотные (ВСВ 80-90°) разрывные нарушения. Пересечения этих нарушений создают довольно густую мозаику полиблочной структуры (рис. 1). С применением программы Frac-Digger, по кровлям продуктивных зон, вскрытых скважинами, были получены плоско-ориентированные кластеры, которые возможно интерпретировать как продуктивные разломы. На рис. 2в, г показана сравнительная роза-диаграмма для Верхне-Паратунского месторождения по данным оцифровки фондовых материалов и по плоско-ориентированным кластерам.

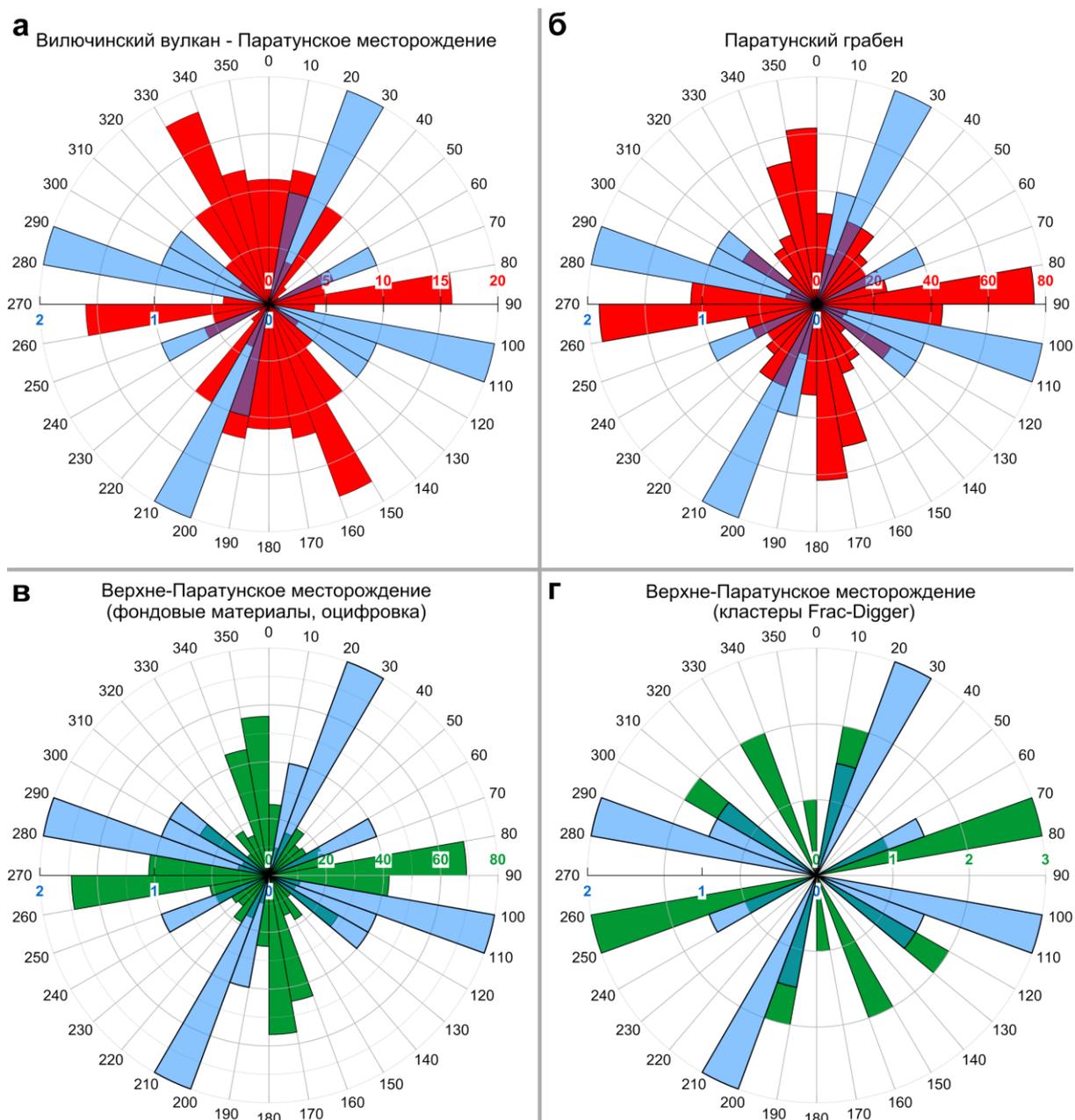


Рис. 2. Роза-диаграммы азимутов простирания разломов Паратунского геотермального района. а – по области «Вилучинский вулкан – Паратунское месторождение», б – по всему Паратунскому грабену; в, г – по Верхне-Паратунскому месторождению. Синим цветом обозначены азимуты простирания продуктивных разломов Паратунского месторождения по данным [2].

Из полученных результатов следует, что для Паратунского геотермального района, как и для ССЗ периферии Вилючинского вулкана, характерно развитие двух систем тектонических нарушений – субширотной и субмеридиональной. В плане от Вилючинского вулкана явно наблюдается преобладание тектонических нарушений, тяготеющих к месторождению по простиранию, которые возможно считать высокопроницаемыми структурами, по которым происходит перенос вод метеорного генезиса от вулкана к восточному флангу геотермального месторождения.

На схеме рельефа кровли мелового фундамента для Южной Камчатки, составленной М.И. Зубиным, видно, что с Верхне-Паратунским месторождением связан локальный прогиб фундамента до глубин ~3500 м [1]. Локальная депрессионная структура выделяется в данном районе и по гравиметрическим данным. Для СВ периферии Вилючинского вулкана кровля фундамента идентифицирована на плотностном разрезе по данным комплекса геофизических исследований [3] на отметках -3000...-3500 м. Следовательно, глубина инфильтрации метеорных вод Вилючинского вулкана в направлении к его северо-западной периферии ограничена отметкой -3.5 км.

Сравнение азимутов простирания продуктивных разломов Паратунского и Верхне-Паратунского месторождений отображает положение субмеридионального Центрального разлома, разделяющего Паратунскую депрессию на два фланга с выраженной геохимической зональностью, но это пока не дает оснований утверждать о наличии видимой гидравлической взаимосвязи между вышеуказанными месторождениями.

Исследование выполнено в рамках гранта Российского научного фонда № 23-27-00127, <https://rscf.ru/project/23-27-00127/>.

#### Список литературы

1. Зубин М.И. Геофизические поля и глубинное строение по геофизическим данным // Долгоживущий центр эндогенной активности Южной камчатки. М.: Наука, 1980. С. 10-19.
2. Кирюхин А.В. Геотермофлюидомеханика гидротермальных, вулканических и углеводородных систем. Санкт-Петербург: Эко-Вектор Ай-Пи, 2020. 431 с.
3. Смирнова Н.Ф., Наумов Л.Т., Кузьмин В.В., Захарова Г.С. Отчет о результатах предварительной разведки участков «Восточный» и «Южный» Верхне-Паратунского месторождения термальных вод (1976-1978 гг.). Термальный: гидрогеологическая экспедиция, 1979.
4. Шварц Я.Б., Нурмухамедов А.Г., Желтухин А.С. Отчет об опытно-методической работе по применению геолого-структурных, гидрогеологических, геофизических и дистанционных критериев поиска термальных вод на закрытых площадях. Термальный: Авачинская тематическая гидрогеологическая партия, 1995.
5. Kiryukhin A., Vorozheikina L., Voronin P. et al. Thermal and permeability structure and recharge conditions of the low temperature Paratunsky geothermal reservoirs in Kamchatka, Russia // Geothermics. 2017. V. 70. P. 47-61. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2017.06.002>