

## Г Е О Ф И З И К А

УДК 556.36+556.535.4

### О ПРИРОДЕ ТЕРМАЛЬНЫХ ЯВЛЕНИЙ

*Ю. В. Казанцев<sup>1</sup>, Т. Т. Казанцева<sup>2</sup>*

#### ORIGIN OF GEOTHERMAL ANOMALIES

Kasantsev Yu. V., Kasantseva T. T.

It has been determined that mountain rocks sliding on thrust planes or along fractures in the process of fold formation cause local rise of temperature under the action of increasing pressure and rock subsidence. Underground waters circulating in such a zone accumulate heat and form thermal streams.

Выяснением причин возникновения горячих источников в природе ученые занимаются давно. Изучение терм Земли связано, прежде всего, с возможностью получения неисчерпаемого и экологически чистого источника тепловой энергии [1]. Особый интерес к этим природным явлениям проявляют геологи-нефтяники, т.к. термальные аномалии часто сопутствуют залежам нефти и газа. По данным треста «Гелиогазразведка» (Союзгаз), обобщившего материалы по природным газам СССР [2], в скважинах различных месторождений Евразии выходы углеводородов (УВ) сопряжены с выходами газов сероводородного состава, азота, углекислого газа и прочих струй в холодном или (чаще) нагретом состоянии. Иногда газовые струи проникают на дневную поверхность совместно с минерализованной водой в грифонах. Многие из них издавна используются в лечебных целях.

Природа термальных явлений исследователями объясняется по-разному. Например, различия температурных показателей на месторождениях Предкавказья усматривалась [3] либо в различных режимах циркуля-

ции и составе подземных вод, либо в разной теплопроводности пород, либо в разных методах эксплуатации месторождений, а также в различии эрозионных процессов и т.д. Кроме того, «старение» нефти, сопровождаясь выделением тепла, может вызвать снижение ее энергетического баланса, что и повышает температуру пород пласта. Однако на протяжении более 50 лет изменение градиента температуры с 33 до 56,08 м/с на Апшеронских месторождениях оставалось одинаковым.

По данным [4] на курортах Кавказа часто присутствуют азотно-углеводородные струи в водных источниках. Например, Боржомский источник содержит почти 90% азота и 10,8% углеводородов, что объясняется проникновением газов с больших глубин по разломам (эти источники всегда термальные). Мацестинские сероводородные, солено-щелочные источники имеют температуру воды 21–24°C. Например, бальнеологический курорт Цхалтубо характеризуется водными источниками с температурой 34–35°C, минерализацией 0,67 г/л и азотными (97–98%) струями с при-

<sup>1</sup>Казанцев Юрий Васильевич, д-р геол.-минерал. наук, член-корр. АН РБ, заведующий лабораторией структурной геологии Института геологии УНЦ РАН.

<sup>2</sup>Казанцева Тамара Тимофеевна, д-р геол.-минерал. наук, академик АН РБ, заведующая лабораторией тектоники Института геологии УНЦ РАН.

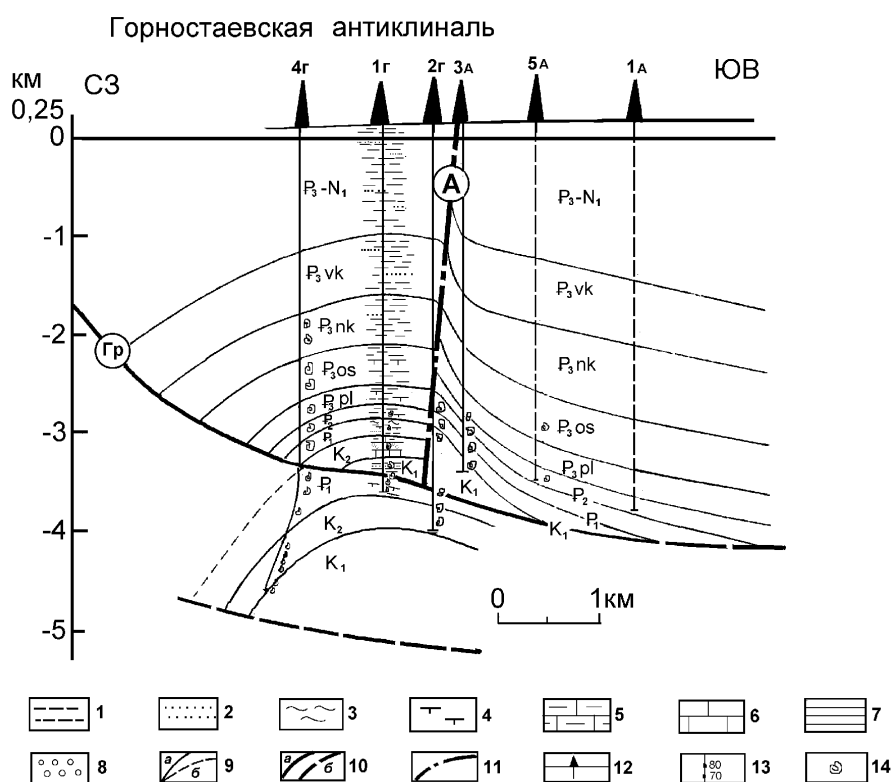


Рис. 1. Геологический разрез Горностаевской антиклинали [11]:

1 — глины; 2 — пески и песчаники; 3 — алевролиты; 4 — известковистые глины; 5 — мергели; 6 — известняки; 7 — аргиллиты; 8 — конгломераты; 9 — стратиграфические границы — установленные (а) и предполагаемые (б); 10 — надвиги — установленные (а) и предполагаемые (б); 11 — сдвиги; 12 — скважины: А — Алексеевской, Г — Горностаевской площадей; 13 — углы наклона слоистости по керну; 14 — места определения фауны

месью углеводородов. Эти источники радиоактивны (3,28–6,79 ед. Маче).

Геологами-нефтяниками выявлена также связь терм с грязевым вулканизмом, проявления которого могут свидетельствовать о неотектонической активности разрывных нарушений данной местности [5]. Связывая выходы грязевых вулканов с минеральными источниками, последние признают спутниками нефтяных месторождений. Сведения о взаимосвязанности нефти и грязевых вулканов стали появляться в литературе уже в первой половине XIX в. Существует мнение [6], что в Баку и на Тамани грязевые вулканы приурочены к месторождениям УВ. Кроме того, грязевые источники всегда расположены над антиклинальными ловушками, где сконцентрированы нефтяные залежи. В [7] высказано предположение, что газ, выделяющийся при извержении грязевого вулкана, происходит из залежи УВ. Другие исследователи считают, что грязевые вулканы возникают в тот

момент, когда давление в залежи приближается к геостатическому [8,9]. По данным, приведенным в [10], на северо-западной оконечности Кавказа минеральные источники содержат не менее 80 % метана. Они часто приурочены к отдельным сопкам грязевых вулканов, функционирующих в пределах поля развития нижнемеловых отложений.

Природа грязевого вулканизма изучается почти два столетия, но интерес к этому явлению не ослабевает, так как происхождение его до конца не выяснено, а также по той причине, что грязевые вулканы можно рассматривать в качестве природных глубоких скважин, дающих информацию с больших глубин.

Анализ данных глубокого бурения, проведенного на Горностаевской структуре (Крым), где известен ископаемый грязевый вулкан, позволил приоткрыть тайну происхождения грязевого вулканизма [11]. Эти явления — результат развития тектонических процессов при надвигообразовании. Как бы-

ло установлено [12], происхождение Янгантауского термального источника также обусловлено разрывным нарушением. Горностаевская антиклиналь осложняет одноименный надвиг, подсеченный скважинами 1, 2, 4 (рис. 1). Структура нарушена Алексеевским сдвигом (который впервые выделен по данным сейсмо-разведки как вертикальное нарушение субмеридионального простирания). Зона сдвига подтверждена скв. 2 в интервале 2780–2810 м. Бурением установлено, что Алексеевский сдвиг на глубине обрывается Горностаевским надвигом. Это свидетельствует о том, что сдвиг является структурой второго порядка. Как было показано на примере Урала [13], сдвиги возникают в процессе латерального движения аллохтонов в качестве элементов, облегчающих смещение горных масс на большие расстояния путем расчленения их на части.

Выход Горностаевского грязевого вулкана в плане связан с зоной Алексеевского сдвига и это определяет их генетическую взаимозависимость. На профиле (рис. 1) видно, что у зоны сдвига слои пород резко изгибаются вверх. Это свидетельствует о том, что водно-грязевой поток проник в зону дробления Алексеевского сдвига в месте пересечения им наиболее ослабленной и интенсивно трещиноватой сводовой части Горностаевской структуры. По этому каналу и транспортировались вверх тектонические обломки различных по составу и возрасту пород, вмещающих Горностаевский грязевый вулкан.

Очевидно, формирование грязевого вулкана можно связать с движением аллохтона, а место его излияния чаще приурочено к участкам, осложненным сдвиговым нарушением. В условиях горизонтального сжатия газовой-жидкие флюиды, концентрация которых, как известно, происходит в природных ловушках, нагнетаются в сводовое пространство антиклинали, над которым расположен вулканический аппарат. Первая же разрядка нагрузки, вызванная возобновлением движения по разрывам, влечет за собой неременное истечение жидкости по созданным природой каналам в направлении меньшего давления, т.е. к дневной поверхности. Присутствующие глинистые массы на пути восходящего потока частью захватываются, а частью растворяются во флюиде и выносятся на поверхность. Следовательно, происхождение грязевых вулканов связано с надвигообразованием,

в процессе которого формируются складчатые структуры, нарушенные сдвигами, способствующими формированию в своих зонах каналов вулканических аппаратов, обеспечивающих поступление растворов вверх. Движение аллохтонов происходит унаследованно в течение миллионов лет, причем их скачкообразные срывы сменяются периодами покоя и затухания активности. Прерывистый характер перемещения объясняется существованием трения в подошве аллохтонов, вследствие чего сначала происходит накопление энергии горизонтального сжатия, а затем — резкий срыв. Каждый такой тектонический цикл сопровождается генерацией УВ и сопутствующих газов.

Преобразование органического вещества в подвижные УВ, выделение из монтмориллонита вмещающих пород межслоевой воды, способной переносить УВ, также происходит под влиянием тангенциальных сил [14]. Проскальзывание горных пород по сместителям надвигов или же вдоль возникающих многочисленных трещин, в условиях смятия слоев в антиклинальные складки, приводит к локальному повышению температуры, сопутствующей проявлению подобных деформаций. В таких условиях не только формировались резервуары, но и создавались благоприятные термодинамические условия, необходимые для генерации нефти и газа, а также для развития газовых и водных термальных аномалий. В работе [3], по-видимому, впервые обращено внимание на более сильный нагрев термальных источников, расположенных в сводах антиклиналей. В [15] указано, что долгоживущие региональные разломы вырисовываются не только как зоны концентрации напряжений в земной коре, но и как генераторы вторичного локального теплового потока термомеханического происхождения. В благоприятных условиях уровень концентрации тектонических напряжений может оказаться достаточным для возникновения сверхвысоких давлений.

Интерес в данном случае представляет аутигенный тепловой эффект, который может быть весьма значительным. Для тектонических процессов, вызванных сжатием, действующим длительное время, характерно проявление процессов как складкообразования, так и метаморфизма. В [15] показано, что область тектонического контакта значительно разогрета, и разлом является своего рода тепло-

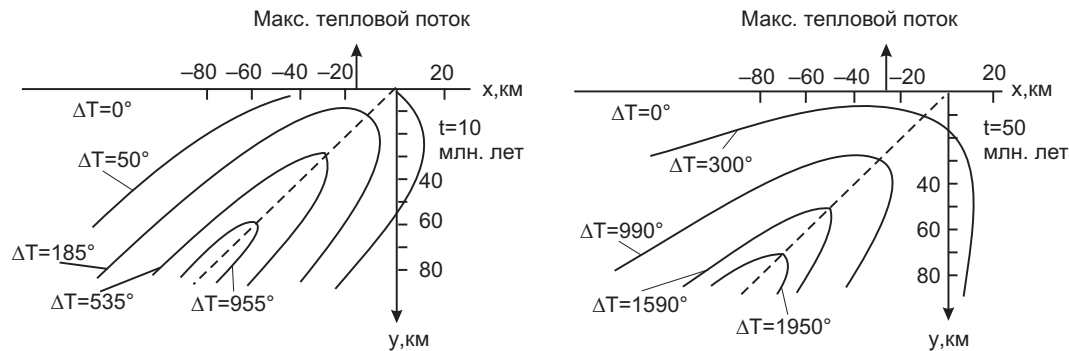


Рис. 2. Поля приращений температур в областях наклонных разломов [15]:  $\nu = 1$  см/год,  $\alpha = 45^\circ$

вым резервуаром с температурами, возрастающими с глубиной и убывающими при удалении от разлома по латерали (рис. 2), что вполне объясняет повышенные значения теплового потока в зонах разломов. Особенностью наклонных разломов является то, что максимум теплового потока смещен относительно выхода разлома на дневную поверхность в сторону его падения.

Таким образом, с тектоническими процессами при надвигообразовании генетически связаны важнейшие геологические явления, такие как складчатость, осадконакопление, генезис углеводородов, формирование грязевых вулканов, возникновение термальных источников и пр. В этом выражается всестороннее влияние шарьяжно-надвиговых процессов формирования складчатых областей, при которых образуются не только структура, но и вещественный состав этих областей.

### Литература

1. Кононов В. И. Геотермальные ресурсы России и их использование // Литология и полезные ископаемые. 2002. № 2. С. 115–125.
2. Природные газы СССР // Под ред. В. Д. Голубятникова и В. И. Рейнеке. М.-Л.: ОНТИ НКТП СССР, 1935. 601 с.
3. Султанов Б. И. Некоторые причины геотермической аномалии Апшеронской нефтеносной области // Изв. вузов. Нефть и газ. 1961. № 7. С. 9–15.
4. Лидин Г. Д. Азотные струи Кавказа // Природные газы СССР. М.-Л.: ОНТИ НКТП СССР, 1935. С. 431–434.
5. Китык В. И., Плотников А. М. Грязевые вулканы, дисгармоничные складки и нефтегазоносность Керченского полуострова // Тектоника провинций горючих ископаемых. Киев: Наукова думка, 1977. С. 31–43.
6. Белоусов В. В. Очерки геохимии природных газов. Ленинград: ОНТИ – Химтеорет, 1937. 144 с.
7. Голубятников В. Д. Природные газы Дагестана // Труды геолого-разведывательного бюро газовых месторождений. 1932. Вып. 1. С. 37–42.
8. Калинин М. К. Неорганическое происхождение нефти в свете современных данных (критический анализ). М.: Недра, 1968. С. 316–335.
9. Шилоков Е. Ф. Грязевый вулканизм Керченско-Таманской области как рудообразующий процесс // Геологический журнал. Киев: Наукова думка. 1986. № 6. С. 161–165.
10. Козлов А. Л. Кубано-Черноморский газоносный район // Природные газы СССР. М.-Л.: ОНТИ НКТП СССР, 1935. С. 246–259.
11. Казанцев Ю. В., Бехер Н. И. Аллохтонные структуры Керченского полуострова // Геотектоника. 1988. № 4. С. 77–89.
12. Нигматуллин Р. И. и др. Геология и генезис тепловых аномалий горы Янгантау. Уфа: УНЦ РАН, 1998. 70 с.
13. Казанцев Ю. В. Структурная геология Предуральяского прогиба. М.: Наука, 1984. 184 с.
14. Казанцева Т. Т., Камалетдинов М. А., Казанцев Ю. В. и др. Происхождение нефти. Уфа: УНЦ РАН, 1982. 30 с.
15. Паталаха Е. И., Поляков А. И., Севрюгин Н. Н. Роль механического фактора в термическом режиме зон крупных разломов // Геотектоника. 1978. № 4. С. 78–90.