

**GEOLOGY, GEOPHYSICS AND HYDROCHEMISTRY
OF THE DACHNOYE HYDROTHERMAL DEPOSIT (ITURUP ISLAND)****O.V. Veselov** , **A.I. Kazakov**  , **R.V. Zharkov** 

Institute of Marine Geology and Geophysics, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, 1B Nauki St, Yuzhno-Sakhalinsk 693022, Russia

ABSTRACT. This article provides a geological, geophysical and geochemical description of the Dachnoye hydrothermal deposit (the central part of the Iturup Island, Kuril Islands), located in a zone of the modern tectonomagmatic activity. The results reported in the article describe the detailed thermal and geochemical studies within the deposit. This work presents the sublatitudinal geological and geothermal section of the deposit based on drilling and logging data. A statistical analysis of shallow-depth temperature survey of the deposit in an area of 6 km² (over 1300 measurement points) allowed us to determine the sites where thermal mineral waters reach the surface and to characterize the tectonic features of the deposit area. Regarding the chemical composition of the waters, this area has a promising potential for balneological development.

KEYWORDS: Iturup Island; Dachnoye hydrothermal deposit; thermal survey; statistical analysis; hydrochemistry

FUNDING: The study was supported by the RFBR on the state assignment of the Institute of Marine Geology and Geophysics FEB RAS (project No. 13-05-00544A, "Modern fumarole and hydrothermal activity of volcanoes in the Southern Kuril Islands").



EDN:XTQOQJ

RESEARCH ARTICLE**Correspondence:** Artem I. Kazakov, legn@inbox.ru

Received: December 25, 2025

Revised: February 2, 2026

Accepted: February 13, 2026

FOR CITATION: Veselov O.V., Kazakov A.I., Zharkov R.V., 2026. Geology, Geophysics and Hydrochemistry of the Dachnoye Hydrothermal Deposit (Iturup Island). *Geodynamics & Tectonophysics* 17 (2), 0889. doi:10.5800/GT-2026-17-2-0889

English version: see article page online

ПРОВЕДЕНИЕ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ И ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ГИДРОТЕРМАЛЬНОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ ДАЧНОМ (ОСТРОВ ИТУРУП)

О.В. Веселов, А.И. Казаков, Р.В. Жарков

Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, 693022, Южно-Сахалинск, ул. Науки, 1Б, Россия

АННОТАЦИЯ. В статье дается геолого-геофизическое описание гидротермального месторождения Дачного (центральная часть острова Итуруп, Курильские острова), расположенного в зоне современной тектономагматической активности. Приведены результаты детальных геотермических и геохимических исследований в пределах участка. Представлен субширотный геологический и геотермический разрез участка по материалам бурения и каротажа. Статистический анализ материалов малоуглубинной съемки участка площадью 6 км² (более 1300 пунктов измерений температуры) позволил выделить участки выходов на поверхность минеральных вод с повышенной температурой и охарактеризовать тектонические особенности территории месторождения. Химический состав вод перспективен для бальнеологического использования.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: остров Итуруп; гидротермальное месторождение Дачное; термосъемка; статистический анализ; гидрохимия

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Исследование проведено при поддержке РФФИ в рамках госзадания ИМГиГ ДВО РАН (проект № 13-05-00544А, «Современная фумарольная и гидротермальная активность вулканов Южных Курильских островов»).

1. ВВЕДЕНИЕ

Остров Итуруп богат уникальными по своим свойствам гидротермальными месторождениями. Одним из них является Дачное месторождение углекислых кремнистых гидротерм. Этот участок находится в центральной части острова, в 3 км западнее побережья зал. Касатка, в долине руч. Надежда, правого притока р. Высокотравной, примерно в 38 км юго-западнее г. Курильска (рис. 1). Исследования выходов термальных вод по северо-восточному борту долины руч. Надежда начались в 50-х годах прошлого столетия. Описание трех термальных источников участка даны в производственных отчетах Л.Е. Михайлова, В.В. Иванова, О.К. Калишевича, В.Е. Бевза (Центральное фондохранилище Росгеолфонда). Химический состав вод гидротермального месторождения Дачного, определенный по результатам обследований Л.Е. Михайловым, В.В. Ивановым, О.К. Калишевичем, представлен в монографии «Гидротермы Курильских островов» [Markhinin, Stratula, 1977]. По определениям В.В. Иванова источники гидротермального месторождения Дачного по химическому составу отнесены к среднеминерализованным, углекислым, гидрокарбонатно-хлоридным, магниевым, нейтральным водам, аналогичным «Ессентуки-4». Их повышенная температура и высокое содержание метакремниевой кислоты придают этим водам дополнительные лечебные свойства. В связи с перспективными термобальнеологическими характеристиками вод источников по заданию Министерства геологии РСФСР с конца 1970-х годов на гидротермальном месторождении Дачном проводились планомерные геолого-геофизические и гидрогеологические работы, были пробурены в долине руч. Надежда две скважины небольшой глубины (не более 170 м).

Остров Итуруп находится в области современной тектономагматической активности. В его центральной части выделена Осенняя неогеновая вулканотектоническая структура, ограниченная дугообразными сбросами, отчетливо дешифрируемыми по фрагментам концентрического рисунка гидросети. Время формирования структуры оценивается как позднеплиоцен-плейстоценовое. Она сложена в основном вулканокластическими фациями с многочисленными субвулканическими телами и дайками различного состава. Сеть разрывных нарушений отчетливо картируется по резким изменениям в рельефе, прямолинейным участкам речных долин. Разломы сопровождаются зонами дробления с тектоническими брекчиями, зонами милонитизации и зеркалами скольжения. Часто наблюдаются сближенные разрывные дислокации. Плоскости сместителей – крутопадающие. Сдвиговые перемещения не превышают одного километра. Тектоническая активность многих дизъюнктивов не прекращается до настоящего времени, причем современные сейсмодислокации характеризуются в основном левосторонним сбросово-сдвиговым перемещением. Гидротермальное месторождение Дачное, находящееся в центральной части Осенней структуры, расположено в межгорном артезианском бассейне с незначительной мощностью четвертичных отложений, хорошо дренируемых. Разгрузка верхних водоносных горизонтов площади осуществляется в эрозионные врезы долин рек и ручьев. В составе отложений современные эффузивы, пирокластика позднечетвертичного и среднечетвертичного возраста. Согласно принятой схеме стратификации осадочных отложений о-ва Итуруп (рис. 1) осадочно-вулканогенная толща четвертичного возраста подстилается лебединской свитой (N₂-Q₁lb)

позднеплиоцен-раннеплейстоценового возраста. Свита сложена эффузивными и субвулканическими образованиями. В пределах гидротермального месторождения Дачного эта свита распространена ограничено. Прилегающей к ней является парусная свита (N_2pr) плиоценового возраста. В ее составе выделяются туфы андезитов, туффиты андезибазальтов, андезитов, прослойки песчаников, алевролитов. В районе месторождения интенсивно проявляются системы дизъюнктивных нарушений, служащие каналами выхода глубинных минеральных вод, образующих поверхностные термоаномалии.

В 1979 г. в среднем течении руч. Надежда, где наблюдались выходы термальных вод, были пробурены структурные скважины 1-D и 2-D глубиной не более 170 м. Они вывели на поверхность воды с температурой менее 30° . Воды из скважин извергались с сильным напором. В 1980 г. Сахалинская геофизическая экспедиция на площади 10 км^2 гидротермального месторождения Дачного провела геофизические работы: вертикальное электроразведывание (ВЭЗ) и наземную магнитную съемку. Результаты работ были представ-

лены в виде карт исходного и трансформированного магнитного поля, геоэлектрических разрезов.

Магниторазведка позволила картировать интрузивные тела и зоны тектонических нарушений. Положительные аномалии напряженностью до 2000 гамм совпадают с интрузивными телами, в частности с субвулканическим штоком в долине руч. Надежда. Но ряд других аномалий не сопоставлялся с интрузивными телами. Положительная аномалия на западном побережье зал. Касатка была интерпретирована как свидетельство наличия толщи эффузивных осадков. Но по результатам бурения скв. 3-D на этом участке была вскрыта толща осадочно-терригенных отложений. По данным ВЭЗ магнитологи заключили, что при минерализации термальных вод в 4–5 г/л глубинная зона с величиной кажущихся сопротивлений в 10–15 Ом·м должна характеризоваться температурой выше 100°C . Таким образом, были выделены четыре участка перспективных на термальные воды с высокой температурой. Один из них расположен в среднем течении руч. Надежда, где пробурены скважины 1-D и 2-D. Прогнозировалось, что до глубины 425 м находятся воды

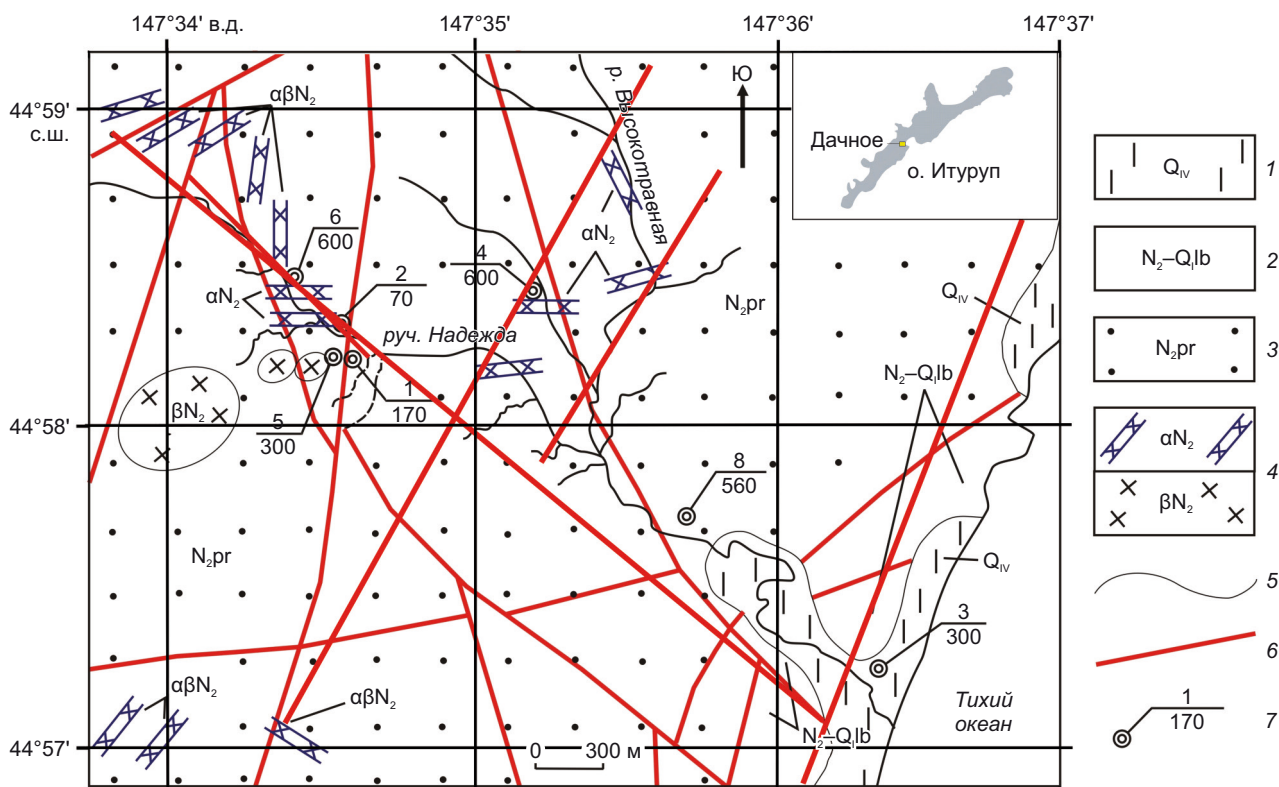


Рис. 1. Расположение гидротермального месторождения Дачного, о. Итуруп (Курильские о-ва). 1 – современные отложения; 2 – верхний плиоцен – плейстоцен (лебединская свита); 3 – средний – верхний плиоцен (парусная свита); 4 – верхнеплиоценовые субинтрузии и дайки андезитов (α), базальтов (β), андезибазальтов ($\alpha\beta$); 5 – границы разновозрастных подразделений; 6 – тектонические нарушения; 7 – гидрогеологические скважины: числитель – номер скважины, знаменатель – глубина скважины (м). На врезке – о. Итуруп и месторождение Дачное.

Fig. 1. Location of the Dachnoye hydrothermal deposit, Iturup Island (Kurils). 1 – recent beds; 2 – Upper Pliocene – Pleistocene (Lebedinsky formation); 3 – Middle-Upper Pliocene (Parusny formation); 4 – Upper Pliocene subintrusions and dykes of andesites (α), basalts (β), andesite-basalts ($\alpha\beta$); 5 – borders of heterochronous subdivisions; 6 – tectonic dislocations; 7 – hydrogeological wells: the numerator is the number of well, the denominator is the depth of the well (m). Inset: Iturup Island and Dachnoye deposit.

с температурой не менее 100 °С. Но проведенное впоследствии бурение на этом и подобных участках по данным термокаротажа показало, что нарастание температуры не превысило 56° на глубине 600 м. Реальные данные свидетельствовали о явном несоответствии прогнозируемым соотношениям минерализации вод и распределения температур по данным ВЭЗ. Низкая эффективность метода ВЭЗ объясняется применением табличных зависимостей минерализации вод и проводимости пород для платформенных структур.

Отрядом Сахалинской гидрогеологической экспедиции под руководством Ю.С. Чабана проведена термосъемка в августе – сентябре 1984 г. с помощью аппаратуры, разработанной О.В. Веселовым (ИМГиГ ДВО АН СССР). Для оценки потенциальных теплоэнергетических и гидроминеральных ресурсов на территории гидротермального месторождения Дачного площадью 6 км² была осуществлена шпуровая малоуглубинная термосъемка.

По данным термосъемки были определены пункты бурения двух поисковых скважин на участке максимальных поверхностных температур в среднем течении руч. Надежда. Во второй половине 1984 г. было проведено бурение на этом участке (скважины 5-D и 6-D) и сопредельных территориях (скважины 3-D, 8-D, 4-D) для определения геологического строения и температурного режима в пределах Осеннего перешейка (рис. 1). Максимальная температура по первой группе вскрыта скважиной 6-D на глубине 596 м и составила 55.6 °С. Во второй группе в скважине 4-D на глубине 589 м температура 50.4 °С. Термограммы всех скважин представлены на рис. 2. Значительные отличия скважин двух групп отмечаются только в верхних интервалах глубин. Термограммы скважин 3-D, 8-D слабоогнутые, с постепенным нарастанием геотемпературного градиента. Распределение температур в скважинах первой группы свидетельствует о восходящем движении подземных вод и характеризуется

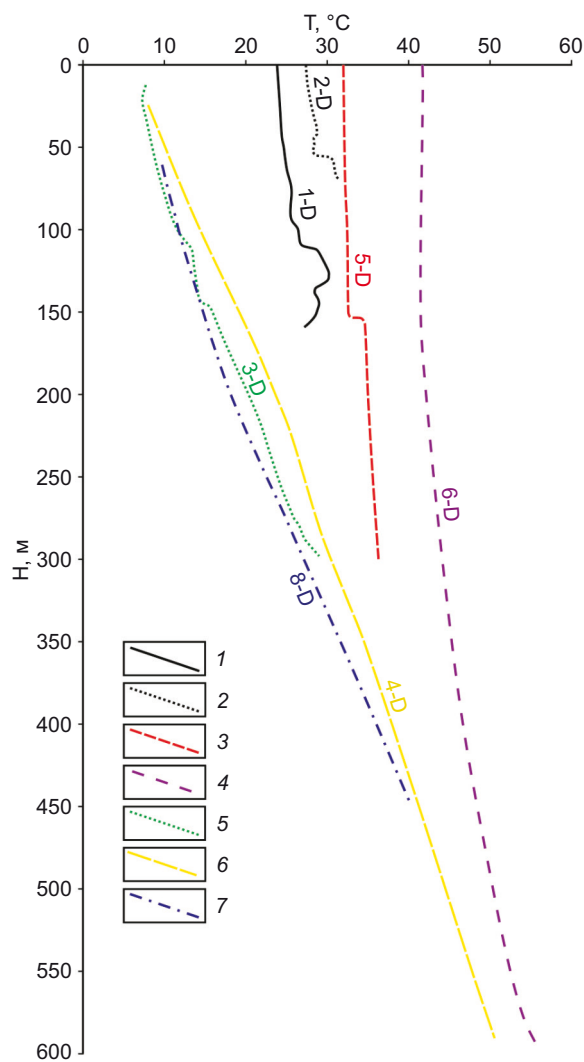


Рис. 2. Термограммы по скважинам месторождения Дачное. 1 – скв. 1-D; 2 – скв. 2-D; 3 – скв. 5-D; 4 – скв. 6-D; 5 – скв. 3-D; 6 – скв. 4-D; 7 – скв. 8-D.

Fig. 2. Thermograms of wells at the Dachnoye deposit. 1 – well 1-D; 2 – well 2-D; 3 – well 5-D; 4 – well 6-D; 5 – well 3-D; 6 – well 4-D; 7 – well 8-D.

незначительным градиентом во вскрытом бурением интервале глубин. Исследование керн скважин 1-D, 5-D, 6-D показало, что вскрыто значительное количество зон дробления и интенсивной трещиноватости пород. В скважине 5-D до глубины 300 м вскрыты 29 зон трещиноватости, в скв. 6-D – 19 зон. Мощность зон дробления и трещиноватости колеблется от десятых долей метра до 4.4 м. Сети трещин образуют системы открытой циркуляции. Ориентировка трещин преимущественно вертикальная ($5-15^\circ$ к оси керн). Апвеллинг термальных вод создал в скважинах 1-D, 5-D и 6-D низкоградиентную зону в верхнем интервале глубин. Так, в скважине 5-D средний геотемпературный градиент равен $1.8^\circ\text{C}/100\text{ м}$ в интервале 0–300 м. В скважинах, расположенных вне площади разгрузки углекислых минеральных вод, средняя величина геотемпературного градиента в интервале глубин 0–200 м равна $4.7^\circ\text{C}/100\text{ м}$. Распределение температур в верхнем интервале глубин по площади участка обусловлено структурным строением площади. Максимальные значения наблюдаются в центральной части сводового поднятия, характеризующейся максимальной степенью открытости трещин и восходящим потоком термальных вод.

Источником тепла на площади, вероятнее всего, является магматический очаг, залегающий на значительной глубине. В результате его активности создано интрузивное тело на правом борту руч. Надежда и многочисленные дайки. Эти дайки в основном расположены вдоль разломной зоны северо-западного простиранья. Для вывода на поверхность термальных вод с температурой более 70°C рекомендуется пробурить скважину глубиной не менее 850 м на участке вулканотектонического поднятия с максимальной системой дробления.

Выбор пунктов бурения рекомендуется определять на основе анализа результатов малоуглубинной термосъемки. Описанию геологического строения, результатов малоуглубинной термосъемки, их интерпретации и гидрохимических исследований месторождения Дачного посвящена данная статья.

2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Практика применения малоуглубинных температурных исследований, наряду с другими поисковыми геофизическими методами, проводимыми на поверхности Земли, такими как электроразведка, малоуглубинная сейсмика, гравиметрия и др., позволяет получать определенные геологические данные без проведения разведочного бурения. К успешным результатам этого метода следует отнести обнаружение глубинных структур, нефтегазовых месторождений, некоторых видов руд, в частности сульфидных, а также тектонических нарушений, геотермальных структур и др. [Chekalyuk et al., 1974; Cheremensky, 1972; Khrebtov, 1965; Lyalko et al., 1979; Parovyshny et al., 2008; Vakin et al., 1986; и др.]. Исследования показали, что глубинные аномалии температур сохраняются до поверхности Земли,

что позволяет выявить их приповерхностной термосъемкой. При этом в приповерхностном распределении температур сохраняются формы залежей углеводородов, глубинных тектонических нарушений, особенности геологических структур. Вынос тепла флюидами при формировании геотермальных зон создает на поверхности хорошо выраженные в плане температурные положительные аномалии с особенно контрастно выделяющимися линейными участками, отмечающими активные разломы. Эти теоретические положения, подкрепленные практическими результатами, явились основанием для постановки малоуглубинной термосъемки на гидротермальном месторождении Дачном.

Анализ различных методик разноуглубинных измерений температуры показал, что оптимальное погружение температурных датчиков составляет 1.5 м, так как на этой глубине отсутствует влияние суточных изменений температуры независимо от состава грунтов и при этом облегчается процесс внедрения датчика на заданную глубину [Chekalyuk et al., 1974]. Однако сезонные колебания температуры проникают на более значительную глубину, и поэтому оптимальным периодом является тот временной интервал года, когда на 1.5-метровой глубине температура достигает максимума и сохраняется относительно постоянной в течение двух-трех недель в областях с муссонным климатом. Согласно данным метеостанции г. Курильска (о. Итуруп), находящейся на высоте 25 м над уровнем моря, максимум температуры на глубине 1.6 м достигается в первой половине сентября и продолжается до второй половины октября. Температура в этот период изменяется в пределах $\pm 0.2^\circ\text{C}$ [Handbook..., 1970, 1981]. В этот оптимальный по методическим условиям период были произведены температурные измерения на гидротермальном месторождении Дачном в шпурах глубиной 1.5 м (рис. 3).

Термосъемка осуществлена на площади, охватывающей среднюю и нижнюю часть долины руч. Надежда, район слияния этого ручья с р. Высокотравной и ее правобережье в пределах Осеннего перешейка (рис. 3, а).

Наблюдения проводились термометрами, в которых в качестве чувствительного элемента использовались терморезисторы типа ММТ-1 с температурным коэффициентом сопротивления $\alpha_T = -4\text{ Ом}/^\circ\text{C}$, отградуированные с точностью $\pm 0.05^\circ\text{C}$. Терморезисторы помещались в титановые трубки длиной 180 см и диаметром 8 мм. В качестве измерителя применялся мост постоянного тока МО-62. На площади отработаны 19 рекогносцировочных профилей длиной от 375 до 3100 м, на трех участках проведены детальные измерения на 45 профилях длиной в среднем по 125 м каждый, отстоящих друг от друга на дистанции от 25 до 50 м. Разбивка сетки пунктов измерения температуры осуществлялась с помощью теодолита с привязкой к триангуляционной сети и последующим определением географических координат точек, по которым сетка наблюдений перенесена на карту масштаба

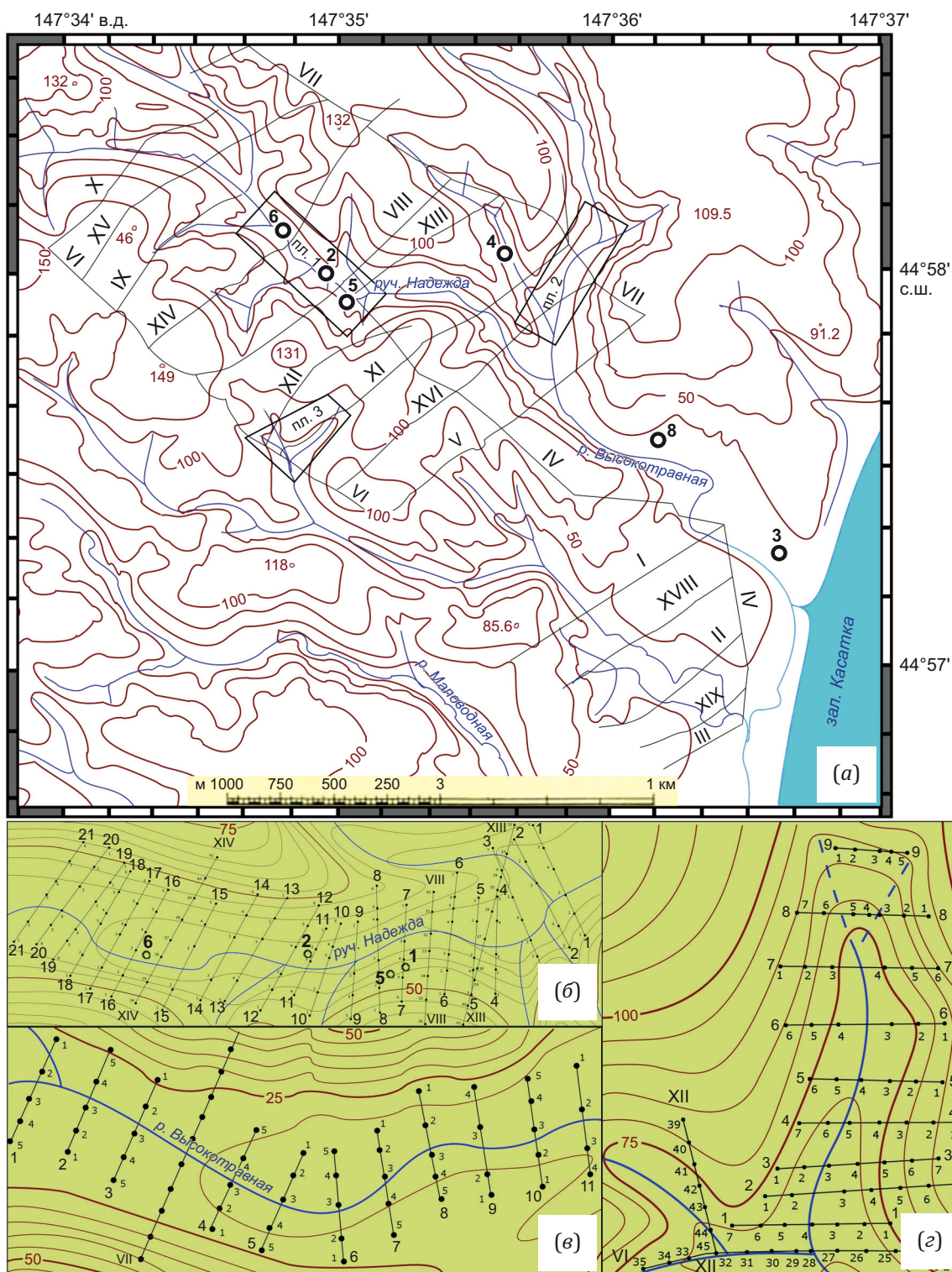


Рис. 3. Малоглубинные термические исследования на площади гидротермального месторождения Дачного. Римскими цифрами обозначены разведочные измерительные профили. Крупными арабскими цифрами обозначены детальные профили, мелкими арабскими цифрами – пикеты, кружками – скважины. Буквами обозначены участки измерений: (а) – района работ, (б) – участок 1, (г) – участок 2, (з) – участок 3.

Fig. 3. Shallow temperature survey in the Dachnoye hydrothermal deposit area. Roman numerals mark the exploration measurement profiles. Large Arabic numerals mark the detailed profiles, small Arabic numerals mark the pickets, and circles mark the wells. Letters mark the measurement sites: (a) – study area, (b) – site 1, (g) – site 2, (z) – site 3.

1:10000. Расстояние между шпурами на профилях – 25 м. Таким образом на детальных участках измерения произведены в основном по сетке 25×25 м, что позволяет представить в плане температурное поле участков на глубине 1.5 м. Общая длина всех профилей – 32650 м. В целом измерения произведены в 1318 пунктах. Построена диаграмма спектра абсолютных частот в выборке температурных данных, полученных при съемке (рис. 4). В 1033 пунктах получены значения температуры в интервале 7.5–9.5 °С, из них в 690 – в интервале 8–9 °С. В 40 пунктах зафиксирована повышенная температура от 12 до 25 °С. Если последние значения исключить из анализа, то температура в интервале 7.5–9.5 °С зафиксирована в 81 % пунктов, что представляет нормальное распределение данных. Средняя температура для них равна 8.5 °С, ее следует принять как фоновую и типичную на глубине 1.5 м для низкогорья перешейка Осеннего в период проведения измерений.

Переходя к анализу результатов массовых измерений температур на гидротермальном месторождении Дачном, необходимо отметить, что на профилях вне зон термопроявлений зафиксированы отдельные скачки температуры. Однако, если осуществляется плотная сетка пунктов измерения температур, то допустима математическая интерпретация по сглаживанию отскоков температурной кривой. В большей части эти скачки вызваны приповерхностными особенностями, в первую очередь рельефными, так как в солнечные дни южные склоны прогреваются сильнее северных. Но на о. Итуруп в его центральной части этот контраст снижается атмосферными осадками и ветрами, что приводит к нивелированию средней температуры на склонах разной ориентации. В зависимости от углов наклона рельефа разница среднемесячных значений не превышает 0.5–1.0 °С. Это наблюдение подтверждается статистической обработкой данных термосъемки. В связи с этим следует привести цитату из работы

[Chekalyuk et al., 1974, с. 63]: «Если существует достаточно плотная сетка точек измерения температуры, то без интерпретации допустима прямая математическая интерполяция и сглаживание зубчатой температурной кривой по принципу усреднения теплофизических свойств покрова Земли».

3. РЕЗУЛЬТАТЫ

На гидротермальном месторождении Дачном в местах выявленных термометрических аномалий были проведены площадные измерения на трех участках (см. рис. 3, а). Первый из них находится в среднем течении руч. Надежда, правого притока р. Высокотравной. Второй участок находится в долине р. Высокотравной, в 675 м выше впадения в нее руч. Надежда. Третий участок располагается в 300 м юго-западнее месторождения Дачного, в 1300 м от устья руч. Надежда. Детальные измерения для выявления природы контрастных изменений температуры осуществлены по системе профилей, отстоящих друг от друга на расстоянии в среднем 25 м. На первом участке выполнены 22 профиля, в среднем по 125 м длиной каждый (см. рис. 3, б). На каждом профиле в среднем по шесть пикетов, расположенных через 25 м. Измерения проведены на 125 пунктах. На участке выявлены две овальной формы зоны повышенной температуры (до 25 °С и выше), расположенные по берегам руч. Надежда и ориентированные в среднем по азимуту 300–310°. На втором участке выполнено 66 измерений на 13 профилях, каждый из которых в среднем длиной 100 м (см. рис. 3, в). На участке выделяется зона относительно повышенной температуры (до 13 °С), ориентированная по азимуту 40–45°. На третьем участке, вытянутом в северо-восточном направлении, выполнены 77 температурных наблюдений, распределенных на 11 профилях, каждый из которых в среднем длиной 150 м (см. рис. 3, г). На участке выделены две зоны незначительно повышенной температуры (до 11.8 °С). Северная зона

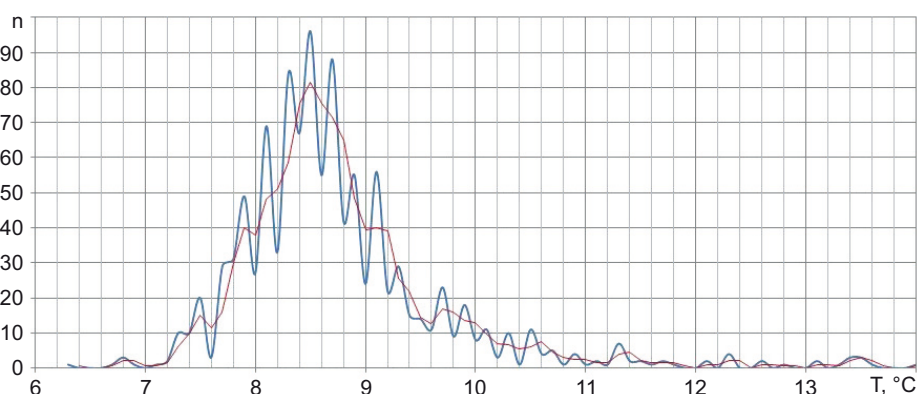


Рис. 4. Спектр абсолютных частот в выборке, произведенной термосъемкой.

Горизонтальная ось – температура (°С), вертикальная – абсолютная частота температур по результатам измерений. Синяя линия – исходный спектр, красная линия – после линейной фильтрации.

Fig. 4. Absolute frequency spectrum sampled during the thermal survey.

Horizontal coordinates are temperatures (°C), vertical coordinates are absolute frequencies of the temperatures according to the measurement results. Blue line marks the initial spectrum, red line depicts the post-linear filtration.

ориентирована по азимуту 70°. Вторая зона является участком пересечения двух узких полос повышенных температур, одна из которых ориентирована по азимуту 40–45°, другая – по азимуту 310°. Выявленные термальные аномалии линейного простирания отмечают выходы на поверхность глубинных термальных вод по разломным зонам. Ориентация аномальных зон температуры обозначает участки региональных разломов северо-западного и северо-восточного направления. При этом разломы северо-восточного направления соответствуют магистральному простиранию оси Большой Курильской гряды. Разломы северо-западного направления являются дизъюнктивами, разделяющими остров на блоки.

Проведенный на первом этапе обработки данных анализ распределения показаний температуры на площади термосъемки позволил сделать следующие заключения. Источники с температурой 8–20 °С создают в плане наибольшие линейно вытянутые зоны разгрузки. Эти зоны с выходами термальных источников прослеживаются на значительные расстояния. На отдельных участках близко расположенные линейные зоны образуют площадную разгрузку. Химический

состав вод этих источников характеризуется как хлоридно-гидрокарбонатный натриевый. Наиболее перспективным объектом для дальнейших поисковых работ являлся участок 1, расположенный в среднем течении руч. Надежда.

Температурный режим месторождения термальных вод формируется эндогенным очагом тепла. Система тектонической трещиноватости над термальным очагом определяет циркуляцию вод в неогеновых и четвертичных отложениях месторождения. Система состоит из множества трещин, сходящихся и пересекающих друг друга. Повышенная температура гидротермальной разгрузки в зонах северо-западного простирания свидетельствует, очевидно, о их более интенсивной тектонической активности в современный период.

По результатам геологических исследований и термосъемки во второй половине 80-х годов были пробурены разведочные скважины в зонах термоаномалий и за их контурами с целью определения геологического строения месторождения Дачного и сопредельных площадей, а также для вывода на поверхность термальных вод. Во вскрытых скважинами толщах

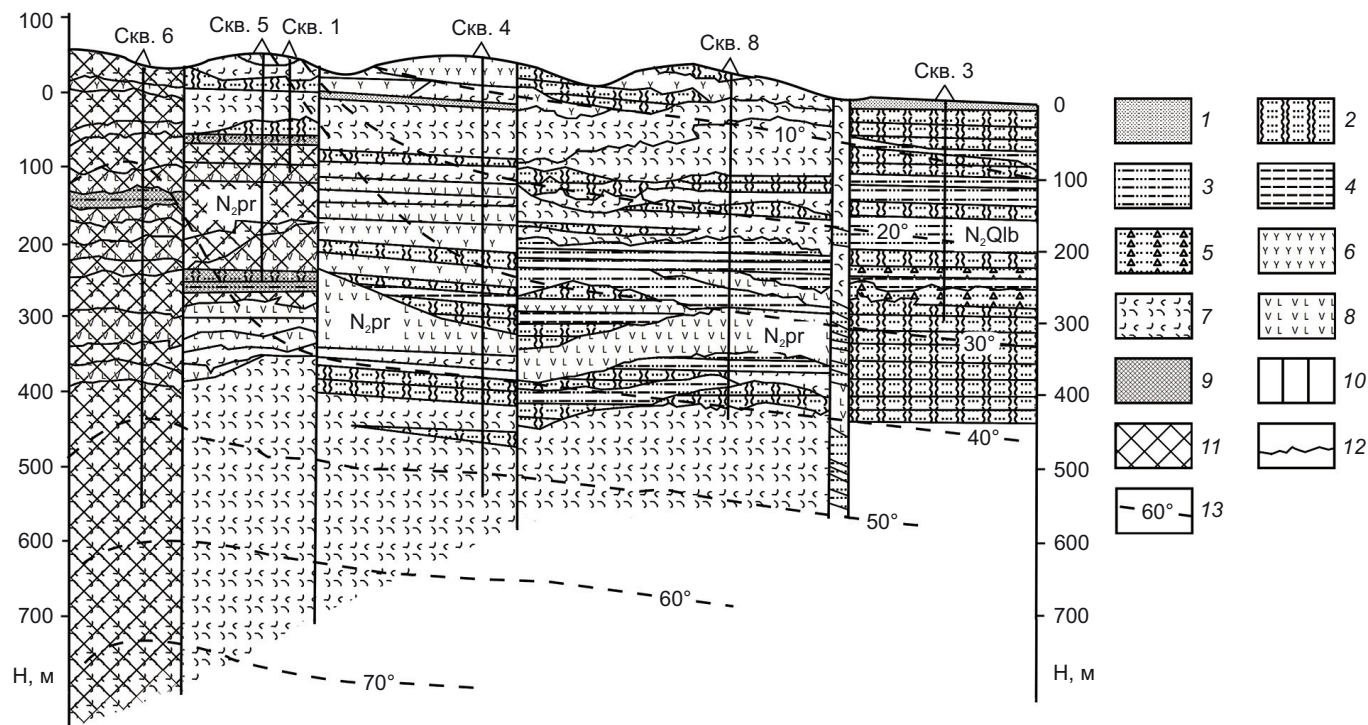


Рис. 5. Геологический и температурный разрезы по субширотному профилю через скважины 3, 8, 4, 5, 1 и 6. Геологический разрез построен по результатам геологической съемки и бурения. Горизонтальный масштаб 1:25000, вертикальный масштаб 1:10000. 1 – вулканомиктовые песчаники; 2 – участки распространения пемзы; 3 – вулканомиктовые алевролиты; 4 – глины; 5 – вулканические брекчии переменного состава; 6 – агломератовые туффиты; 7 – туфы основного и среднего состава; 8 – андезибазальтовые лавы; 9 – зоны милонитизации; 10 – дизъюнктивные нарушения; 11 – зоны трещиноватости пород; 12 – границы несогласия; 13 – изотермы (°С).

Fig. 5. The geological and temperature cross-sections along the sublatitudinal profile running across wells 3, 8, 4, 5, 1 and 6. The geological section is drawn from the geological survey and drilling data. The horizontal scale is 1:25000; the vertical scale is 1:10000. 1 – volcanomictic sandstones; 2 – pumice-containing areas; 3 – volcanomictic aleurolites; 4 – clays; 5 – volcanic breccia of variable composition; 6 – agglomeratic tuффites; 7 – basic and intermediate tuффs; 8 – andesitic-basaltic lavas; 9 – mylonitization zones; 10 – disjunctive dislocations; 11 – fractured zones; 12 – unconformity boundaries; 13 – isotherms (°C).

обнаружено, что на всю глубину бурения (до 600 м) распространены тектонически дробленные породы, особенно на участках температурных аномалий. Распределение температур по вертикали свидетельствует о восходящем движении среднетемпературных терм в пределах участка 1, где кроме ранее пробуренных скважин 1 и 2 были пробурены скважины 5, 6. Этими скважинами были выведены на поверхность в режиме самоизлива углекислые минеральные воды хлоридно-гидрокарбонатного, магний-натриевого состава с температурой на устье от 28 до 44 °С и с дебитом до 50 л/с. Максимальная температура, измеренная в скв. 6 на глубине 596 м, составляла 55.6 °С. За пределами участка термоаномалий на крыльях вулканотектонического поднятия в скважинах, например 3 и 8, пробуренных юго-восточнее участка 1, содержатся щелочные, хлоридные, слабосоленые воды.

Характер распределения температур за контуром термального участка 1 и в его пределах представлен на геолого-геотермическом профиле от скв. 3 до скв. 6 (рис. 5). По результатам анализа разреза, вскрытого скважинами 1, 2, 5, 6, зона участка характеризуется сильной трещиноватостью, дробленностью вулканокластических образований до глубины более 300 м, что обусловило высокую проницаемость, конвективный вынос высокотемпературных минеральных вод и сильный прогрев толщи в интервале глубин 0–400 м.

В 90-х годах поисково-разведочные работы на месторождении Дачном были прекращены. В последующие годы учеными Института морской геологии и геофизики ДВО РАН выполнены гидрохимические и температурные измерения в скважинах.

4. ОБСУЖДЕНИЕ

В связи с возросшим интересом правительственных структур к термоминеральным ресурсам Курильских островов в 2013–2017 гг. сотрудниками ИМГиГ ДВО РАН были проведены работы по оценке современных физико-химических параметров термоминеральных вод островов Кунашир и Итуруп с целью их использования в бальнеотерапии.

4.1. Гидрохимические исследования

В ходе этих работ вновь были осуществлены гидрохимические обследования термальных источников месторождения Дачного [Zharkov, 2014]. Проводился отбор термальных вод, определение значений pH, температуры в скважинах 1 и 5. Портативный pH-метр «HANNA-Ni9025» использовался для измерения значений pH. Полный химический анализ вод из скважин 1 и 5 выполнялся в лаборатории ОАО «Примгеология» по стандартным методикам. Изотопные определения кислорода и водорода в воде выполнены на масс-спектрометре Finigan MAT252 в Дальневосточном геологическом институте ДВО РАН (аналитик Т.А. Веливецкая). Основные анализы спонтанных и растворенных газов выполнены на газовом хроматографе Кристалл Люкс 4000 в лаборатории газогеохимии Тихоокеан-

ского океанологического института ДВО РАН (аналитики Е.В. Коровицкая, О.Ф. Верещагина).

Естественные ресурсы термальных вод месторождения Дачного оценены в количестве 14900 м³/сут, многочисленные термальные источники и скважины имеют относительно небольшой дебит. Опробованные в 2013–2014 гг. скважины 1 и 5 имеют схожие физико-химические характеристики гидротерм. Средняя температура воды скважины 5 на изливе составляет 33 °С (в сентябре 2021 г. – 31.7 °С), дебит – около 50 л/с. Судя по химическому составу, вода относится к субнейтральным (pH 6.5) хлоридно-гидрокарбонатным натриевым гидротермам с высоким содержанием метакриловой кислоты и минерализацией 4.9 г/дм³. В газовом составе воды скважины преобладает диоксид углерода (93 %), а содержание азота достигает 6 %. Химический состав воды из скважины 1, расположенной в 15 м к востоку от скважины 5, практически идентичен химическому составу воды из скважины 5. Температура воды на изливе составляет от 23 до 28 °С, расход – 3 л/с. Вода скважины нейтральная (pH 7.0), хлоридно-гидрокарбонатная натриевая с минерализацией 4.9 г/дм³. По содержанию изотопов водорода и кислорода (δD от –58.8 до –63.2 ‰, $\delta^{18}O$ от –7.5 до –8.7 ‰) термальные воды скважин схожи с метеорными водами Южных Курильских островов (δD = –68.8 ‰, $\delta^{18}O$ = –9.7 ‰), что указывает на то, что гидротермальные воды питаются преимущественно водами атмосферного происхождения [Zharkov, 2014, 2015].

4.2. Статистический анализ термосъемки

Для более точного определения термальных характеристик месторождения Дачного выполнена методика статистического анализа [Davis, 1990] новая обработка материалов термосъемки, проведенной ранее на данной площади [Veselov, Kazakov, 2016]. Была проведена оцифровка данных термосъемки. Результаты всех измерений с указанием профилей и пикетов были занесены в виде трехмерного массива: географические координаты и температура на глубине 1.5 м. Были определены границы выборки по всем трем параметрам, а географические координаты преобразованы в относительные. При первичном анализе данных термосъемки на каждом участке была задана квадратная сетка с шагом 25 м. Для построения изотерм выбран метод сетей, подразумевающий оценку значений изучаемой величины как средневзвешенное значение в ближайших точках. При расчете был избран метод квадрантного поиска для обязательного учета исходных измерений с четырех сторон при условии взятия из каждого квадранта как минимум одной точки. В связи с равенством шага регулярной сети шагу исходной нерегулярной сети среднее количество измерений для оценки значений температуры в узлах квадрантной сети составило 5–7 точек. После оценки значений анализируемого фактора в узлах квадрантной сети проведено перенесение равных значений

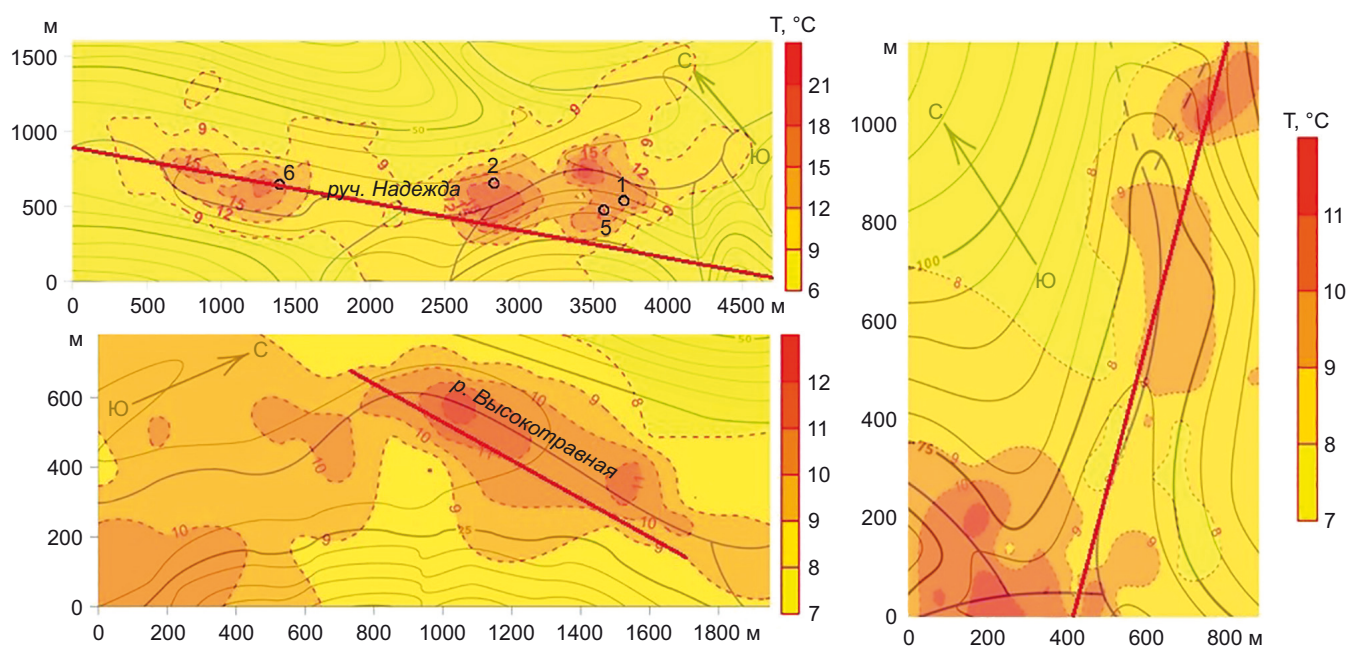


Рис. 6. Температурные карты, построенные для участков детализации. Сплошные линии обозначают изолинии рельефа. Пунктирные линии обозначают изотермы ($^{\circ}\text{C}$). Кружочки обозначают скважины.

Fig. 6. Temperature charts produced for the detailed sites. The solid lines mark the relief isolines. The dashed lines mark the isotherms ($^{\circ}\text{C}$). The circles mark the wells.

фактора на регулярную сеть с условием линейной изменчивости фактора на ребрах квадрантной сети. Для сравнения для обработки данных был применен метод построения изолиний крайгинг [Baikov et al., 2012]. Результаты построения совпали с изложенной выше статистической обработкой данных. В итоге были получены карты распределения температур в изолиниях на всей площади съемки и околонуены зоны температурных аномалий (рис. 6). На карте участка 1 видно, что скважины, пробуренные в его пределах (1, 2, 5, 6), находятся на периферии наиболее высокотемпературных аномалий. Уточненное расположение значений высокой температуры на участке 1 совпадает с результатами измерений температуры в скважинах 5-D и 6-D, где была зафиксирована максимальная температура. Из результатов анализа распределения температур на участках детальной съемки следует, что участки 2 и 3 не являются объектами первоочередных изысканий из-за невысоких температур (не более 12°C), тогда как участок 1, как и несколько десятилетий назад, является самым перспективным для вывода высокотемпературных минеральных вод при возобновлении буровых работ. Температурное поле участка 1 распадается на несколько овально-вытянутых аномалий, цепочка которых обозначает разломную зону северо-западного простирания. Очевидно, что термальные воды в пределах разломной зоны восходят к поверхности несколькими тектонически разделенными струями.

В результате проведенных исследований обосновано применение компьютерной технологии обработки и интерпретации данных малоуглубинной термосъем-

ки, базирующейся на методе внутри- и межпрофильной корреляции. Она позволяет околонуывать зоны повышенных температур в условиях нестационарности исходных данных.

Применение корреляционно-статистических характеристик термосъемки обеспечило получение более точной и детальной информации об особенностях распределения температурных аномалий. Это позволило оценить глубинные уровни высокотемпературных вод, положение активных разломных зон, определить местоположение наиболее перспективных пунктов для вывода на поверхность высокотемпературных минерализованных вод.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование температурной малоуглубинной съемки в зоне современной тектономагматической активности показало ее эффективность при выявлении участков для бурения на вывод термальных вод.

Обработка материалов съемки с применением методов статистического анализа определила более точно границы термоаномалий, что позволяет при возобновлении поисковых работ на месторождении Дачном рекомендовать на бурение высокодебитных скважин перспективные площадки. Описанная методика малоуглубинной термосъемки и обработка ее материалов рекомендованы при картировании термальных полей в зонах современной тектономагматической активности Курильских островов.

Исследованное геолого-геотермическими методами гидротермальное месторождение Дачное является одним из самых перспективных для бальнеологических

целей природным объектом о. Итуруп. Это единственное на Южных Курильских островах место, где выявлены естественные выходы нейтральных термоминеральных вод с содержанием углекислого газа более 90 %, годных для внутреннего и наружного применения.

6. ЗАЯВЛЕННЫЙ ВКЛАД АВТОРОВ / CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку рукописи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

All authors made an equivalent contribution to this article, read and approved the final manuscript.

7. РАСКРЫТИЕ ИНФОРМАЦИИ / DISCLOSURE

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, связанного с этой рукописью.

The authors declare that they have no conflicts of interest relevant to this manuscript.

8. ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Baikov V.A., Bakirov N.K., Jakovlev A.A., 2012. *Mathematical Geology. Vol. 1. Introduction to Geostatistics*. IKI, Izhevsk, 228 p. (in Russian) [Байков В.А., Бакиров Н.К., Яковлев А.А., Математическая геология. Т. 1: Введение в геостатистику. Ижевск: ИКИ, 2012. 228 с.].
- Chekalyuk E.B., Fedortsov I.M., Osadchiy V.G., 1974. *Field Geothermal Investigation*. Naukova Dumka, Kiev, 104 p. (in Russian) [Чекалюк Э.Б., Федорцов И.М., Осадчий В.Г. Полевая геотермическая съемка. Киев: Наукова думка, 1974. 104 с.].
- Cheremensky G.A., 1972. *Geothermy. Nedra, Leningrad*, 272 p. (in Russian) [Череменский Г.А. Геотермия. Л.: Недра, 1972. 272 с.].
- Davis J.S., 1990. *Statistical Data Analysis in Geology. Book 2. Nedra, Moscow*, 429 p. (in Russian) [Дэвис Дж.С. Статистический анализ данных в геологии. М.: Недра, 1990. Кн. 2. 429 с.].
- Handbook on the Climate of the USSR, 1970. *Sakhalin Region. Air and Soil Temperatures. Vol. 34. Part III. Gidrometeoizdat, Leningrad, USSR*, 200 p. (in Russian) [Справочник по климату СССР. Сахалинская область. Температуры воздуха и почвы. Л.: Гидрометеоздат, 1970. Вып. 34. Ч. III. 200 с.].
- Handbook on the Climate of the USSR, 1981. *Addition: Air and Soil Temperature, Air Humidity, Precipitation, Snow Cover, Wind, Cloudiness. Vol. 34. Gidrometeoizdat, Leningrad*, 29 p. (in Russian) [Справочник по климату СССР. Дополнение: Температура воздуха и почвы, влажность воздуха, атмосферные осадки, снежный покров, ветер, облачность. Южно-Сахалинск, 1981. Вып. 34. 29 с.].
- Khrebtov A.I., 1965. *Geothermal Conditions and Thermal Waters of the Central Ciscaucasia*. Nauka, Moscow, 110 p. (in Russian) [Хребтов А.И. Геотермические условия и термальные воды Центрального Предкавказья. М.: Наука, 1965. 110 с.].
- Lyalko V.I., Mitnik M.M., Vulfson L.D., Shportyuk Z.M., 1979. *Geothermal Prospecting for Minerals*. Naukova Dumka, Kiev, 145 p. (in Russian) [Лялько В.И., Митник М.М., Вульфсон Л.Д., Шпортюк З.М. Геотермические поиски полезных ископаемых. Киев: Наукова думка, 1979. 145 с.].
- Markhinin E.K., Stratula D.S., 1977. *Geotherms of the Kuril Islands*. Nauka, Moscow, 212 p. (in Russian) [Мархинин Е.К., Стратула Д.С. Геотермы Курильских островов. М.: Наука, 1977. 212 с.].
- Parovyshny V.A., Veselov O.V., Senachin V.N., Kirienko V.S., 2008. *Time Variations in the Geophysical Fields Above a Gas Field on Sakhalin Island*. *Russian Journal of Pacific Geology* 2 (4), 283–293. <https://doi.org/10.1134/S1819714008040015>.
- Vakin E.A., Lyalin G.N., Rozhkov A.M., 1986. *Soil-Gas and Thermometric Survey*. In: *Geothermal and Geochemical Studies of High-Temperature Hydrotherms*. Nauka, Moscow, p. 78–108 (in Russian) [Вакин Е.А., Лялин Г.А., Рожков А.М. Почвенно-газовая и термометрическая съемка // Геотермические и геохимические исследования высокотемпературных гидротерм. М.: Наука, 1986. С. 78–108].
- Veselov O.V., Kazakov A.I., 2016. *Thermal Field Modeling in the Zones of Up-to-Date Tectonic and Magmatic Activity According to the Results of Shallow Temperature Survey*. *Problems of Subsoil Management* 3, 40–47 (in Russian) [Веселов О.В., Казаков А.И. Моделирование термального поля в зонах современной тектоно-магматической активности по результатам малоуглубинной термосъемки // Проблемы недропользования. 2016. № 3. С. 40–47]. <https://doi.org/10.18454/2313-1586.2016.03.040>.
- Zharkov R.V., 2014. *Thermal Springs of the South Kuril Islands*. *Dal'nauka, Vladivostok*, 378 p. (in Russian) [Жарков Р.В. Термальные источники Южных Курильских островов. Владивосток: Дальнаука, 2014. 378 с.].
- Zharkov R.V., 2015. *Dachnoye Deposit of Thermomineral Water (Iturup Island, Kuril Islands)*. In: *Geodynamic Processes and Natural Disasters. Neftegorsk Experience. Proceedings of the All-Russian Scientific Conference with International Participation: Collection of Materials (Yuzhno-Sakhalinsk, May 26–30, 2015)*. Vol. 2. *Dal'nauka, Vladivostok*, p. 221–224 (in Russian) [Жарков Р.В. Дачное месторождение термоминеральных вод (о. Итуруп, Курильские острова) // Геодинамические процессы и природные катастрофы. Опыт Нефтегорска: Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием (Южно-Сахалинск, 26–30 мая 2015 г.). Владивосток: Дальнаука, 2015. Т. 2. С. 221–224].