

## Экспресс-методы оценки степени изменения и свойств пород на термальных полях

*Большаков И.Е.<sup>1,2</sup>, Фролова Ю.В.<sup>1</sup>, Житова Е.С.<sup>2</sup>, Рычагов С.Н.<sup>2</sup>, Веселовский Р.В.<sup>3</sup>*

## Express methods for assessing the degree of alteration and properties of rocks on thermal fields

*Bolshakov I.E., Frolova J.V., Zhitova E.S., Rychagov S.N., Veselovsky R.V.*

<sup>1</sup> *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва;*

*e-mail: bolshakov.ilya.210@yandex.ru*

<sup>2</sup> *Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский*

<sup>3</sup> *Институт физики Земли РАН, г. Москва*

Рассмотрен опыт применения экспресс-методов (склерометр, портативный спектрометр) для оперативной оценки степени гидротермального изменения пород и показателей их физических и физико-механических свойств в условиях сильной пространственной изменчивости на термальных полях Камбального хребта и Центрально-Семячинского района Камчатки.

### Введение

Термальные поля представляют собой высоко динамичные геологические системы, обладающие большой изменчивостью различных параметров: геохимических, геофизических, геологических, а также инженерно-геологических. На относительно малых площадях резко изменяются параметры как флюидов, так и самих горных пород [1-3]. Определение одних параметров (например, температуры и рН, показателей, характеризующих геофизические поля, и пр.) возможно произвести в полевых условиях, оперативно получив большое количество достоверных данных, в то время как для оценки физико-механических свойств пород требуется отбор образцов большого размера, их доставка в специализированную лабораторию и дальнейшая трудоемкая подготовка к испытаниям. Этот факт не позволяет детально изучить изменчивость свойств пород в пространстве на термальном поле. В данной работе рассмотрены возможности использования двух косвенных экспресс-методов для оценки степени изменения вулканогенных пород на современных термальных полях и определения их физических и физико-механических свойств.

### Характеристика объекта исследования

Исследования проводились на термальных полях (т/п) вулканического массива Большой Семячик (т/п Северного кратера Центрального Семячика, Верхнее т/п вулкана Бурлящий) и Камбального вулканического хребта (Южно-Камбальное Центральное т/п) (рис. 1).

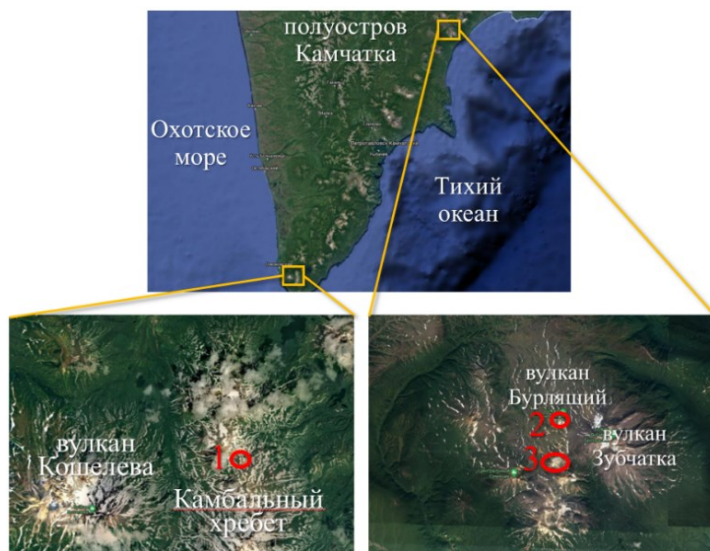


Рис. 1. Расположение исследованных термальных полей (красные овалы) на спутниковых снимках (yandex.ru/maps): 1 – Южно-Камбальное Центральное; 2 – Верхнее термальное поле вулкана Бурлящий; 3 – термальное поле Северного кратера Центрального Семячика.

Изученные термальные поля образованы на вулканических постройках, сложенных породами основного и среднего составов, и характеризуются разгрузкой преимущественно кислых термальных вод [1]. На т/п Северного кратера Центрального Семячика разгружаются ультракислые воды, pH которых достигает 1.4; на вулкане Бурлящий водородный показатель в среднем имеет более высокие значения и колеблется в пределах 2.5-5, а для Южно-Камбального Центрального т/п разброс значений еще больше – в его пределах разгружаются как кислые, так и щелочные термальные воды. На всех термальных полях достаточно активно идет процесс опализации, порой сопровождаемый аргиллизацией, в результате которого значительно изменяются состав, строение и свойства исходных вулканогенных пород.

### Методика исследования

В качестве экспресс-методов оценки свойств горных пород различной степени гидротермальной преобразованности были использованы портативный рентгенофлуоресцентный спектрометр Olympus Vanta M (рис. 2а) и молоток Шмидта RGK SK-60 (разновидность твердомера-склерометра) (рис. 2б).

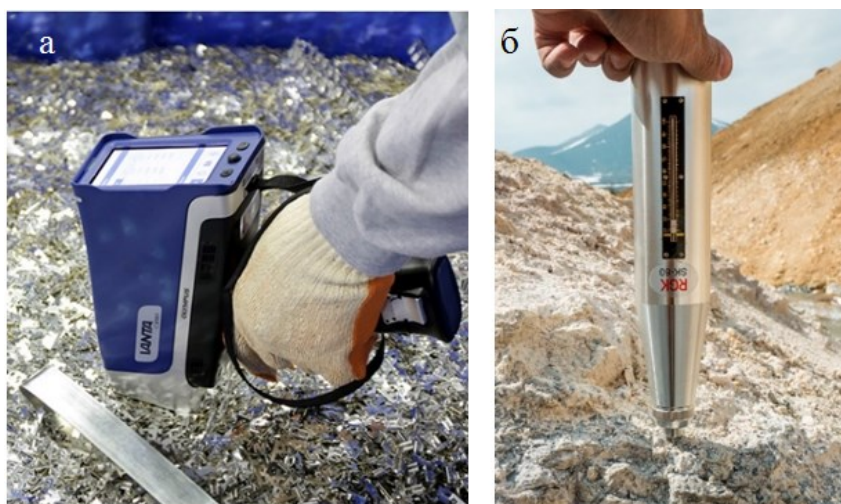


Рис. 2. Общий вид анализатора Olympus Vanta M (а) и молотка Шмидта RGKSK-60 (б). (<https://diagnost.ru/articles/analizator-vanta-protivoudarnyj-revoljucionnyj-bystryj>)

Молоток Шмидта относится к методам неразрушающего контроля. С помощью данного прибора на обнажениях производилось определение высоты упругого отскока путем 20 ударов по различным точкам, а итоговым значением для конкретного образца принималось среднее арифметическое. Процесс испытания одного обнажения занимает около 1 минуты. Известно, что высота упругого отскока зависит от твердости, плотности и прочности материала, поэтому, зная взаимосвязь между данными величинами, возможно оценивать различные показатели свойств пород. Чтобы получить такие корреляционные зависимости, были подготовлены цилиндры, для которых проводились стандартные лабораторные испытания.

При помощи спектрометра Olympus Vanta M определяется химический состав пород, причем измерения можно проводить как в полевых условиях непосредственно на обнажении, так и в лаборатории на образцах. Время испытания в одной точке зависит от выбранной программы. В данной работе накопление сигнала происходило в течение одной минуты, а исследования проводились на подготовленных к измерениям цилиндрах, что позволило непосредственно сопоставлять показатели свойств конкретного цилиндра с его составом. Каждый цилиндр был исследован трижды, а для итоговых построений были взяты средние арифметические трех определений.

### Обсуждение результатов

В процессе выполнения данной работы были проанализированы данные о высоте упругого отскока, элементном составе, строении, физических и физико-

механических свойствах исследуемых образцов. В результате был получен ряд корреляционных зависимостей между высотой упругого отскока и различными показателями свойств. Самой показательной оказалась корреляция ( $R^2 = 0.86; 0.90; 0.98$  для разных термальных полей) высоты упругого отскока с пористостью (рис. 3). Так как пористость тесно связана с показателями прочностных и деформационных свойств, то и с ними наблюдается тесная взаимосвязь высоты упругого отскока. При этом отчетливо видно, что корреляция на образцах с двух т/п Центрального Семячика носит крайне схожий характер, а на образцах с Южно-Камбального Центрального т/п наблюдается более резкое снижение высоты упругого отскока при относительно незначительном увеличении пористости. Принимая во внимание тот факт, что исходные породы со всех трех термальных полей обладают крайне схожими показателями свойств, можно предположить, что различия в показателях строения и свойств измененных горных пород вызваны различием процесса гидротермального преобразования на разных термальных полях (как выщелачивания, так и вторичного минералообразования).

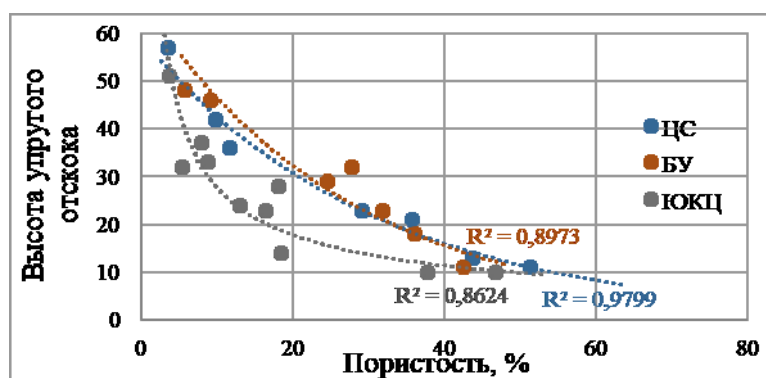


Рис. 3. Взаимосвязь высоты упругого отскока и пористости на образцах с разных полей: ЦС – т/п Северного кратера Центрального Семячика, БУ – Верхнее т/п вулкана Бурлящий, ЮКЦ – Южно-Камбальное Центральное т/п.

Содержание Si, полученное спектрометром Olympus Vanta M, демонстрирует хорошую корреляционную взаимосвязь с показателями свойств образцов с термальных полей Центрально-Семячинского района, а для образцов с Южно-Камбального Центрального поля отчетливая зависимость отсутствует (рис. 4). Вероятно, это также связано с различием состава измененных пород, которое контролируется параметрами разгружающихся термальных вод, в частности, pH. В образцах с т/п Северного кратера Центрального Семячика содержание Si оказывается значительно выше, чем на двух других, что объясняется более агрессивным процессом кислотного выщелачивания, в результате которого в составе породы остается лишь опал. В то же время, на полях с большими значениями pH, помимо опала, образуются глинистые минералы, причем их содержание на Южно-Камбальном Центральном т/п значительно выше, чем на Верхнем т/п вулкана Бурлящий. На рис. 4 можно отчетливо наблюдать, как на всех графиках сильноизмененные образцы с разных термальных полей образуют отдельные области, в пределах которых либо наблюдается корреляция содержания Si с показателями свойств (БУ и ЦС), либо такая корреляция отсутствует (ЮКЦ). При этом неизменные породы всех трех полей достаточно однородны, как в отношении содержания кремния, так и в отношении показателей свойств, и находятся в одной небольшой области, обозначенной на рисунках черным овалом. Отсутствие корреляции для Южно-Камбального т/п можно объяснить тем, что на данном поле в гораздо большем количестве образуются глинистые минералы, а не только опал, что не приводит к увеличению процентного содержания кремния и не дает возможности использовать его как достоверный показатель.

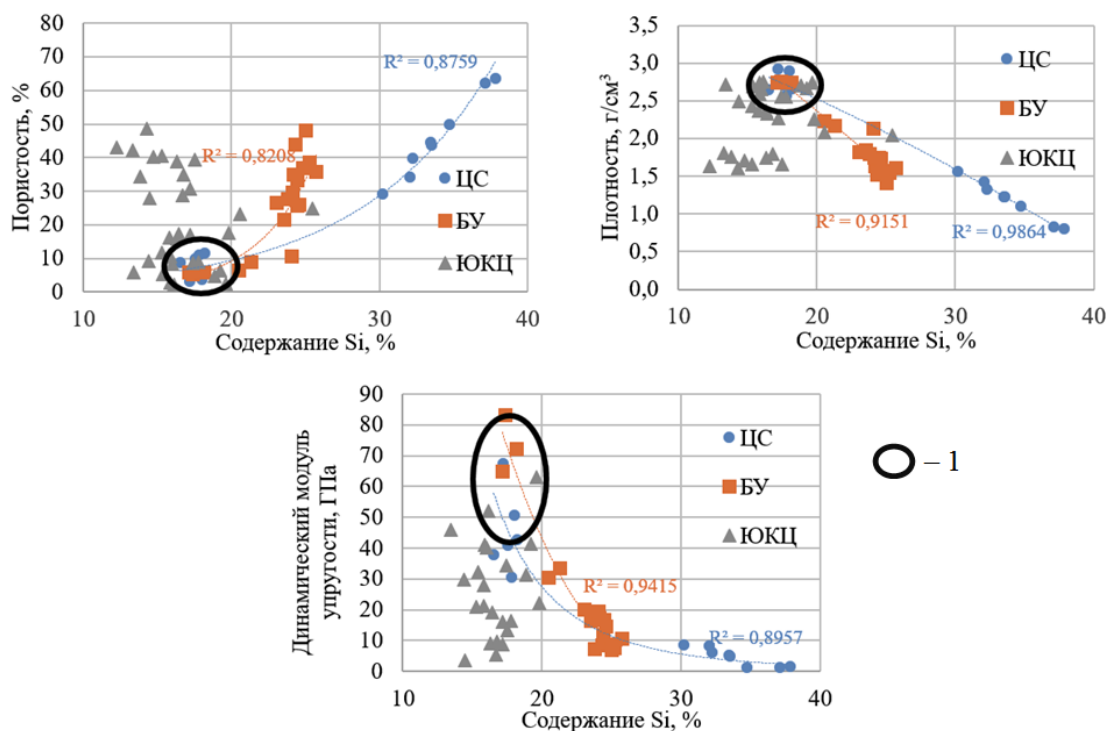


Рис. 4. Взаимосвязь различных показателей свойств и содержания Si для образцов с термальных полей: ЦС – т/п Северного кратера Центрального Семячика, БУ – Верхнее т/п вулкана Бурлящий, ЮКЦ – Южно-Камбальное Центральное т/п. 1 – область исходных пород.

### Выводы

Исследования, проведенные на трех термальных полях Камчатки, показали, что для оперативной оценки степени преобразований пород и выявления тенденции изменения их свойств в ходе гидротермального процесса целесообразно применять экспресс-методы, в частности, склерометр (молоток Шмидта) и портативный рентгенофлуоресцентный спектрометр. Первое подтверждено полученными тесными корреляционными зависимостями между величиной упругого отскока молотка Шмидта и различными показателями плотностных, деформационных и прочностных свойств. Второе также подтверждают корреляционные зависимости между показателями свойств и содержанием кремния. Следует отметить, что на вид корреляционных зависимостей и тесноту связи показателей влияют гидрогеохимические условия. Наиболее тесные корреляционные зависимости получены обоими методами (молотком Шмидта и портативным РФ анализатором) для термальных полей Большого Семячика, характеризующихся разгрузкой особо кислых гидротерм и формированием преимущественно опалитов. Для Южно-Камбального Центрального т/п с менее кислыми условиями результативным оказался лишь молоток Шмидта, причем характер зависимости несколько отличается от аналогичной для термальных полей Центрального Семячика. Это обусловлено влиянием гидротермальной аргиллизации, развивающейся параллельно с опализацией.

### Список литературы

1. Набоко С.И. Гидротермальный метаморфизм пород в вулканических областях. М.: АН СССР, 1963. 172 с.
2. Фролова Ю.В., Ладыгин В.М., Рычагов С.Н. Инженерно-геологические особенности гидротермально-метасоматических пород Камчатки и Курильских островов // Инженерная геология. 2011. № 1. С. 48-64.
3. Фролова Ю.В., Рычагов С.Н., Чернов М.С. и др. Инженерно-геологические аспекты изменения вулканогенных пород в зоне кислотного выщелачивания Южно-Камбальных термальных полей (Южная Камчатка) // Инженерная геология. 2020. Т. XV. № 1. С. 36-51. <https://doi.org/10.25296/1993-5056-2020-15-1-36-51>