

## ЗАВИСИМОСТЬ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД КОМСОМОЛЬСКОГО РУДНОГО РАЙОНА (Хабаровский край) ОТ МИНЕРАГЕНИИ И МЕТАСОМАТИЗМА

П.Ю. Горнов

*Институт тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН,  
680000, Хабаровск, ул. Ким Ю Чена, 65, Россия*

Приведены статистические данные о теплопроводности горных пород Комсомольского рудного района (Хабаровский край). Охарактеризованы закономерности изменения коэффициентов теплопроводности и тепловой неоднородности рассмотренных разновидностей пород в связи с минеральным составом, структурно-текстурными особенностями и степенью метасоматических изменений. Приведены теплофизические разрезы изученных минерализованных зон. Обосновывается вывод о достаточно высокой информативности тепловых свойств и перспективности детальных теплофизических исследований разрезов для их литологического расчленения.

*Геотермия, теплопроводность, коэффициент тепловой неоднородности, рудный район.*

## RELATIONSHIP OF THE THERMAL CONDUCTIVITY OF ROCKS IN THE KOMSOMOL'SK ORE DISTRICT (Khabarovsk Territory) WITH MINERAGENY AND METASOMATISM

P.Yu. Gornov

Statistical data are given on the thermal conductivity of rocks in the Komsomol'sk ore district (Khabarovsk Territory). The regularities of variations in the thermal-conductivity and thermal-inhomogeneity factors of the studied types of rocks are considered in relation with their mineral composition, texture, structure, and degree of metasomatic alteration. Thermophysical sections of the studied mineralized zones are presented. The conclusion is substantiated that the thermal properties of rocks are highly informative and detailed thermophysical studies of sections might be useful for their lithological subdivision.

*Geothermics, thermal conductivity, thermal-inhomogeneity factor, ore district*

### ВВЕДЕНИЕ

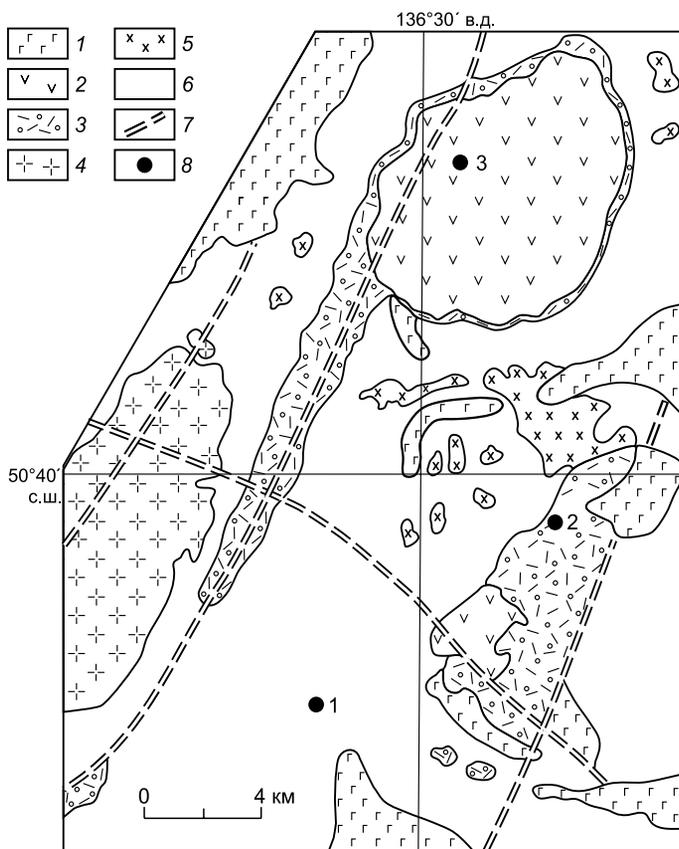
Комсомольский рудный район находится в Приамурской зоне Сихотэ-Алиньского орогенного пояса. В геологическом строении района участвуют толщи трех структурных этажей, прорванные поздне-меловыми интрузивами и перекрытые пострудными покровами андезитобазальтов и базальтов неоген-четвертичного возраста. Структурные этажи различаются по литологии, физическим свойствам пород, характеру дизъюнктивных нарушений.

Верхнеюрские терригенно-осадочные образования нижнего структурного этажа включают четыре седиментационных цикла, начинающихся песчаниками и заканчивающихся алевролитами. Нижнемеловой вулканогенно-осадочный комплекс среднего этажа представлен кислыми вулканитами риолито-дацитами и их туфами с прослоями туфоконгломератов и туфопесчаников, которые входят в состав холдоминской свиты. Верхнемеловой вулканический комплекс амутской свиты представлен в основном андезитобазальтами и их туфами (рис. 1). [Коростелев и др., 1984].

Изучение теплофизических свойств горных пород (в данном случае теплопроводности) отдельная, самостоятельная часть геотермии, позволяющая решать целый ряд научных и прикладных задач. К ним относятся расчет значений плотности теплового потока, температурного поля в глубоких горизонтах осадочного чехла и консолидированного фундамента [Горнов и др., 2009]. Прогнозные оценки температур имеют важное значение при решении различных технических задач, связанных с использованием природных ресурсов, определение запасов углеводородов, оценка их фазового состояния, решение гидрогеологических задач, расчленение литологического разреза и т.д. Применение осредненных, литературных данных по литолого-фациальным комплексам может привести к определенным погрешностям. Это вызвано значительной изменчивостью тепловых свойств горных пород, особенно терригенных и магматических, обусловленной вариациями минерального состава, структуры, степени и характера метаморфизма.

© П.Ю. Горнов, 2015

DOI: 10.15372/GiG20150310



**Рис. 1. Геологоструктурная схема Комсомольского рудного района, по [Коростелев и др., 1983] с упрощением.**

1 — неогеновые покровы базальтов; 2 — верхнемеловые андезиты и их туфы амутской свиты; 3 — верхнемеловые туфы кварцевых порфиров и туфоконгломераты холдаминской свиты; 4 — крупнозернистые роговообманково-биотитовые граниты; 5 — интрузивные породы силинского комплекса; 6 — юрские осадочные породы; 7 — разломы глубинного заложения; 8 — рудные месторождения: 1 — Фестивальное, 2 — Перевальное, 3 — Соболиное.

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Применение технических средств, обеспечивающих возможность массовых измерений теплопроводности образцов горных пород и руд [Калинин и др., 1983; Попов и др., 1983] позволило приступить к детальным геотермическим исследованиям различных геологических объектов, включая рудные месторождения, и оценке возможностей теплофизических методов при решении различных геолого-геофизических задач [Попов и др., 1985; Федорова и др., 1988; Соколова, Акимцев, 1989], а также к получению новых статистически представительных данных о

тепловых свойствах пород различных регионов, в частности Сибири и Дальнего Востока [Соколова и др., 1973; Дорофеева, 1986; Голованова и др., 2012; Дучков и др., 2013, 2014].

Определение коэффициента теплопроводности горных пород проводилось по образцам керна материала методом «оптического сканирования» при помощи аппаратного комплекса «λ-профиль». Установка позволяла измерять теплопроводность горных пород в диапазоне (1.0—10.0) Вт/(м·К) с погрешностью не более ±5 %.

Измерения состояли из бесконтактного нагрева серии из двух эталонов и нескольких исследуемых образцов движущимся источником тепловой энергии (CO<sub>2</sub>-лазер), затем по результатам измерений «избыточной температуры» бесконтактным радиометром рассчитывалась теплопроводность исследуемых образцов [Попов и др., 1983].

Достоинствами используемой методики и аппаратуры являются: высокая производительность (десятки измерений в час), отсутствие жестких требований к геометрической форме и размерам образцов, возможность проведения измерений непосредственно на образцах керна, регистрация распределения теплопроводности вдоль выбранных на образце направлений. Последняя особенность позволяет изучать не только анизотропию теплопроводности, но и дает возможность оценки неоднородности тепловых свойств в пределах образца с определением максимального ( $\lambda_{\text{макс}}$ ), минимального ( $\lambda_{\text{мин}}$ ), среднего ( $\lambda_{\text{ср}}$ ) значений коэффициентов теплопроводности с дальнейшим определением коэффициента тепловой неоднородности  $\beta$

$$\beta = \frac{\lambda_{\text{макс}} - \lambda_{\text{мин}}}{\lambda_{\text{ср}}}$$

Методом «оптического сканирования» при помощи полевой установки «λ-профиль» были проведены массовые, детальные исследования теплофизических характеристик горных пород Комсомольского рудного района по рудным месторождениям Фестивальное, Перевальное, Соболиное.

Теплопроводность изучалась по юрским терригенным отложениям флишоидного типа (алевролиты, аргиллиты, песчаники), меловым осадочно-вулканогенным образованиям (туфы андезитов, липаритов, дацитов), интрузивным породам (гранодиорит, порфириты) и метасоматическим образованиям. Измерения проводились по керну скважин с минимальным шагом отбора образцов около 1 м. Общий объем измерений составил более 2000 образцов.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В табл. 1 приведены значения теплопроводности ( $\lambda_{\max}$ ,  $\lambda_{\min}$ ,  $\lambda_{\text{ср}}$ ), а также коэффициента тепловой неоднородности  $\beta$  и их среднеквадратичные отклонения ( $\sigma_1$ — $\sigma_4$ ).

Анализ приведенных в табл. 1 значений  $\lambda_{\max}$ ,  $\lambda_{\text{ср}}$  и  $\lambda_{\min}$  показывает, что в пределах каждого из образцов эти параметры отличаются незначительно для туфов андезитов и липаритов, гранодиорит-пор-

Таблица 1. Теплопроводность горных пород Комсомольского рудного района

№ п/п	Порода	Параметр								
		$\lambda_{\max}$	$\sigma_1$	$\lambda_{\text{ср}}$	$\sigma_2$	$\lambda_{\min}$	$\sigma_3$	$\beta$	$\sigma_4$	$n$
		Вт/(м·К)								
1	Туфы андезитов (амутская свита)	2.56	0.29	2.44	0.26	2.28	0.27	0.12	0.09	106
2	Туфы липаритов (холдоминская свита)	2.64	0.17	2.56	0.16	2.46	0.16	0.07	0.04	398
3	Алевролиты, аргиллиты (падалинская свита)	2.66	0.34	2.48	0.25	2.33	0.24	0.13	0.10	480
4	Алевролиты, аргиллиты окварцованные (падалинская свита)	3.46	0.33	2.95	0.36	2.57	0.36	0.32	0.17	88
5	Песчаники ороговикованные (падалинская свита)	3.15	0.41	2.86	0.31	2.59	0.27	0.20	0.14	40
6	Гранодиорит-порфиры	2.61	0.12	2.49	0.16	2.36	0.17	0.10	0.08	304
7	Кварц-серицитовые метасоматиты а) пористые, трещиноватые б) плотные	2.62	0.37	2.49	0.37	2.34	0.37	0.11	0.10	80
		2.24	0.21	2.10	0.16	1.98	0.21	0.13	0.13	45
		2.89	0.19	2.76	0.17	2.62	0.16	0.10	0.07	50
8	Турмалин-кварцевые метасоматиты	3.18	0.48	3.04	0.39	2.85	0.36	0.10	0.08	90
9	Гранодиорит-порфиры окварцованные, турмалинизированные, хлоритизированные (силинская свита)	2.98	0.31	2.85	0.26	2.68	0.27	0.10	0.07	78
10	Кварц-полевошпатовые метасоматиты	2.84	0.24	2.72	0.24	2.60	0.25	0.09	0.05	92
11	Турмалин-кварцевые метасоматиты	4.72	0.60	4.47	0.54	4.07	0.56	0.15	0.09	205
12	Кварцевые метасоматиты	4.78	0.52	4.56	0.48	4.28	0.51	0.11	0.06	60

Примечание.  $\sigma_1$ — $\sigma_4$  — среднеквадратичное отклонение значений  $\lambda_{\max}$ ,  $\lambda_{\text{ср}}$ ,  $\lambda_{\min}$ ,  $\beta$  соответственно;  $n$  — объемы выборок.

Таблица 2. Связь теплопроводности со степенью метасоматических изменений пород

№ п/п	Порода	Содержание реликтов исходной породы, %	Минеральный состав, %	Теплопроводность $\lambda_{\text{ср}}$ , Вт/(м·К)
1	Гранитоиды слабоизмененные	85—95 (плаггиоклаз, кварц, калишпат)	Плаггиоклаз — 50—60, кварц — 20—25, калишпат — 15—20, биотит, хлорит, турмалин, альбит, сфен — 5—15	2.40—2.50
2	Гранитоиды, турмалинизированные, окварцованные	40 (калишпат, плаггиоклаз)	Кварц — 25—30, турмалин — 5—7, мусковит — 10—15, кальцит, циркон, хлорит, апатит, сфен — 2—5	2.62—2.92
3	Турмалин-кварцевые метасоматиты	10—15 (калишпат, плаггиоклаз)	Кварц — 40—45, турмалин — 10—15, мусковит — 5—12, альбит — 10—15, кальцит — 5—12, циркон, хлорит, апатит, сфен — 2—5	3.07—3.44
4	Сплошные турмалин-кварцевые метасоматиты	0 (плаггиоклаз, кварц, калишпат)	Кварц — 60—80, турмалин — 15—20, карбонат, хлорит, апатит, циркон, сфен — 2—5—10	3.74—4.15

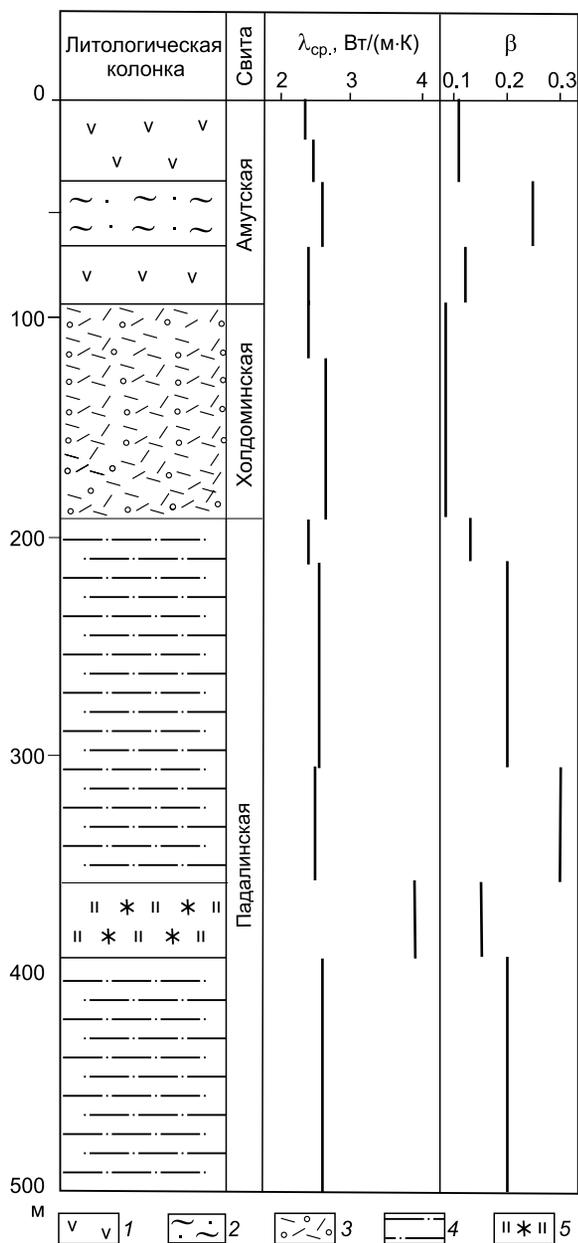
фигов, кварц-полевошпатовых метасоматитов и двух подгрупп (а и б) кварц-серицитовых метасоматитов, что обуславливает и малое значение  $\beta$ . Вместе с относительно небольшими ( $\sigma_1 - \sigma_4$ ) это свидетельствует как о незначительной тепловой микронеоднородности этих пород (в пределах образца), характеризуемой параметром  $\beta$ , так и об их невысокой макронеоднородности (в пределах толщи), характеризуемой значениями ( $\sigma_1 - \sigma_4$ ). Более высокие значения ( $\sigma_1 - \sigma_4$ ) и более значительная макронеоднородность наблюдаются у алевролитов, аргиллитов, турмалин-кварцевых и кварцевых метасоматитов при их малой микронеоднородности. Повышенными значениями ( $\sigma_1 - \sigma_4$ ) и  $\beta$ , т.е. одновременно высокими микро- и макронеоднородностями, отличаются окварцованные, серицитизированные алевролиты, аргиллиты, а также ороговикованные песчаники. Диапазон теплопроводности пород ( $\lambda_{cp}$ ) изменяется — от 2.10 до 4.56 Вт/(м·К). Из табл. 1 видно, что осадочно-вулканогенные, осадочные и интрузивные породы имеют очень близкие значения  $\lambda_{cp} = 2.1 - 2.95$  Вт/(м·К), что связано с их сходным минеральным и химическим составом [Жорстелев и др., 1984].

Осадочно-вулканогенные породы амутской и холдоминской свит в различной степени пропилитизированы. В них наблюдается устойчивая ассоциация: альбит + эпидот (цоизит) + хлорит + актинолит + кальцит + кварц + пирит. Преобладает гипабиссальная (площадная) ассоциация альбит + эпидот + кальцит + кварц + пирит, но также присутствуют обе субфации пропилитов: более глубинная — актинолит + эпидот и менее глубинная — хлорит + эпидот. Диапазон изменения  $\lambda_{cp}$  туфов, андезитов составляет от 1.78 до 2.97 Вт/(м·К). Пониженные значения теплопроводности (1.78—2.30 Вт/(м·К)) имеют интен-

сивно лимонитизированные туфы, для окварцованных и хлоритизированных туфов характерны повышенные значения  $\lambda_{cp} = 2.63 - 3.00$  Вт/(м·К). Теплопроводность туфов липаритов находится в пределах от 2.26 до 2.98 Вт/(м·К).

Осадочные отложения падалинской свиты представлены ритмично переслаивающимися алевролитами, песчаниками и глинистыми сланцами (с преобладанием алевролитов). Состав пород — кварц-полевошпатовый. Породы в различной степени изменены: серицитизированы, окварцованы, хлоритизированы, карбонатизированы. Отмечаются многочисленные прожилки, линзы, гнезда карбонат-кварцевого, хлорит-карбонат-кварцевого составов. Теплопроводность пород падалинской свиты изменяется от 2.09 до 3.94 Вт/(м·К), наиболее высокие значения теплопроводности (3.00—3.94 Вт/(м·К)) имеют окварцованные породы. У пород с гнездовым и прожилковым окварцеванием значительно увеличивается коэффициент тепловой неоднородности, достигая в отдельных образцах значений 0.5—0.8.

Интрузивные образования силинской свиты состоят из гранодиорит-порфиров, состав которых представлен средним плагиоклазом 50—60 %, кварцем — 20—25 %, калишпатом — 15—20 %. Порфировые выделения представлены крупными вкрапленниками таблитчатого плагиоклаза, которые составляют 35 % от общего объема породы. Структура пород порфирована, основная масса — гипидиоморфно-зернистая, аллотриоморфно-зернистая. Плагиоклаз в порфировых выделениях сдвойникован, раскислен (альбитизирован). Вкрапленники цветных минералов (если они были) полностью замещены



**Рис. 2. Диаграмма распределения параметров  $\lambda_{cp}$  и  $\beta$  по скважине 1002 (зона Новогодняя).**

1 — андезиты и их туфы; 2 — кварц-серицитовые породы; 3 — туфы липаритов; 4 — песчаники, алевролиты; 5 — минерализованная зона.

**Рис. 3. Диаграмма распределения параметров  $\lambda_{cp}$  по рудной скв. 8 (зона Красивая).**

1 — кварц-полевошпатовые метасоматиты, 2 — турмалин-кварцевые и кварцевые метасоматиты, 3 — гранодиорит-порфиры.

биотитами, затем хлоритом. Основная масса породы окварцована, кварц развивается по плагиоклазу и калишпату. Биотит в основной массе породы развивается по плагиоклазу и палеошпату и, возможно, замещает кварц и турмалин. Хлорит развивается по биотиту и полевым шпатам, карбонат главным образом развивается по вкрапленникам, отмечаются и мелкие прожилки. Степень изменения пород различна. Теплопроводность  $\lambda_{cp}$  гранодиорит-порфиров изменяется от 2.21 до 3.02 Вт/(м·К),  $\lambda_{cp}$  слабоизмененных пород — 2.40—2.50 Вт/(м·К). Измененные породы (окварцованные, турмалинизированные, карбонатизированные) характеризуются повышенной теплопроводностью — 2.70—3.02 Вт/(м·К). Пониженные значения  $\lambda_{cp}$  (2.21—2.35 Вт/(м·К)) связаны, по-видимому, с повышением основности пород. Возможно, что это кварцевые, диоритовые порфиры, так как в породе отмечается увеличение содержания цветных минералов и уменьшение содержания кварца.

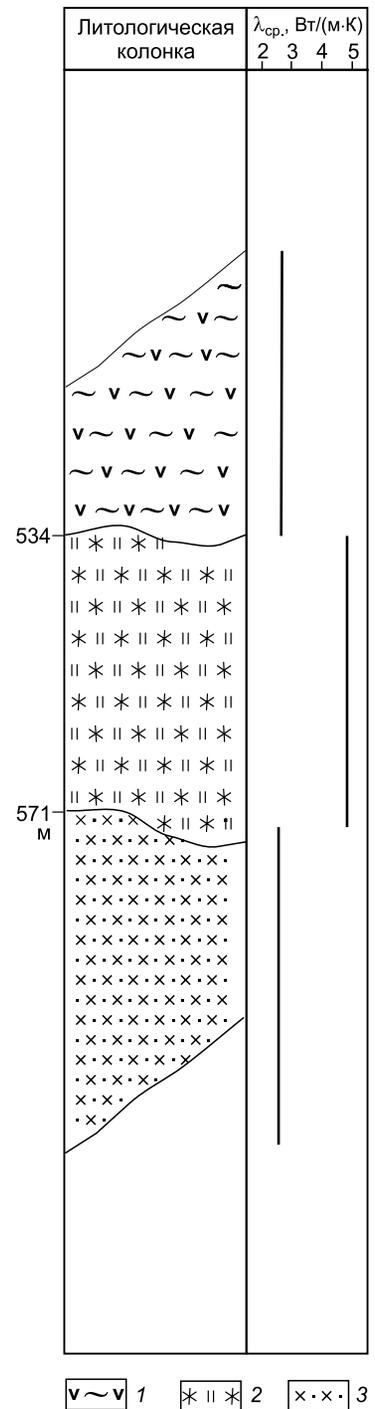
В табл. 2 показана связь теплопроводности со степенью метасоматических изменений пород. Самой высокой изменчивостью теплопроводности отличаются турмалин-кварцевые метасоматиты (2.98—4.47 Вт/(м·К)), зоны Новогодняя, Делювиальная).

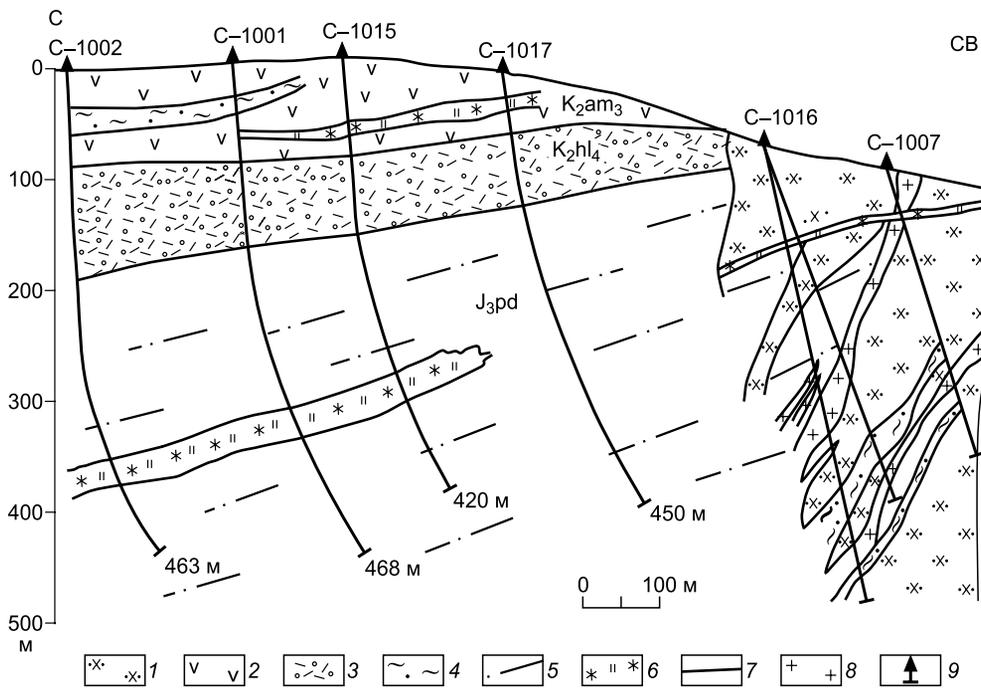
Относительно низкие значения  $\lambda_{cp}$  (2.62—2.98 Вт/(м·К)) соответствуют породам, где сохранилось около 40 % реликтов исходной породы. Структура этих пород реликтовая, гипидиоморфно-зернистая, участками гранобластовая. Реликты исходной породы представлены сильно измененными полевыми шпатами, причем плагиоклаз почти не сохранился (замещен кальцитом и мусковитом). В породах значительно проявлен процесс окварцевания и турмалинизации. Кварц образует идиометричные зерна до 2 мм (порфиробласты), кроме того, мелкие выделения кварца отмечаются и в основной массе породы (замещают полевые шпаты). Вместе с кварцем развивается темноокрашенный турмалин, который также замещает полевые шпаты и проникает по трещинам в кварц. К участкам развития турмалина приурочены зерна и кристаллы циркона, апатита, рудного минерала, кальцита. Мусковит активно замещает плагиоклаз исходной породы, цементирует и корродирует кварц.

Теплопроводность пород, где сохранилось около 10—15 % реликтов исходной породы, изменяется в пределах 3.07—3.44 Вт/(м·К), структура пород гранобластовая, участками лепидобластовая. Кварц образует крупные (до 2 мм и более) зерна и их скопления, активно замещает полевые шпаты исходной породы. Турмалин образует зерна неправильной формы и скопления, развивается по полевым шпатам, цементирует кварц. В породах содержатся: турмалин — 10—15 %, иногда до 20 %, мусковит и кальцит — 5—10—12 %, кварц — 40—45 %.

Высокую теплопроводность имеют сплошные турмалин-кварцевые метасоматиты (3.76—4.47 Вт/(м·К)). Структура гранобластовая, участками немато- и лепидобластовая. Порода состоит из кварца — 60—80 %, турмалина — 15—20 %, кальцита — 5—10 %, иногда сульфидов — 5—15 %. По мере увеличения метасоматических изменений пород отмечается закономерное увеличение теплопроводности. Одним из главных факторов, определяющих связь теплопроводности с метасоматическими изменениями данного типа, является содержание кварца в породе, так как кварц имеет высокую теплопроводность (7.67 Вт/(м·К)) по сравнению с другими минералами, входящими в состав этих пород; полевые шпаты — 1.63—2.50, мусковит — 2.88, биотит — 2.10—2.17, карбонат — 3.13—3.34, турмалин — 3.64—4.30 Вт/(м·К) [Horai, 1971; Петрунин, Попов, 1983].

Теплопроводность кварц-серицитовых метасоматитов изменяется от 1.77 до 3.10 Вт/(м·К) при среднем значении 2.49 Вт/(м·К). Пористые, трещиноватые породы характеризуются низкими значениями





**Рис. 4. Геологический разрез по профилю 10 (зоны Новогодняя, Делювиальная).**

1 — диоритовые порфириты, 2 — андезиты и их туфы, 3 — туфы липаритов, 4 — кварцево-серицитовые породы, 5 — песчаники, алевролиты, 6 — минерализованная зона, 7 — границы свит, 8 — граниты, 9 — разведочные скважины.

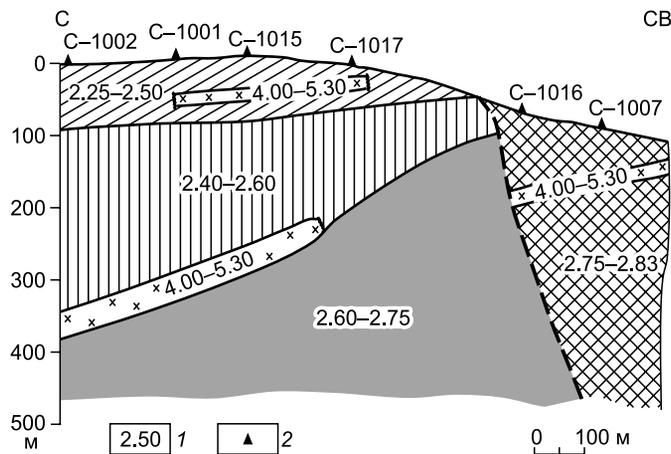
ми  $\lambda_{cp}$  — 2.10 Вт/(м·К), плотные кварц-серицитовые метасоматиты имеют повышенные значения  $\lambda_{cp}$  — 2.76 Вт/(м·К).

Исследования анизотропии осадочных пород, проведенные методом сканирования по керну, позволили установить незначительную степень анизотропии изученных образований: средний коэффициент анизотропии составляет 1.15, у большинства разновидностей не превышает 1.10, но в некоторых случаях достигает 1.20—1.30.

На рис. 2, 3 представлены диаграммы распределения теплофизических параметров по скважинам рудных зон Новогодняя, Делювиальная (скв. 1002) и зона Красивая (скв. 8).

На рис. 2 приведены фрагменты диаграммы распределения параметров  $\lambda_{cp}$  и  $\beta$  образцов по скв. 1002. Осадочно-вулканогенные породы характеризуются относительной стабильностью средних величин коэффициентов теплопроводности и тепловой неоднородности (интервал 68—94 м). В интервале 43—68 м резкий перепад теплопроводности обусловлен, по-видимому, различной пористостью и трещиноватостью кварц-серицитовых метасоматитов. Контакт между юрскими флишоидными отложениями и меловыми осадочно-вулканогенными породами (194 м) более четко выделяется по параметру  $\beta$ , чем по  $\lambda_{cp}$ . Это связано с большей неоднородностью флишоидной толщи по составу, что обусловлено наличием многочисленных прожилков и линз кварцевого, сульфидно- и карбонат-кварцевого состава.

На рис. 3 приведен фрагмент диаграммы распределения  $\lambda_{cp}$  по рудной скв. 8 (зона Красивая). Рудный интервал (534—571 м), представленный турмалин-кварцевыми и



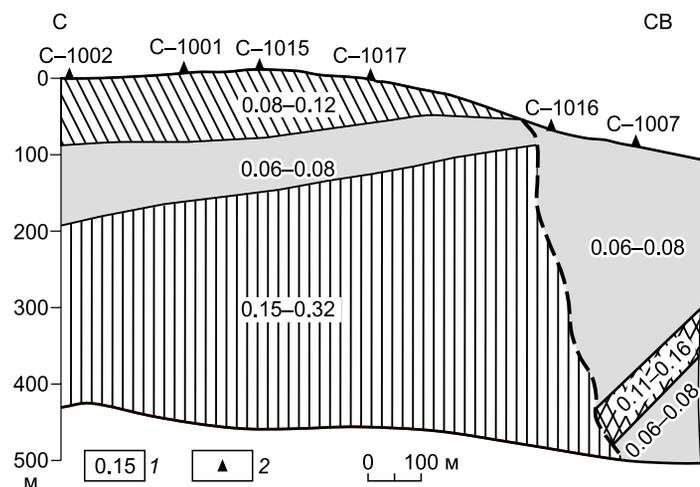
На рис. 3 приведен фрагмент диаграммы распределения  $\lambda_{cp}$  по рудной скв. 8 (зона Красивая). Рудный интервал (534—571 м), представленный турмалин-кварцевыми и

**Рис. 5. Распределение теплопроводности по разрезу профиля 10.**

1 — значение теплопроводности (Вт/(м·К)) различных пород разреза, 2 — положение устья скважин.

**Рис. 6. Распределение коэффициента тепловой неоднородности ( $\beta$ ) по разрезу профиля 10.**

1 — значение коэффициента тепловой неоднородности различных пород разреза; 2 — положения устья скважин.



кварцевыми метасоматитами с вкрапленностью, прожилками и линзами сульфидов, выделяется повышенными значениями теплопроводности (4.50—5.30 Вт/(м·К)). Околорудные зоны, сложенные измененными гранодиорит-порфирами и кварц-полевошпатовыми метасоматитами, характеризуется относительно невысокими значениями  $\lambda_{cp}$  (2.30—3.00 Вт/(м·К)), что дает возможность по этому параметру выделять рудные интервалы.

На рис. 4—6 приведены геологический и теплофизический разрезы по профилю 10 (зоны Новогодня, Делювиальная), построенные по параметрам  $\lambda_{cp}$  и  $\beta$ . Построение включало осреднение значений  $\lambda_{cp}$  и  $\beta$  по скважинам в интервале 20 м с шагом 10 м, что позволило охарактеризовать тепловые свойства пород ( $\lambda_{cp}$ ,  $\beta$ ) в каждом таком интервале.

Распределение  $\lambda_{cp}$  (рис. 5) по разрезу в целом носит спокойный характер с «фоновыми» значениями (2.40—2.60 Вт/(м·К)), отвечающими осадочно-вулканогенным, осадочным и интрузивным породам, характерным для данного района. В северной части разреза хорошо прослеживается вытянутая горизонтально область пониженных значений  $\lambda_{cp}$ , обусловленных меньшей плотностью осадочно-вулканогенных пород. Локальные участки осадочной толщи, обладающие низкими значениями  $\lambda_{cp}$  сложены, по-видимому, наименее измененными породами, чем по разрезу в целом. Кроме того, нельзя исключать влияние тепловой анизотропии пород рассматриваемых участков, связанных с текстурными особенностями осадочных образований. Области повышения  $\lambda_{cp}$  до 2.8 Вт/(м·К) на разрезе отвечают участкам наиболее измененных пород. Недостаточное количество керна в рудной зоне не позволило провести ее представительного теплофизического изучения, однако, как показали результаты исследований аналогичных минерализованных зон, значение  $\lambda_{cp}$  здесь должны составлять 4.0—5.3 Вт/(м·К).

Рассматривая распределение параметра  $\beta$  (см. рис. 6), следует прежде всего отметить более высокую информативность этого параметра по сравнению с  $\lambda_{cp}$ , поскольку контраст по  $\lambda_{cp}$  не превышает 1.3, тогда как  $\beta$  пород изменяется более чем в пять раз.

Меловая осадочно-вулканогенная толща характеризуется значениями  $\beta$ , не превышающими 0.12. Следует отметить уверенное выделение нижнемеловой холдоминской свиты ( $\beta < 0.08$ ), сложенной туфами липаритов и дацитов, и верхнемеловой амутской свиты ( $0.08 < \beta < 0.12$ ), сложенной туфами андезитов. Область со значениями  $\beta < 0.08$  распространяется в северо-восточную часть разреза, где скв. 1016 вскрыта интрузия гранодиорит-порфира.

Область с  $\beta = 0.12—0.16$  в северо-восточной части разреза связана с зонами распространения кварц-серицитовых метасоматитов.

Верхнеюрские осадочные отложения характеризуются повышенными значениями  $\beta = 0.12—0.24$ . Наиболее значительные изменения  $\beta$  отмечаются в осадочных породах на контакте с осадочно-вулканогенной толщей.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, результаты массовых измерений теплопроводности и коэффициента тепловой неоднородности пород по керну, методом оптического сканирования, свидетельствуют о достаточно высокой информативности тепловых свойств, дает возможность получения сразу нескольких теплофизических признаков и обеспечивает хорошую статистическую представительность результатов измерений. Так, при помощи среднеквадратичных отклонений ( $\sigma_1—\sigma_3$ ) параметров ( $\lambda_{max}$ ,  $\lambda_{cp}$ ,  $\lambda_{min}$ ) установлено значительное отличие туфов липаритов от туфов андезитов и алевролитов, аргиллитов, в то время как по теплопроводности  $\lambda_{cp}$  и параметру  $\beta$  эти группы являются однородными, т.е. неразличимыми. При совместном использовании признаков  $\lambda_{cp}$  и  $\sigma_2$ ,  $\lambda_{max}$  и  $\sigma_1$ ,  $\lambda_{min}$  и  $\sigma_3$  разделяются пористые кварц-серицитовые, плотные кварц-серицитовые и турмалин-кварцевые метасоматиты.

Важную информацию о породах и рудах предоставляет коэффициент тепловой неоднородности  $\beta$ , характеризующий изменения теплопроводности в пределах каждого образца, связанный с текстурно-структурными особенностями пород и степенью гидротермально-метасоматических изменений. Как было показано, совместная интерпретация данных измерений теплопроводности и коэффициента тепловой неоднородности позволяет повысить качество литологического расчленения разреза.

Выполненными исследованиями установлена зависимость теплопроводности осадочно-вулканогенных, осадочных и интрузивных пород района от минерального состава и текстурно-структурных особенностей.

Приведенные значения теплопроводности горных пород Комсомольского рудного района дают достаточно надежную характеристику их отдельных разновидностей. Эти данные можно использовать при региональных оценках геотермического режима, обобщенных расчетах тепловых полей, теоретической оценке аномальных тепловых эффектов.

В заключении автор считает своим долгом выразить глубокую благодарность Ю.А. Попову, Р.А. Ромушкевич за многочисленные консультации по техническим и методическим вопросам, за ознакомление с рукописью, критическое обсуждение и конструктивные замечания, учтенные в статье.

#### ЛИТЕРАТУРА

**Голованова И.В., Сальманова Р.Ю., Рафикова Ч.Д.** Теплопроводность горных пород глубоких горизонтов западной части Республики Башкортостан // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело», 2012, № 5, с. 192—207.

**Горнов П.Ю., Горошко М.В., Малышев Ю.Ф., Подгорный В.Я.** Геотермические разрезы земной коры области сочленения Центрально-Азиатского и Тихоокеанского поясов и смежных платформ // Геология и геофизика, 2009, т. 50 (5), с. 630—647.

**Дорофеева Р.П.** Теплопроводность земной коры Юго-Восточной Сибири // Геология и геофизика, 1986 (10), с. 85—94.

**Дучков А.Д., Соколова Л.С., Аюнов Д.Е., Злобин О.Н.** Теплопроводность пород осадочного чехла арктической части Западной Сибири // Геология и геофизика, 2013, т. 54 (12), с. 1952—1960.

**Дучков А.Д., Соколова Л.С., Родякин С.В., Черныш П.С.** Зависимость теплопроводности пород чехла Западно-Сибирской плиты от влажности и пористости // Геология и геофизика, 2014, т. 55 (5—6), с. 991—1000.

**Калинин А.Н., Соколова Л.С., Дучков А.Д., Черепалов В.Я.** Исследования теплового компаратора применительно к измерениям теплопроводности горных пород // Геология и геофизика, 1983 (3), с. 116—122.

**Коростелев П.Г., Радкевич Е.А., Кокорин А.М., Гоневчук В.Г., Миронюк А.Ф., Потапьев С.В.** Хингано-Охотская складчатая система (Комсомольский район) // Глубинное строение и особенности металлогении юга Дальнего Востока / Ред. Е.А. Радкевич. М., Наука, 1984, с. 51—56.

**Петрунин Г.И., Попов В.Г.** Тепловые свойства кварцсодержащих интрузивных горных пород // Изв. АН СССР, Физика Земли, 1983, № 3, с. 75—81.

**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. 87—93.

**Попов Ю.А., Ромушкевич Р.А., Коростелев В.М., Прияткин А.А.** Теплофизическое изучение разреза колчеданно-полиметаллического месторождения Восточный Джимидон (Северная Осетия) // Изв. вузов, Геология и разведка, 1985, № 7, с. 74—82.

**Соколова Л.С., Акимцев В.А.** Теплопроводность горных пород Морянихинского рудопроявления Енисейского кряжа // Геология и геофизика, 1989 (3), с. 126—130.

**Соколова Л.С., Моисеенко У.И., Дучков А.Д.** Тепловые свойства пород центральных районов Алтае-Саянской области // Геология и геофизика, 1973 (2), с. 101—102.

**Федорова А.Б., Голованчикова О.А., Ромушкевич Р.А., Фивег С.М.** Использование теплофизического анализа для геолого-технического картирования железистых кварцитов Михайловского месторождения КМА // Советская геология, 1988, № 2, с. 33—37.

**Norai K.** Thermal conductivity of rock-forming minerals // J. Geoph. Res., 1971, v. 76, № 5, p. 1278—1308.