

УДК 550.361

ПЕРВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕПЛОВОГО ПОТОКА НА АРХИПЕЛАГЕ НОВАЯ ЗЕМЛЯ

© 2018 г. Д. С. Никитин*, М. Д. Хуторской

Представлено академиком РАН М.А. Федонкиным 03.08.2017 г.

Поступило 22.08.2017 г.

В результате измерения температуры в буровых скважинах на месторождении “Павловское” (Новая Земля), определения теплопроводности горных пород из разрезов скважин и оценки радиогенной теплогенерации в интервале бурения рассчитан тепловой поток. Это первые определения теплового потока на архипелаге. Обсуждается структура теплового потока Новой Земли в аспекте сравнительного анализа с другими складчатыми палеозойскими поясами Северной Евразии.

DOI:

Потребности экономики страны и истощение запасов природных ресурсов в освоенных районах объективно предопределяют увеличение интенсивности поисково-разведочных работ в арктической зоне РФ. В настоящее время арктический регион России становится самостоятельным объектом государственной политики в области недропользования. В этом регионе сосредоточены основные запасы ряда важнейших полезных ископаемых, которые являются определяющими для развития экономики России.

В результате общей оценки минеральных ресурсов архипелага Новая Земля, проведенной Полярной морской геологоразведочной экспедицией совместно с ВНИИОкеанология (А.П. Каленич, И.Д. Гласс, Л.Г. Павлов, Г.И. Иванов и др.), определены наиболее масштабные на сегодняшний день сырьевые объекты – это Рогачевско-Тайнинский марганцеворудный район и Безымянный рудный полиметаллический узел. Все это обусловило повышенный интерес отечественной и зарубежной горнорудной промышленности к архипелагу.

Разведочные работы, включавшие бурение нескольких относительно глубоких скважин, начались 15 лет назад на Павловском свинцово-цинковом месторождении Безымянного полиметаллического узла. Оно расположено на северо-западе Южного острова архипелага Новая Земля в бассейне р. Безымянная в 16–18 км к востоку от ее впадения в Баренцево море (губа Безымянная) (рис. 1).

Исследуемый район расположен в зоне сочленения крупнейших разрывных структур Пайхойско-Новоземельской минерагенической провинции: Главного Новоземельского и Байдарацкого разломов. Месторождение локализуется в карбонатных отложениях грибовской свиты нижнего девона, слагающих юго-восточное крыло крупной Безымянской антиклинали, полого погружающейся под углами 25° – 45° в южном и юго-восточном направлении [1].

В пределах месторождения установлены три структурно обособленные рудные залежи – Центральная, Восточная и Правобережная, сложенные линзовидными или лентовидными рудными телами внутри пластов пород рудовмещающей толщи. Внутреннее строение рудных тел характеризуется неравномерным распределением рудных минеральных агрегатов различных генераций и стадий: вкрапленной, прожилковой, брекчиевой и массивной текстуры, а также осложняется разноориентированными кварц-карбонатными жилами, швами брекчирования, разлинзования (будинирования) и рассланцевания вмещающих пород и руд.

Отмеченные структурно-геологические неоднородности разреза обусловили существование контрастных теплофизических комплексов. Этот факт необходимо учесть количественно при изучении термического режима и термической истории месторождения.

Теплофизические свойства горных пород всегда рассматриваются как важнейшие параметрические данные для геотермического изучения и моделирования осадочных бассейнов и складчатых поясов при оценке глубинных температур и плотности теплового потока. Прогнозные оценки температур

Геологический институт Российской Академии наук, Москва
*E-mail: ndsnomination@mail.ru

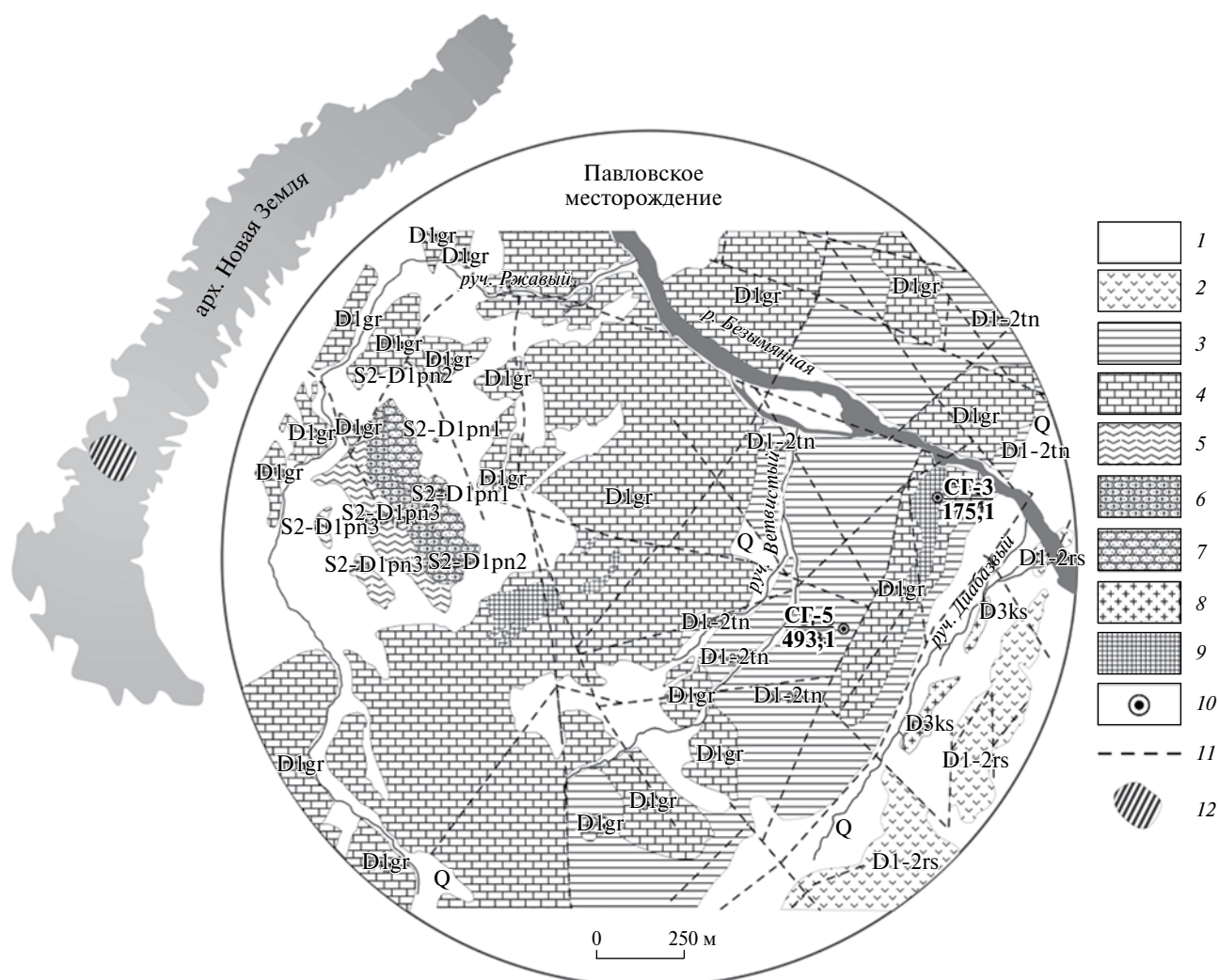


Рис. 1. Схема расположения месторождения “Павловское” и Безымянного рудного полиметаллического узла; 1 – четвертичные отложения нерасчленённые Q, 2 – рейская свита D_{1-2rs} ; базальты, туфы; 3 – тайнинская свита D_{1-2tn} ; аргиллиты, глинистые известняки, алевролиты; 4 – грибовская свита нерасчленённая D_{1gr} ; известняки глинистые и доломитистые, осадочные брекчии; 5 – паньковская свита S_2-D_{1pn3} ; верхняя пачка, сланцы филлитовидные, песчаники кварцевые; 6 – паньковская свита S_2-D_{1pn2} ; средняя пачка, песчаники кварцевые, алевролиты; 7 – паньковская свита S_2-D_{1pn1} ; нижняя пачка, песчаники кварцевые; 8 – дайки долеритов (D_{3ks}); 9 – выход рудных тел на поверхность; 10 – устья скважин; 11 – разрывные нарушения; 12 – Безымянный рудный полиметаллический узел.

горных пород имеют важное значение при решении различных задач, связанных с использованием природных ресурсов, с оценкой фазового состояния различных геосфер, гидрогеологических особенностей недр, расчленения литологического разреза и для определения перспектив использования глубинного тепла в качестве альтернативного источника энергии.

Применение технических средств, обеспечивающих возможность массовых измерений теплопроводности образцов горных пород и руд [2, 3], позволило приступить к детальным геотермическим исследованиям различных геологических объектов, включая рудные месторождения.

Коэффициент теплопроводности горных пород определяли по образцам кернового материала методом оптического сканирования (МОС) при помощи новой установки ТС14, разработанной и сконструированной в лаборатории теплопереноса Геологического института РАН (г. Москва). [2].

Образцы были отобраны из двух скважин СГ-5 (глубина 493,1 м) и СГ-3 (глубина 175,0 м). Общая выборка составила 165 образцов. В разрезе месторождения вскрыты девонские аргиллиты и известняки, осложнённые присутствием крупных включений метасоматитов. Они характеризуются неравномерным прожилковым вкраплением рудных минералов: галенита, сфалерита и пирита.

Анализ значений k_{\max} , k_{mean} и k_{\min} показывает, что в разрезе скважин по теплофизическим свойствам выделяются именно эти структурно-теплофизические комплексы, имеющие контрастную теплопроводность. Это аргиллиты (диапазон изменения теплопроводности от 1,18 до 3,50 Вт/(м×К)), известняки (диапазон изменения теплопроводности от 2,07 до 3,97 Вт/(м×К)) и метасоматиты ($k_{\text{mean}} > 4$ Вт/(м×К)). Для первых двух комплексов коэффициент тепловой неоднородности: $\beta = k_{\text{mean}} / (k_{\max} - k_{\min})$ изменяется в пределах 20–30% в отличие от метасоматитов, содержащих рудные компоненты, где β нередко превышает 100% (рис. 2).

При стационарном геотермическом режиме и отсутствии искажений за счёт рельефа и структурно-геологических неоднородностей тепловой поток не зависит от глубины измерений и, таким образом, является характеристикой географического пункта. Но из-за раздельного измерения геотермического градиента и теплопроводности при расчёте теплового потока возможны несколько вариантов тренда геотермического градиента и теплопроводности по глубине.

Обработка данных по скважине СГ-5 показала, что геотермический градиент изменчив на разных интервалах глубин, но статистически значимый тренд зависимости температурного градиента от глубины не наблюдается. Изменчива также и теплопроводность, но без видимой закономерности (см. рис. 2). В этом случае тепловой поток следует вычислять как произведение средневзвешенного градиента на средневзвешенную теплопроводность на каждом глубинном интервале:

$$q = \frac{\sum G_i z_i \cdot \sum k_i z_i}{\sum z_i^2},$$

где i – номер слоя, в котором измерен геотермический градиент и средняя теплопроводность.

Геотермический градиент по скважине СГ-5 изменяется незначительно (от 17 до 19 мК/м). Учитывая представительность контрастных теплофизических комплексов, исключив из рассмотрения участки сплошной рудной вкрапленности с “ураганной” теплопроводностью, нами по вышеприведённой формуле рассчитан тепловой поток. Он составил $q = 46 \pm 4$ мВт/м² (см. рис. 2). Заметим, что это первая оценка плотности теплового потока на архипелаге Новая Земля. Пока рано проводить какие-то обоснованные межрегиональные сопоставления. Но характерно то, что это значение меньше, чем тепловой поток в смежных структурах Баренцева моря – Лунинской седловине и Прогибе Седова (соответственно 55 и 53 мВт/м²) [4]. Понижение теплового потока на Новой Земле (до 46 мВт/м²) так же, как и на Урале, можно объяснить экрани-

рованием глубинного теплового потока аллохтонной литосферной пластиной, надвинутой со стороны палеоокеана при его закрытии в позднем палеозое [4].

Структура теплового потока, т.е. соотношение радиогенной его компоненты, формирующейся главным образом в земной коре при распаде долгоживущих изотопов ²³⁸U, ²³²Th и ⁴⁰K, и мантийной компоненты, происхождение которой обусловлено не только радиоактивным распадом, но и другими экзотермическими процессами (например, переходом гравитенной энергии дифференциации вещества в тепло), можно выяснить только при наличии глубоких и сверхглубоких скважин и информации о строении коры.

Регион Новой Земли находится на начальной стадии изучения геотермического поля. Поэтому пока рано говорить об итогах изучения структуры теплового потока. В этой работе мы приводим первый, но важный результат для оценки величины корового (радиогенного) теплового потока – определение концентрации долгоживущих изотопов в образцах керн месторождения (60 проб).

Анализ порошковых проб был выполнен рентгенофлуоресцентным методом на спектрометре S4 Pioneer в аккредитованной лаборатории химико-аналитических исследований ГИН РАН. Из полученных в результате анализа валовых концентраций U, Th, K нами были вычислены концентрации основных теплогенерирующих изотопов ²³⁸U, ²³²Th и ⁴⁰K, исходя из предположения, что изотопы распространены в природе следующим образом: ²³⁸U – 99,27% от общего [U], ²³²Th – 100%, ⁴⁰K – 0,0117% от общего [K].

Теплогенерация в приповерхностном слое (в интервале бурения скважин) (A_{sur}) рассчитывалась по известной формуле:

$$A_{\text{sur}}(\text{мкВт/м}^3) =$$

$$= 0,132\rho(0,718[U] + 0,193[\text{Th}] + 0,262[\text{K}]),$$

где [U], [Th] – концентрации урана и тория в г/г; [K] – в мас.%, ρ – плотность породы, г/см³. В результате получено значение теплогенерации 0,51 мкВт/м³. Это относительно невысокое значение теплогенерации по сравнению с другими палеозойскими складчатыми поясами. Например, на Урале теплогенерация составляет 0,9 мкВт/м³, а в Алтае-Саянской области 1,15 мкВт/м³ [5]. Учитывая, что в континентальной коре теплогенерация всегда уменьшается с глубиной, можно ожидать для района месторождения величину корового радиогенного теплового потока (q_r) не более 12–15 мВт/м². Это значит, что мантийный тепловой поток, который рассчитывается как $q_m = q - q_r$, составит 30–33 мВт/м². Заметим, что эта оценка

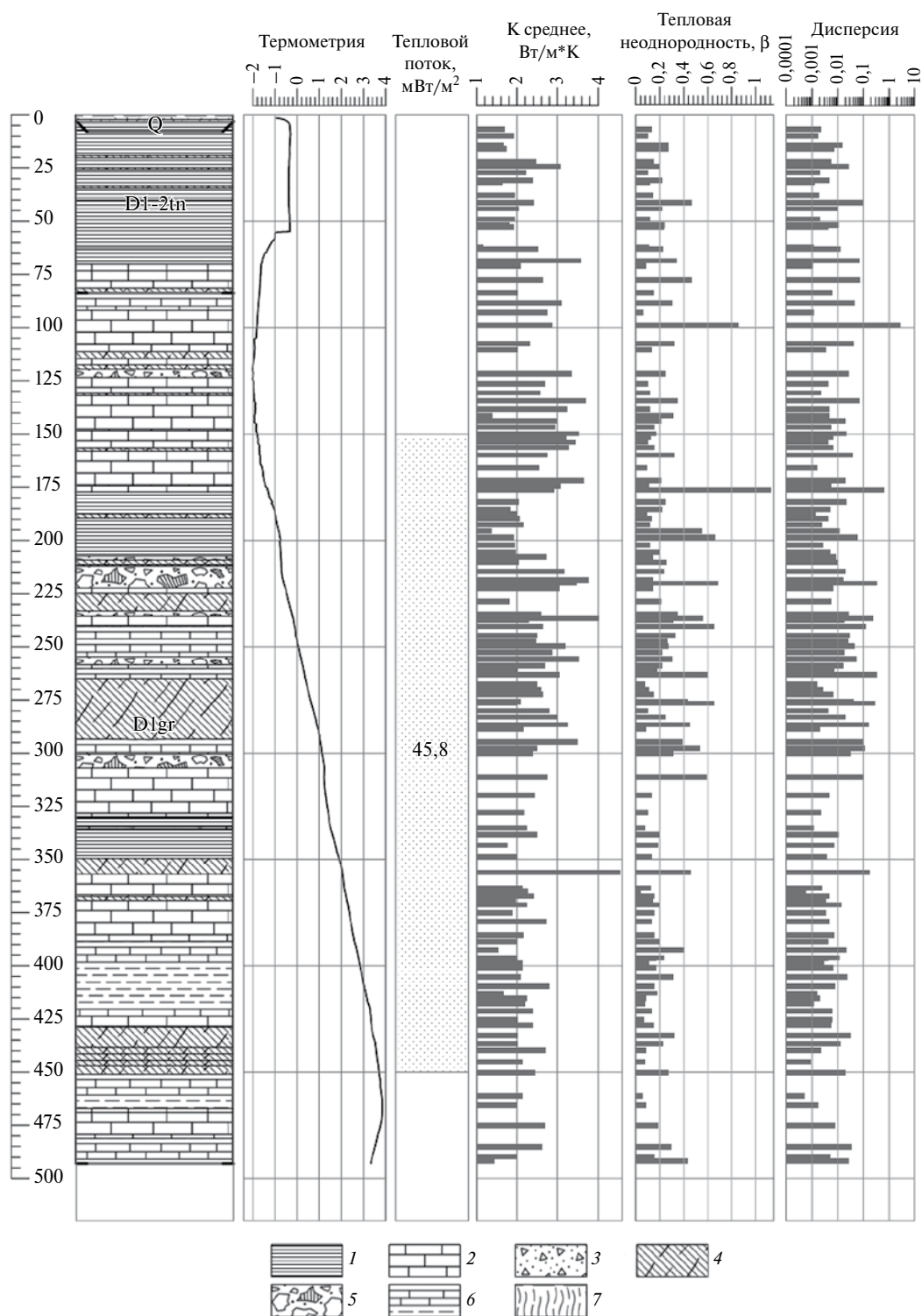


Рис. 2. Результаты геотермических измерений по скважине СГ-5: 1 – аргиллит чёрный, углистый, рассланцованный, морозный, прочный, плотный; 2 – известняк пелитоморфный, чёрный, глинистый, массивный, морозный, очень прочный, очень плотный; 3 – щебенистый грунт с отдельными морозными валунами; заполнитель песок, супесь, суглинок в количестве 15–20% объёма; 4 – зона дробления; щебенистый, морозный грунт с отдельными глыбами; дробление по аргиллитам, чёрным, массивным, углистым, с зеркалами скольжения; 5 – брекчия тектоническая по известнякам слабоглинистым, доломитистым, соотношение обломки/цемент 80/20, морозная, очень прочная, очень плотная; 6 – тонкое переслаивание известняков глинистых и аргиллитов известковых, с прожилками кальцита, участками рассланцованное, породы морозные, очень прочные, плотные; 7 – дресвяный грунт с редким щебнем, заполнитель (30% объёма) песок, супесь, суглинок.

полностью адекватна той, которая была ранее получена для всего Западно-Арктического бассейна [4]. Таким образом, по геоэнергетическим характеристикам мантия под осадочным Баренцево-морским бассейном ничем не отличается от мантии под складчатым сооружением Новой Земли.

По результатам проведения комплексных геотермических работ, включавших измерения теплопроводности и коэффициента тепловой неоднородности пород по керну методом оптического сканирования, расчёта геотермического градиента и плотности теплового потока, оценки компонентов теплового потока, получены следующие результаты:

изучены основные теплофизические свойства 165 образцов керна месторождения Павловское архипелаге Новая Земля;

охарактеризованы закономерности изменения коэффициента теплопроводности и тепловой неоднородности рассмотренных разновидностей пород в связи с минеральным составом, структурно-текстурными особенностями и степенью метасоматических изменений. Наибольшими фоновыми значениями теплопроводности обладают метасоматиты (до 14,0 Вт/(м · К)), а наименьшими — аргиллиты (от 1,18 Вт/(м · К));

обосновывается вывод о достаточно высокой информативности теплофизических свойств и перспективности детальных теплофизических исследований разрезов для их литологического расчленения;

на основе определения концентрации долгоживущих изотопов в образцах керна рассчитана величина коровой радиогенной компоненты теплового потока, которая оказалась значительно меньше,

чем та же компонента в других палеозойских складчатых поясах Северной Евразии;

полученные данные позволили впервые охарактеризовать плотность теплового потока в скважинах Новой Земли и рассчитать его глубинное значение в условиях структурно-теплофизических неоднородностей.

Авторы крайне признательны С.М. Ляпунову и Е.П. Шевченко (ГИН РАН) за предоставленные результаты определения концентрации долгоживущих изотопов.

Работа выполнена при финансовой поддержке госбюджетных тем № 0135—2015—0021 и 1170—3061—0106, а также программы Президиума РАН № П15.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Романович Б.С.* Тектоника Новой Земли и Вайгача. Геология СССР. М.: 1970. Т. 36. 548 с.
2. *Никитин Д.С., Хуторской М.Д., Никитин А.С.*, Бесконтактные измерения теплофизических свойств горных пород на установке ТС14 // Процессы в геосредах. 2016. № 3(7). С. 246—254
3. *Попов Ю.А., Семенов В.Г., Коростелев В.М., Березин В.В.* Бесконтактное определение теплопроводности горных пород с помощью подвижного источника тепла // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1983. № 7. С. 86—93.
4. *Хуторской М.Д., Ахмедзянов В.Р., Ермаков А.В. и др.* Геотермия арктических морей. М.: Геос, 2013. 238 с.
5. *Хуторской М.Д., Поляк Б.Г.* Роль радиогенной теплогенерации в формировании поверхностного теплового потока // Геотектоника. 2016. № 2. С. 43—61.