

В результате проведенных исследований описан ветровой режим района метеостанций Березово и Толька, основанный на инструментальных данных за последние 48 лет. Выявлено уменьшение среднегодовой и среднемесячной скорости ветра на обеих метеостанциях и увеличение повторяемости северо-восточных, юго-восточных, юго-западных и северо-западных направлений ветра для метеостанций, кроме того, установлено увеличение повторяемости штилей для метеостанции Березово по всем месяцам. Полученные результаты можно использовать при оценке изменения водного баланса нижнего течения р. Оби.

#### Литература

1. Бендат Дж., Пирсол А. Прикладной анализ случайных данных. – 1989. – 546с.
2. Дроздов О.А., Васильев В.А., Кобышева Н.В., и др., Климатология. – Ленинград: Гидрометеиздат – 1989. – 568 с.
3. Гидрогеология СССР. Т. XVI. Западно-Сибирская равнина (Тюменская, Омская, Новосибирская и Томская области) под ред. А.В. Сидаренко. – М.: Недра, 1970. – 368с.
4. Российский гидрометеорологический портал. [Электронный ресурс]. – URL: <http://meteo.ru/>
5. Национальный атлас России, Экология и природа. Т. 2. [Электронный ресурс]. – URL: <http://национальныйатлас.рф/>
6. J. Rapp, Ch.-D. Schönwiese Atlas der Niederschlags- und Temperaturtrends in Deutschland 1891-1990 // Frankfurter Geowissenschaftliche Arbeiten: Serie B Meteorologie und Geophysik. – Frankfurt a. – М., 1996. – Band 5. 255 s

### ГЕОТЕРМОМЕТРИЯ ТЕРМАЛЬНЫХ ВОД ПРИРОДНОГО КОМПЛЕКСА ТАРЫС, ТУВА А.В. Шестакова

Научный руководитель доцент Н.В. Гусева

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

Одной из важнейших проблем исследования в России и мире является изучение особенностей формирования природных водных ресурсов. К наиболее сложным по происхождению, особенностям состава и способам использования относятся термальные воды, циркулирующие в геотермальных системах. Геотермальный флюид активно участвует в рудо- и минералообразовании, а также считается наиболее перспективным альтернативным источником энергии. Определение перспективности использования гидротермальных систем, а также оценка теплового состояния недр, возможна с помощью установления величины глубинных температур гидротерм. Температура подземных вод, влияющая на взаимодействие водного раствора с минералами горных пород, выступает основным параметром геотермальной системы и относится к факторам формирования подземных вод. В связи с этим, изучение температур гидротерм представляет огромный научный и практический интерес.

В разное время работы по изучению термальных вод Байкальской рифтовой зоны проводили Ломоносов И. С. (1974), Лысак С. В. (1976), Поляк Б. Г. (1992), Замана Л. В. (2000), Плюснин А. М. (2000), Голубев В. А. (2007), Шварцев С. Л. (2015) и др. Изучением глубинных температур занимались Бадминов П. С., Оргильянов А. И., Ганчимэг Д. (2011), Рычковой К. М., Дучковым А. Д., Лебедевым В. И., Каменским И. Л. и др. (2007, 2010) проведены работы по исследованию распределения изотопного отношения гелия в минеральных источниках Тувы для оценки теплового потока на участках, а также проведены расчеты мощностей термической литосферы и температур в земной коре геотермическим методом [2]. В работах Поляка Б. Г. (1994, 1999) отражены материалы по изотопии и тепломассопотоку флюидов для Байкальской рифтовой зоны и Монголии.

Одним из проявлений геотермальных вод в Восточной Туве являются термальные источники природного комплекса Тарыс, расположенные в отрогах Прихубсугульского нагорья в устье ручья Аржаанец, на абсолютной отметке 1940 м [1]. В летний сезон на Тарыс приезжают местные жители и туристы для стихийного лечения. Наличие крупного разлома субмеридионального простирания вдоль контакта мраморизованных известняков верхнего протерозоя и нижнепалеозойских гранитов, а также трещиноватость пород, обусловило возникновение термальных источников.

Целью работы является изучение теплового состояния геотермальной системы природного комплекса Тарыс.

Источники Тарыса, имеющие температуру на поверхности до 50 °С, представляют собой геотермальную систему и формируются в результате глубокой циркуляции вод и их нагревании в региональном тепловом поле. Величина теплового потока на территории Тарыса, согласно изотопно-гелиевой оценке, составляет 68 мВт/м<sup>2</sup>, что свидетельствует об аномальном прогревании недр Восточной Тувы [2]. Опробование родников Тарыса проводилось в 2012 г. под руководством Ч. К. Ойдуп, а в 2013 году работы по изучению вод велись К. Д. Аракчаа. В работе использовались результаты химического анализа 19 термальных родников, с измеренной температурой воды на поверхности от 30 до 48 °С. Данные получены при полевых работах Н.В. Гусевой и Ю.Г. Копыловой в 2015 г.

Анализ химического состава вод, наличие данных о распределении теплового потока на территории, позволяет выполнить прогноз глубинных температур резервуара в геотермальных системах с помощью расчетов различных геохимических геотермометров. Растворенный кремний и определенные катионные отношения в глубинных водах, испытывающие длительное взаимодействие с породой, обычно контролируются температурно-зависимыми реакциями между минералами и циркулирующим флюидом. Применение геотермометров предполагает достижение химического равновесия в геотермальной системе [3].

Выбор геотермометров зависит от геологических условий, доминирующих процессов в образовании геотермальных флюидов и характера восхождения вод. Учитывая, что термальные воды находятся в равновесии с минералами Na и K [4], поэтому Na-K геотермометры дадут обоснованные оценки равновесных температур. Поскольку Na-K геотермометры изменяются относительно медленно в холодной среде, которая встречается с теплыми водами при их подъеме, и не сильно влияет на смешение с грунтовыми водами, это указывает на температуры глубинного равновесия.

Для расчетов были использованы Na-K геотермометры, предложенные Arnorsson и др. (1983), Arnorsson и др. (1998), Truesdell (1976), Fournier (1979) [5]. Формулы этих геотермометров приведены ниже.

$$T = \frac{856}{0,857 + \log\left(\frac{Na}{K}\right)} - 273,15, \text{ Truesdell (1976), где Na, K в мг/л;}$$

$$T = \frac{1217}{1,438 + \log\left(\frac{Na}{K}\right)} - 273,15, \text{ Fournier (1979), где Na, K в мг/л;}$$

$$T = \frac{933}{0,993 + \log\left(\frac{Na}{K}\right)} - 273,15, \text{ Arnorsson и др. (1983), где Na, K в мг/л;}$$

$T = 733,6 - 770,551 * \log\left(\frac{Na}{K}\right) + 378,189 * \log\left(\frac{Na}{K}\right)^2 - 95,753 * \log\left(\frac{Na}{K}\right)^3 + 9,544 * \log\left(\frac{Na}{K}\right)^4$ , где Na, K в моль/л, Arnorsson и др. (1998).

По температуре формирования вод и геотермическому градиенту региона определялась глубина формирования вод. Значение геотермического градиента равно 27,2 °С/км исходя из того, что средняя теплопроводимость метаморфических и магматических пород в горных районах южной Сибири – 2,5 Вт/м °С, а значение теплового потока для Тарыса – 68 мВт/м<sup>2</sup> [2]. В таблице представлены температуры и глубины формирования гидротерм, рассчитанные с помощью геотермометров для Тарыса.

Результаты расчетов геотермометров показывают, что глубинные температуры варьируются от 78 до 164 °С, при этом максимальные резервуарные температуры показал геотермометр Fournier (1979), в то время как остальные температуры оказались ниже на 17 – 50 °С. Самые низкие температуры были получены по формуле Truesdell (1976) – около 85 °С. Близкие значения температур показал расчет по Arnorsson (1983) – 96 °С. В среднем разница между остальными геотермометрами составляет 30 °С. Различие температур может быть связано с отсутствием равновесия между раствором и минералами или в результате реакций смешения с холодными водами или дегазации при их восхождении [6].

С учетом полученных глубинных температур, диапазон глубин формирования гидротерм Тарыса варьируется от 2,9 км до 6 км, в среднем составляет 4 км.

Таблица

Глубинные температуры в резервуаре, рассчитанные с помощью Na-K геотермометров

№ Родника	T (°C) на поверхности	Truesdell (1976), °C	hфор, км	Fournier (1979), °C	hфор, км	Arnorsson и др. (1983), °C	hфор, км	Arnorsson и др. (1998), °C	hфор, км
1	48	78	2,9	130	4,8	90	3,3	113	4,2
2	43	80	2,9	132	4,9	92	3,4	114	4,2
3	45	80	2,9	132	4,9	92	3,4	114	4,2
4	47	80	2,9	132	4,9	92	3,4	114	4,2
5	47	82	3,0	134	4,9	94	3,5	116	4,3
6	48	78	2,9	130	4,8	90	3,3	113	4,2
7	47	83	3,1	135	5,0	94	3,5	116	4,3
8	45	81	3,0	132	4,9	92	3,4	114	4,2
9	30	85	3,1	137	5,0	96	3,5	118	4,3
10	21	89	3,3	140	5,1	100	3,7	121	4,4
11	20	115	4,2	164	6,0	126	4,6	143	5,3
15	46	81	3,0	132	4,9	92	3,4	114	4,2
16	25	93	3,4	143	5,3	104	3,8	124	4,6
17	34	81	3,0	133	4,9	92	3,4	115	4,2
18	43	84	3,1	136	5,0	95	3,5	117	4,3
20	32	99	3,6	150	5,5	110	4,0	130	4,8
21	30	79	2,9	131	4,8	90	3,3	113	4,2
22	36	78	2,9	130	4,8	89	3,3	112	4,1
23	37	88	3,2	139	5,1	99	3,6	121	4,4
Среднее	38,1	84,9	3,1	136,4	5,0	96,3	3,5	118,0	4,3

Таким образом, наличие высокого уровня теплового потока в регионе является главным источником тепла для термальных вод, при условии, что они достигают глубин не менее 3 км. В целом, результаты

геотермометрии показали, что термальные воды Тарыса, достигающие температур 100 °С за счет нагрева просачивающейся воды по трещиноватым породам, являются перспективными альтернативным источником энергии.

*Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты № 16-35-00324 и № 14-05-00243).*

#### Литература

1. Пиннекер Е.В. Минеральные воды Тувы. – Кызыл: Тувинское книжное издательство. – 1968. – 105 с.
2. Дучков А.Д., Рычкова К.М., Лебедев В.И., Каменский И.Л., Соколова Л.С. Оценки теплового потока тувы по данным об изотопах гелия в термоминеральных источниках // Геология и геофизика. – 2010. – Т. 51. – № 2. – С. 264 – 276.
3. Anwar A. El-Fiky Hydrogeochemistry and Geothermometry of Thermal Groundwater from the Gulf of Suez Region, Egypt // JKAU: Earth Sci. – 2009 – Vol. 20 – No. 2 – pp: 71 –96.
4. Гусева Н.В., Копылова Ю.Г., Хващевская А.А. Исследование насыщенности термальных вод вторичными минералами (на примере природного комплекса Тарыс, Тува) // Современные проблемы гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии Евразии: Материалы Всероссийской конференции с международным участием с элементами научной школы. Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск, 2015. – С. 400 –404.
5. Chelnokov G. Interpretation of geothermal fluid compositions from Mendeleev volcano (Kunashir, Russia) // Report of the United Nations University GTP, Reykjavik. – 2004. – P. 57 –82.
6. Maria Ines Magaua Burgos Geochemical interpretation of thermal fluid discharge from wells springs in Berlin geothermal field, El Salvador // Report of the United Nations University GTP, Reykjavik. – 1999. – P. 165 –191.