Доклады Академии наук СССР
1972. Том 204, № 1

УДК 551.49 *ПЕТРОГРАФИЯ*

Г. М. СУХАРЕВ, Ю. К. ТАРАНУХА, А. А. ЯРОШЕНКО,
С. П. ВЛАСОВА, Н. С. БЛАГОПРАВОВ

ВЛИЯНИЕ НА ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГОРНЫХ ПОРОД ИХ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА

(Представлено академиком В. В. Меннером 23 III 1971)

В лаборатории по исследованию и использованию глубинного тепла земли Грозненского нефтяного института в течение многих лет изучаются теплофизические параметры разнообразных горных пород. Измерения проводятся методами, основанными на принципах регулярного режима, теория которого разработана Г. М. Кондратьевым ([1]).

Установлено, что основными факторами, определяющими теплофизические параметры, являются плотность, влажность, температура и минералого-петрографический состав пород.

Результаты исследований и обобщения, сделанные авторами ранее ([2]), хорошо согласуются с работами других экспериментаторов ([3, 4]). В настоящей статье излагаются материалы специально поставленных опытов по выяснению влияния на теплофизические параметры химического состава пород на примере алевролитов нижнеюрского возраста Левобережного полиметаллического месторождения (Центральное поднятие Кавказского мегантиклинория). Образцы отобраны в интервале глубин от 100 до 798 м. Исследованию подвергнуто 52 образца.

Породы сложены обломочным материалом довольно хорошей отсортированности, так как состоят в основном из крупно- и среднезернистой алевритовых фракций и отличаются чаще всего однородной текстурой при высокой степени уплотнения.

Обломочный материал этих фракций представлен зернами преимущественно кварца, халцедона и в меньшей степени полевыми шпатами и чешуйками слюд. Форма зерен полуугловатая. Цемент породы глинистый (иногда гидрослюдистый), глинисто-карбонатный, порового типа, пелитовой структуры. Почти во всех образцах отмечено постоянное наличие пирита не только с размером зерен 0,01—0,1 мм, но и находящегося в тонкодисперсном состоянии (на основании довольно высокого содержания двухвалентного железа по данным химических анализов).

Характерно наличие в породе микротрещин, заполненных кварцем. В среднем составе исследованных пород содержится кварца 55—70%, полевых шпатов 15—20%, глинистых минералов и обломков пород 15—25%, пирита — от нуля до нескольких процентов. Плотность исследованных алевролитов колеблется от 2650 до 2845 кг/м^3. Открытая пористость образцов небольшая (0,6—2,1%).

Алевролиты обладают довольно высокой теплопроводностью (2,33—4,68 ккал/м·град·час) и температуропроводностью ($59{,}6\cdot10^{-4}$—$94{,}3\cdot10^{-4}$ м^2/час). Для сравнения укажем, что теплопроводность глинистых сланцев, аргиллитов и глин составляет 0,8—2,6 ккал/м·град·час, температуропроводность $15{,}6\cdot10^{-4}$—$48{,}4\cdot10^{-4}$ м^2/час; известняков и доломитов соответственно 2,0—2,5 и $20\cdot10^{-4}$—$40\cdot10^{-4}$ ([5]).

Высокая тепло- и температуропроводность алевролитов обусловлена текстурно-структурными особенностями пород и их минеральным составом.

Для исследованных образцов, как отмечено выше, характерна однородная текстура пород при довольно высокой степени уплотнения, распространение порового, а не базального типа цемента. Поровый тип цемента обеспечивает контакт между зернами породы, представленными в основном обломками кварца и халцедона, обладающими высокой теплопроводностью.

На рис. 1 приведены сведения о среднем химическом составе исследованных образцов.

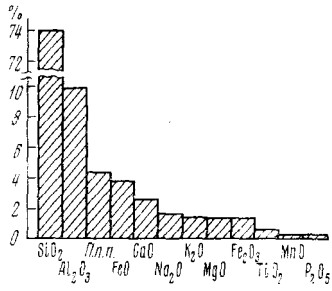

Рис. 1. Гистограмма среднего химического состава алевролитов

Для выяснения роли каждого из компонентов химического состава в изменении коэффициента теплопроводности алевролитов (λ, ккал/м·град·час) методами математической статистики, в частности при помощи корреляционного анализа, производилась обработка экспериментальных данных. Способом наименьших квадратов вычислены уравнения корреляционной зависимости и соответствующие им коэффициенты корреляции r.

Графики корреляционных связей показаны на рис. 2.

Надежность полученных коэффициентов корреляции проверялась при помощи критерия Стьюдента при уровне значимости 0,01 (*6*).

Исследования показали весьма тесную обратную связь между теплопроводностью алевролитов и содержанием в породе Al_2O_3 ($r = -0{,}755$) и TiO_2 ($r = -0{,}794$). Аналитически эти зависимости выражаются уравнениями:

$$\lambda = 5{,}96 - 0{,}214\ Al_2O_3;$$

$$\lambda = 5{,}91 - 4{,}3\ TiO_2.$$

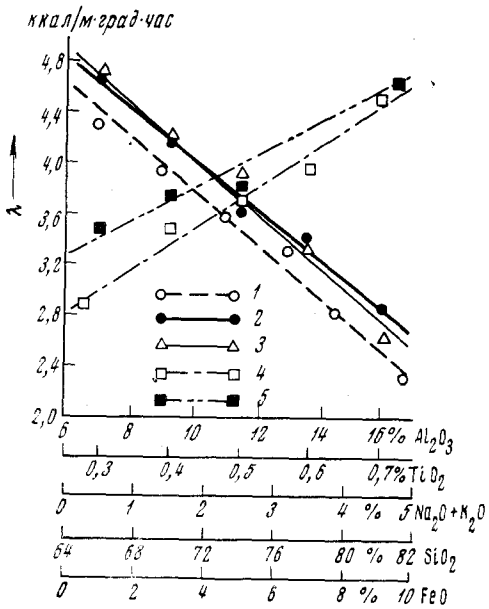

Рис. 2. Зависимость теплопроводности алевролитов от их химического состава. Среднеарифметические значения экспериментальных данных и теоретические линии регрессии. *1* — для Al_2O_3, *2* — TiO_2, *3* — $Na_2O + K_2O$, *4* — SiO_2, *5* — FeO

Компоненты химического состава Al_2O_3 и TiO_2 составляют, по-видимому, главным образом глинистую часть породы. Так, Al_2O_3 входит в состав глинистых минералов, в том числе и гидрослюд, а TiO_2, скорее всего, связан с тонкозернистыми агрегатами лейкоксена, рассеянными в глинистой массе.

Довольно тесная связь установлена между теплопроводностью и содержанием в породе SiO_2 ($r = +0{,}682$):

$$\lambda = 0{,}092\ SiO_2 - 3{,}08.$$

Наличие прямой связи между содержанием в породе SiO_2 и теплопроводностью может быть объяснено преимущественным распространением в породах свободной формы кремнезема в виде кварца и халцедона. Окварцованность — не только за счет кремнезема обломочного происхождения, но и аутигенного, образовавшегося при гидрохимических процессах в микротрещинах.

Прямая связь установлена также и при изучении влияния на теплопроводность алевролитов двухвалентного железа FeO, обусловленного наличием в породе пирита.

Зависимость характеризуется коэффициентом корреляции $r = +0{,}617$ и имеет вид:

$$\lambda = 0{,}143\ FeO + 3{,}26$$

Между коэффициентом теплопроводности и содержанием в породе окислов щелочных металлов $Na_2O + K_2O$ связь обратная:

$$\lambda = 4{,}85 - 0{,}448\ (Na_2O + K_2O).$$

Полученный при этом коэффициент корреляции равен $r = -0{,}629$.

Установленная обратная связь между λ и $Na_2O + K_2O$ вполне естественна, так как эти окислы входят в состав деградировавшегося слюдистого материала и разложенных (пелитизированных) полевых шпатов, т. е. в конечном итоге участвуют главным образом в глинистой части пород.

Все перечисленные выше зависимости характеризуются значениями коэффициентов корреляции, которые значимо отличаются от нуля с надежностью 99%.

Что касается содержащихся в алевролитах $CaO + MgO$, MnO и P_2O_5, то установить влияние их на теплопроводность не удалось. Полученные весьма низкие коэффициенты корреляции (во всех случаях коэффициенты корреляции незначительны) указывают на то, что коррелированность коэффициента теплопроводности с этими компонентами, входящими в состав алевролитов, следует считать сомнительной (влияние их на теплопроводность по крайней мере весьма незначительно).

Изучение полученных уравнений регресии показывает, что степень влияния отдельных компонентов химического состава на теплопроводность различна. Так, увеличение содержания в алевролитах TiO_2 на 0,1%, а $Na_2O + K_2O$ и Al_2O_3 на 1% вызывает снижение их теплопроводности соответственно на 0,43; 0,45 и 0,21 ккал/м·град·час. Увеличение же на 1% таких компонентов, как FeO и SiO_2, приводит к возрастанию коэффициента теплопроводности на 0,14 и 0,09 ккал/м·град·час.

С целью изучения характера влияния совокупности химических компонентов на теплопроводность алевролитов была изучена множественная связь между коэффициентом теплопроводности λ (результативный признак) и содержанием в породе SiO_2, Al_2O_3 и TiO_2 (факториальные признаки).

Вычисленный коэффициент множественной корреляции (совокупный) между λ и SiO_2, Al_2O_3 оказался $R = 0{,}877$, а между λ и SiO_2, TiO_2 $R = 0{,}890$.

Увеличение коэффициентов множественной корреляции по сравнению с коэффициентами корреляции для отдельных пар значений λ и SiO_2, λ и Al_2O_3, λ и TiO_2 указывает на то, что в совокупности SiO_2, Al_2O_3 и TiO_2 оказывают значительно большее влияние на теплопроводность алевролитов, чем каждый из этих компонентов химического состава в отдельности.

Линейное уравнение множественной связи, определяющее указанную зависимость, имеет вид:

$$\lambda = 1{,}8205 + 0{,}0474\ SiO_2 - 0{,}0586\ Al_2O_3 - 2{,}1510\ TiO_2.$$

Проведенные на примере алевролитов исследования позволили установить различное влияние отдельных компонентов химического состава пород на их теплопроводность.

Материалы по математической обработке результатов исследований, приведенные в настоящей работе, позволили, таким образом, провести

объективную оценку зависимостей между коэффициентом теплопроводности и химическим составом пород.

Вместе с тем необходимо также учитывать и формы нахождения самих химических соединений, т. е. минеральный состав пород.

Грозненский нефтяной институт

Поступило 23 III 1971

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] Г. М. Кондратьев, Регулярный тепловой режим, 1954. [2] Г. М. Сухарев, С. П. Власова, Изв. высш. учебн. завед., Нефть и газ, № 5 (1967). [3] Е. А. Любимова, Термика Земли и Луны, «Наука», 1963. [4] А. Ф. Чудновский, Теплофизические характеристики дисперсных материалов, 1962. [5] Г. М. Сухарев, С. П. Власова, Ю. К. Тарапуха, ДАН, 177, № 3 (1967). [6] А. К. Митропольский, Техника статистических вычислений, 1961.