

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ МОРСКОЙ ГЕОЛОГИИ И ГЕОФИЗИКИ
ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО ОТДЕЛЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

**FEDERAL STATE BUDGETARY ESTABLISHMENT OF SCIENCE
INSTITUTE OF MARINE GEOLOGY AND GEOPHYSICS
FAR EASTERN BRANCH
RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES**



Rafael V. ZHARKOV

**THERMAL SPRINGS OF
THE SOUTH KURIL ISLANDS**



**Vladivostok
Dalnauka
2014**

**Рафаэль Владимирович
ЖАРКОВ**

**ТЕРМАЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ
ЮЖНЫХ КУРИЛЬСКИХ
ОСТРОВОВ**



**Владивосток
Дальнаука
2014**

УДК 556.11+911

Ж 352

Жарков Р.В.

Термальные источники Южных Курильских островов [Текст] / Р.В. Жарков; отв. ред. д.г.-м.н. О.В. Чудаев. – Владивосток: Изд-во Дальнаука, 2014. – 378 с.

ISBN 978-5-8044-1500-7

В монографии представлены результаты исследований термальных источников Южных Курильских островов. Приводятся данные о физико-химических особенностях термальных вод региона, на основе которых автором выделено тринадцать гидрохимических типов по кислотности, газовому и химическому составам. Рассматриваются вопросы современного рационального использования термальных вод в социально-экономической деятельности региона. Особый акцент в работе делается на перспективы развития рекреации и туризма на базе термальных проявлений Южных Курильских островов.

Издание предназначено для специалистов, занимающихся исследованием термальных вод областей активного вулканизма, а также для широкого круга читателей.

384 рисунка, 378 страниц, 29 таблиц, 277 литературных источников, 2 приложения.

Ключевые слова: вулкан, термальный источник, гидротермы, лечебные грязи, бальнеотерапия, Кунашир, Итуруп.

Рецензенты: к.г.-м.н. А.В. Рыбин, к.г.-м.н. О.В. Веселов.

Печатается по решению Ученого совета
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения
Российской академии наук.
Россия, 693022, Южно-Сахалинск, ул. Науки, 1Б; e-mail: nauka@imgg.ru

UDC 556.11+911

Zh 352

Zharkov R.V.

Thermal springs of the South Kuril islands [Text] / R.V. Zharkov; edited by O.V. Chudaev. – Vladivostok: Dalnauka, 2014. – 378 p.

ISBN 978-5-8044-1500-7

The results of the researches of thermal springs in the Southern Kurile Islands are given in this book. Data about physical-chemical features of thermal waters of the region are shown on the base of which the author has distinguished thirteen hydrochemical types on acidity, gas and chemical compositions. The questions of modern rational usage of thermal waters in social-economical activity of the region are considered. The especial attention in the work is made on the perspectives of development of recreation and tourism on the base of thermal manifestations in the Southern Kurile Islands.

The publication is intended for the specialists investigating the thermal waters in the areas of active volcanism and non-specialist audiences.

384 figures, 378 pages, 29 tables, 277 references, 2 appendix.

Keywords: volcano, thermal spring, hydrotherms, therapeutic mud, balneotherapy, Kunashir, Iturup.

Reviewers: A.V. Rybin, O.V. Veselov.

The book is published according to a decision of the
Scientific Council of the Institute of Marine Geology&Geophysics,
Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences.
Russia, 693022, Yuzhno-Sakhalinsk, Nauki Str. 1B; e-mail: nauka@imgg.ru

© Жарков, 2014

© Дальнаука, 2014

© ИМГиГ ДВО РАН, 2014

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	7
Глава 1. Основные направления и методы изучения гидротерм	9
1.1. Основные определения и понятия	9
1.2. Изученность и методические подходы при исследовании гидротерм	11
Глава 2. Природные особенности Южных Курильских островов	17
2.1. Географическое положение	17
2.2. Геологическое строение и тектоника	17
2.3. Рельеф	21
2.4. Климат и внутренние воды	22
2.5. Гидрогеологическое строение района	23
2.6. Специфика почв, флоры и фауны	25
Глава 3. Распространение, состав и типизация термальных вод Южных Курил	28
3.1. Гидротермы острова Кунашир	28
3.1.1. Гидротермы северной части Кунашира	28
3.1.2. Гидротермы центральной части Кунашира	49
3.1.3. Гидротермы южной части Кунашира	85
3.2. Гидротермы острова Итуруп	119
3.2.1. Гидротермы северо-восточной части Итурупа	121
3.2.2. Гидротермы центральной части Итурупа	126
3.2.3. Гидротермы южной части Итурупа	238
3.3. Гидрохимические типы термальных вод исследуемого района и особенности окружающих их ландшафтов	249
Глава 4. Влияние сольфатарных газов и термальных вод на компоненты ландшафтов	254
4.1. Влияние сольфатарных газов и термальных вод на ландшафты денудационных сольфатарных полей и верховьев рек и ручьев	255
4.2. Влияние термальных вод на ландшафты долин средних течений рек и ручьев	264
4.3. Влияние термальных вод на ландшафты долин нижних течений рек и ручьев	269
4.4. Влияние термальных вод на ландшафты побережий	273
4.5. Влияние термальных вод на ландшафты прибрежных аккумулятивно-денудационных равнин	274
4.6. Влияние деятельности геотермальных электростанций на окружающие ландшафты	275
Глава 5. Перспективы использования термальных вод в хозяйстве региона	282
5.1. Применение гидротерм в промышленности и сельском хозяйстве	283
5.1.1. Использование парогидротерм в электроэнергетике и теплофикации	283
5.1.2. Перспективы извлечения химических элементов из продуктов сольфатарно-гидротермальной деятельности вулканов	287
5.2. Перспективы развития рекреации и туризма на базе термальных проявлений	290

5.2.1. Перспективы развития лечебно-оздоровительного туризма	294
5.2.2. Возможности развития спортивно-экстремального туризма	300
5.2.3. Перспективы экологического туризма на базе термоявлений	303
5.2.4. Перспективы развития научного туризма.....	305
5.2.5. Оценка приоритетности использования термоявлений Южных Курильских островов в рекреационно-туристской деятельности	306
Заключение	323
Литература	325
Приложения	339

ВВЕДЕНИЕ

В начале прошлого века началось интенсивное исследование гидротерм, в первую очередь, с целью их практического использования. На Южных Курилах еще японские поселенцы стали активно применять термальные воды в бальнеотерапевтических целях, а также добывать серу с сольфатарных полей для нужд химической промышленности. В этот период изучение гидротерм японскими учеными носило больше прикладной характер, тем не менее, появились первые геохимические данные. С переходом Курильских островов Советскому Союзу, после Великой Отечественной войны, начался новый этап активного исследования термопроявлений и сольфатарных полей на островах.

К настоящему времени, благодаря работам широкого круга специалистов, изучены физико-химические характеристики термальных вод Курильских островов. Гидротермы островов Кунашир и Итуруп являются, пожалуй, самыми изученными среди гидротерм Курильских островов и по своему географическому положению и климатическим особенностям имеют хорошие перспективы для организации санаторно-курортного лечения и развития туризма, а месторождения парогидротерм перспективны для хозяйственных нужд островов.

Следует отметить, что использование гидротерм Южных Курил в настоящее время базируется на научных разработках 1970-80 гг. В то же время за последние 30 лет появились новые технические возможности в области химического анализа вод, новые идеи и подходы в определении влияния гидротерм на окружающие ландшафты и человека.

В работе рассматриваются термопроявления островов Кунашир и Итуруп (Южные Курилы). Сделана попытка определения степени влияния, как положительного, так и отрицательного, различных типов гидротерм на компоненты окружающих ландшафтов. Особое внимание уделено оценке современного использования и перспективам дальнейшего применения термальных вод в хозяйстве региона.

Работы по исследованию термальных вод Южных Курильских островов выполнялись автором при финансовой поддержке грантов ДВО РАН (№06-III-B-08-371 «Термальные воды Курильских островов», №09-III-B-08-477 «Современная сольфатарно-гидротермальная деятельность вулканов о-вов Итуруп и Уруп (Курильские о-ва)») и гранта РФФИ №13-05-00544А «Современная фумарольная и гидротермальная активность вулканов Южных Курильских островов» (2013-2015 гг.). Проведение комплекса работ по изучению физико-химических особенностей термальных вод и лечебных грязей Сахалинской области в рамках государственных контрактов с Министерством здравоохранения Сахалинской области [Оказание..., 2014] позволило автору получить современные данные, в том числе, по гидротермам Южных Курильских островов. На основе полученных материалов впервые были составлены бальнеологические

экспертизы для наиболее перспективных объектов, в которых даны конкретные рекомендации по их использованию в бальнеотерапии.

Издание данной монографии поддержано грантом Правительства Сахалинской области молодым ученым за 2014 год.

Благодарности. Автор выражает глубочайшую признательность друзьям и коллегам, принявшим участие в совместных исследованиях на Южных Курильских островах. В полевых исследованиях и обсуждении полученных результатов автору помогали сотрудники ИМГиГ ДВО РАН (А.В. Рыбин, О.В. Веселов, Т.М. Побережная, Д.Н. Козлов, А.В. Дегтерев, И.М. Климанцов, А.К. Ежкин, А.В. Кордюков, Ф.А. Романюк, В.М. Кайстренко, Е.В. Грецкая, Т.И. Коротеева, И.Г. Коротеев, В.Б. Гурьянов, А.Н. Кораблев, В.М. Гранник, М.В. Чибисова, А.А. Ефимова, О.В. Протасова, Т.Ю. Новикова, В.А. Моисеенкова, А.В. Копанина, В.М. Еремин, В.Л. Ломтев, И.П. Кремнева и др.), ДВГИ ДВО РАН (О.В. Чудаев, Г.А. Челноков, И.В. Брагин, Т.А. Веливецкая, Н.В. Зарубина и др.), ТИГ ДВО РАН (В.А. Чудаева, Н.Г. Разжигаета, Л.А. Ганзей, К.С. Ганзей, М.С. Лящевская, С.А. Лозовская), ТОИ ДВО РАН (Р.Б. Шакиров, И.Г. Югай, Е.В. Коровицкая, О.Ф. Верещагина), Владивостокского филиала ФГБУ «ДНЦ ФПД» СО РАМН – НИИ МКВЛ (Б.И. Челнокова, Т.А. Гвозденко, М.В. Антонюк, В.В. Кнышова), ИВиС ДВО РАН (С.Н. Рычагов, И.В. Мелекесцев, В.Ю. Павлова, В.А. Рашидов, Н.Ю. Курносова), ИНГГ СО РАН и ИГМ СО РАН (С.Б. Бортникова, Е.П. Шевко, А.Я. Шевко, Г.Л. Панин, М.П. Гора, Д.А. Новиков, О.Л. Гаськова, И.Н. Ельцов, Л.В. Кунгурцев, С.П. Бортникова), ИО РАН (А.А. Харламов).

Глава 1

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ И МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ ГИДРОТЕРМ

1.1. Основные определения и понятия

При описании гидротермальных систем, выяснении влияния гидротермальной и сольфатарной (фумарольной) активности на окружающие ландшафты, при изучении перспектив применения гидротерм в хозяйстве региона будут использоваться термины, краткая характеристика некоторых из них приведена ниже. При описании гидротермальной и сольфатарной деятельности необходимо выяснить, что такое сольфатары, термальные воды и гидротермальные системы, какова температура глубинных термальных вод и их происхождение.

В областях активного вулканизма, на склонах вулканов, встречаются *сольфатары* – выходы нагретого до 100 и более градусов Цельсия (°C) пара с содержанием преимущественно углекислого газа, азота, метана и серосодержащих газов. Многочисленные сольфатары образуют *сольфатарные поля*, породы в пределах полей гидротермально изменены, вокруг сольфатар отлагается сера. Естественные конденсаты сольфатарных газов образуют т.н. *гидросольфатары* [Ритман, 1964; Макдональд, 1975; Влодавец, 1984].

Термальными водами (синонимы: гидротермы, термы) принято считать воды с температурой выше среднегодовой температуры воздуха данного района. По Д. Уайту [White, 1957] термальные воды на 5–8.5 °C должны превышать среднегодовую температуру подземных вод района. Нередко термальные воды являются еще и *минеральными водами* с повышенным содержанием солей (1 г/л и больше), повышенным содержанием специфических компонентов (Fe, Br, I, B, As, Si и др.) или растворенных газов (CO₂, H₂S, Ra).

Термин «*гидротермальная система*» в настоящее время не имеет общепризнанного определения. По мнению В.В. Аверьева [1961, 1966] это особая водонапорная система, возникающая при внедрении в водоносные горизонты глубинного теплоносителя (магмы или надкритического флюида) в областях современного вулканизма. Он выделяет в пределах гидротермальной системы отдельные участки с промышленными запасами *парогидротерм*, названными *гидротермальными месторождениями*. Согласно В.И. Белоусову и В.М. Сугробову [1976] гидротермальные системы проявляются на поверхности активной гидротермальной и сольфатарной деятельностью. С таким подходом не согласен В.И. Кононов [1983], он считает, что термин «гидротермальная система» может быть отнесен ко всем гидродинамическим системам, находящимся в отдельных геологических структурах и формирующимся как при нагревании в региональном тепловом поле в результате их глубокой циркуляции, так и при дополнительном поступлении в водоносные слои глубинного тепла, приносимого магмой или надкритическим флюидом. Гидротермальные системы, по его представлениям,

могут внешне никак и не проявляться на дневной поверхности, об их существовании становится известно лишь при бурении скважин. Для гидротермальных систем областей активного вулканизма, к которым относятся Южные Курилы, автору ближе термин, предложенный В.В. Аверьевым. Небольшие по площади выходы термальных вод образуют *гидротермальные проявления (термопроявления)*.

В работе также использованы понятия метеорных, инфильтрационных, магматических и ювенильных вод, т.к. именно эти воды принимают или могут принимать участие в питании современных гидротерм. *Метеорные* воды поступают в гидrolитосферу из атмосферы. *Инфильтрационными* считаются воды, образовавшиеся в результате просачивания вод атмосферных осадков до уровня подземных вод. В работе инфильтрационные и метеорные воды употребляются как синонимы. Ранее предполагалось, что большую долю в питании гидротерм занимают магматические и ювенильные воды. Принято считать, что *магматические* воды находятся в равновесии с магмой независимо от происхождения этих вод. Термин *ювенильная вода* носит чисто гипотетический характер. Считается, что это вода, пришедшая из мантии, и ранее никогда не вовлекавшаяся в гидросферу. По современным представлениям, которые разделяет автор, ювенильные и магматические воды практически не участвуют в питании гидротерм, а доминирующее значение в питании приходится на инфильтрационные атмосферные воды.

При выяснении влияния гидротермальной и сольфатарной деятельности на окружающие ландшафты необходимо определить, что такое «ландшафт». Согласно определению, данному коллективом ландшафтной лаборатории МГУ [Жучкова, Раковская, 2004], «ландшафт – это генетически однородный природный территориальный комплекс, имеющий одинаковый геологический фундамент, один тип рельефа, одинаковый климат и состоящий из свойственного только данному ландшафту набора динамически сопряженных и закономерно повторяющихся в пространстве основных и второстепенных урочищ». Ландшафтовед А.Г. Исаченко [1991] определяет ландшафт как генетически единую геосистему, однородную по зональным и а зональным признакам и заключающую в себе специфический набор сопряженных локальных геосистем. Он отмечает, что для выделения ландшафта необходимы определенные условия: территория должна иметь однородный геологический фундамент и историю развития на всем его пространстве, одинаковый климат. Ландшафт состоит из целого комплекса компонентов, которые образуют сам ландшафт: геологическое строение, литология, рельеф, климат, вода, почва, растительный и животный мир.

В монографии также рассматриваются перспективы применения термальных вод и грязей в лечебно-оздоровительных целях и применяются понятия «бальнеология», «бальнеотерапия» и «грязетерапия». В определении указанных понятий автор следует ГОСТу [ГОСТ..., 1988]. *Бальнеология* (от лат. balneum – ванна, купание; logos – знание, наука) – раздел курортологии, изучающий лечебные минеральные воды, их происхождение, физико-химические свойства, влияние на организм при различных заболеваниях, разрабатывающий показания к их применению на курортах и во внекурортных условиях. *Бальнеотерапия* – лечение, профилактика и восстановление нарушенных функций организма природными и искусственно приготовленными (только для наружного применения) минеральными водами на курортах и во внекурортных учреждениях, как научный

раздел, относится к бальнеологии. Бальнеотерапия предусматривает внутреннее (питьевое) и наружное (бальнеологическое) применение минеральных вод в виде общих и местных ванн, орошений, купаний в бассейнах. *Грязетерапия* – наружное применение грязей в виде общих и местных аппликаций, грязевых водных ванн, суспензий, обертываний и реже для внутрисполостных процедур – тампонов.

1.2. Изученность и методические подходы при исследовании гидротерм

Детальные исследования термальных вод областей активного вулканизма стали проводиться с начала XX века. Одними из первых работ по изучению термальных источников можно отметить публикации Е. Алена и А. Дэйя [Allen, Day, 1935]. Впоследствии важный вклад в изучение гидротерм Земли внесли многие зарубежные ученые, среди которых стоит выделить Д. Уайта [White, 1957; 1969], Т. Барта [Barth, 1950], А. Эллиса и У. Махона [Ellis, 1968; 1979; Ellis, Mahon, 1964], Г. Крейга [Craig, 1961; 1963], А. Трусделла [Truesdell, 1975], С. Арнорссона [Arnorsson, 1969; 1979; 1995], Г. Сигвалдасона [Sigvaldason, 1966], Х. Накамура [Nakamura, 1969], К. Суми [1975], У. Гиггенбаха [Giggenbach, 1984; Giggenbach, Glover, 1992], Д. Хеденквиста [Hedenquist, Browne, 1989]. Эти и многие другие зарубежные ученые изучали гидротермальные системы США, Новой Зеландии, Исландии, стран Западной Европы, Африки и Азии. Важные данные по гидротермам Земли были получены и отечественными учеными [Аверьев, 1966; Власов, 1971; Набоко, 1974; Басков, Суриков, 1975; 1989; Кононов, 1983; 1985].

Из зарубежных исследований в данной работе особенно интересует опыт японских ученых, т.к. Курильские острова по типам гидротерм и природным условиям весьма схожи с северной частью Японии. В Японии к настоящему времени детально изучены глубинные гидротермы и все известные термальные источники. Первые исследования химического состава гидротерм проводил Е. Удагава, который с 1828 по 1843 гг. изучал термальные источники разных районов Японии [Справочник..., 1941]. С начала 19 века изучены особенности химического и газового состава более 10 000 источников Японии [Справочник..., 1941; Uzumasa, 1965; Nakamura, 1969 и др.], изучен изотопный состав гидротерм [Кобаякава, 1960]. Японскими учеными до 1945 года изучались, в том числе, термальные источники Курильских островов, но практически эти данные сегодня нам не доступны, т.к. были вывезены в Японию при эвакуации. В целом, в период владения Японией Курильских островов изучались и использовались практически все группы термальных источников и сольфатарные поля на Южных Курилах. Термальные источники традиционно использовались для лечебных целей, т.к. в самой Японии термальные воды в бальнеотерапии применяются около 2600 лет. На сольфатарных полях, особенно в кальдере вулкана Головинина, на вулканах Менделеева (о. Кунашир), Мачеха, Кудрявый (о. Итуруп), велась активная добыча серы для химической промышленности Японии. После освобождения в 1945 году Курильских островов начался новый период в изучении и использовании термальных вод региона.

Гидротермы областей активного вулканизма на территории России наиболее детально изучались и изучаются до сегодняшнего дня на полуострове Камчатка. Первые описания термальных источников Камчатки провел в 1737-1741 гг.

С.П. Крашенинников. Некоторые материалы о термальных источниках были систематизированы в 1929-1932 гг. камчатским краеведом П.Т. Новограбленовым и вошли в каталог вулканов полуострова [Новограбленов, 1932]. Начало систематическим исследованиям термальных вод Камчатки было положено Б.И. Пийпом [1937] и продолжено многими советскими учеными. Среди них следует отметить работы С.И. Набоко [1954, 1959, 1974, 1980 и др.], В.В. Иванова [1956, 1958 и др.], О.Н. Толстихина [1958], В.В. Аверьева [Аверьев, 1961; Вулканизм..., 1971], В.И. Кононова и Б.Г. Поляка [Кононов, Поляк, 1964; Кононов, 1983], В.М. Сугрובה [1964], Е.А. Вакина [Термальные..., 1962; Вакин, 1966; Вакин и др., 1971; Вакин и др., 1976; Вакин, Пилипенко, 1979], Г.Ф. Пилипенко [1971, 1974, 1976, 1989], Г.И. Арсановой [1974], А.В. Щербакова [1975], Г.А. Карпова [Карпов, 1976; Карпов, Павлов, 1976; Концентрирование..., 1983], А.И. Сережникова [1977, 1981], В.Д. Пампуры [Пампура и др., 1977; Пампура, 1981], В.Е. Быкасова [1980], И.А. Меняйлова, Л.П. Никитиной [Изотопный..., 1983], Ю.А. Тарана [Таран, Пилипенко, 1983; Таран и др., 1986; Геохимические..., 1991], А.Д. Есикова и А.Л. Чешко [Есиков и др., 1989; Чешко, 1994] и многих других. С начала 1990-х гг. масштабы проводимых работ снизились, но появились новые методики изучения гидротермальных систем, разработанные российскими учеными или заимствованные у зарубежных коллег. В этот период исследований камчатских гидротерм, который продолжается до сегодняшнего дня, можно отметить работы Г.А. Карпова [Карпов, 1992; 1995; Карпов, 1997; 2003; Ерощев-Шак и др., 2005, Лупикина и др., 2006], А.В. Кирюхина [Kiryukhin, 1996; Исследование..., 1998; Kiryukhin, Pruess, 2000; Кирюхин, 2003; Kiryukhin et al., 2003], Е.А. Вакина и Г.Ф. Пилипенко [1998, 2001], О.В. Чудаева и В.А. Чудаевой [Geochemistry..., 1997; New..., 1998; Geochemistry..., 1999; Чудаев, Чудаева, 2000; Геохимия..., 2000; Чудаев, 2001; Чудаева, 2002; Чудаев, 2003], С.Н. Рычагова [Рычагов и др., 2002], Г.М. Гавриленко [1998, 2000, 2003], С.М. Фазлуллина, С.В. Ушакова и др. [Подводное..., 2000], С.Б. Бортниковой, Е.П. Бессоновой [Взаимодействие..., 2003; Газогидротермы..., 2013], В.В. Амосова [Растения..., 2006; Цианобактерии..., 2006] и многих других. За долгий период исследования гидротерм Камчатки детально изучены химический, газовый и изотопный составы термальных вод, изучены микроорганизмы термальных источников, растительный и животный мир районов термопроявлений.

Среди Курильских островов наиболее исследованы термальные источники и глубинные гидротермы на островах Парамушир (Северные Курилы), Итуруп и Кунашир (Южные Курилы). Начало изучения термальных источников и сольфатарных полей на Южных Курилах было положено В.В. Ивановым [1955, 1956], Е.К. Мархининым [1956а, б, 1959], которые в первой половине 1950-х гг. провели описание вулканов и гидротерм. Вслед за ними исследования термальных вод проводил С.С. Сидоров [1962, 1966а, б, 1967], который, в частности, изучил выходы парогидротерм Горячего Пляжа (о. Кунашир) и предложил способы их рационального использования. С.И. Набоко и В.Г. Сильниченко [1957] изучали внутрикальдерные сольфатары вулкана Головнина. Ю.К. Гуменный и Ю.Л. Неверов [1961] провели исследования труднодоступных Нескученских источников на севере Кунашира. В.В. Ивановым [1955, 1956, 1961, 1977], В.В. Бочкаревым, Л.Е. Михайловым, О.К. Калишевич, Б.В. Шуляковым [Мархинин, Стратула, 1977] изучались гидротермы центральной части

Итурупа. Вопросами перспективности серных месторождений вулканов Южных Курил занимался Г.М. Власов [1971]. В 1960-е гг. начался период разведки парогидротермальных месторождений для оценки наиболее перспективных районов. Буровые работы позволили получить новые данные о геологическом строении вулкана Менделеева (о. Кунашир) и составе глубинных термальных вод, что дало возможность по-новому взглянуть на вопросы генезиса термальных вод района [Дуничев, Ризнич, 1968, 1969; Дуничев, 1971]. Продолжались исследования термальных источников вулканов Южных Курил. В период 1960-1990-х гг. можно отметить работы В.И. Виноградова [1970], В.С. Знаменского [1972], И.П. Аверьянова и Л.И. Божковой [1985] по серным рудам островов, обобщающие работы по термальным водам Тихоокеанского сегмента Земли Е.А. Баскова и С.Н. Сурикова [1975, 1989], фундаментальный труд Е.К. Мархинина и Д.С. Стратулы [1977] и работу группы исследователей под руководством Л.Н. Барабанова [1976] по всем известным гидротермам Курильских островов. В.И. Кононов [1983] в своей монографии приводит данные о химическом и газовом составе терм Южных Курил. Были проведены режимные наблюдения за основными физико-химическими параметрами термальных источников на вулкане Менделеева Л.И. Божковой и В.И. Федорченко [1979], В.М. Дуничевым [1974, 1983]. Интересные данные были получены по термам и сольфатарным полям вулкана Менделеева и кальдеры вулкана Головнина Л.М. Лебедевым, Л.П. Шурмановым и И.Б. Никитиной [Лебедев, 1975; Лебедев, Никитина, 1977; Лебедев и др., 1977; Лебедев, 1988] и многими другими. Изучению изотопного состава различных типов гидротерм посвящены работы Е.А. Баскова и С.Н. Сурикова [1975, 1989], А.Л. Чешко [1994]. Вопросы происхождения катионов в термах Южных Курил рассмотрены в работе В.С. Знаменского и Д.З. Журавлева [1988], в которой также делается акцент на содержание редкоземельных элементов в различных типах терм. Подробные гидрохимические работы были выполнены на вулканах центральной части Итурупа В.С. Знаменским и И.Б. Никитиной [1985], С.Н. Рычаговым [1993], в которых, в частности, была детально изучена гидротермальная система вулкана Баранского. В 1980-х гг. В.И. Пчелкин [1991а, б], О.В. Веселов [Геологическое..., 1997] изучали геологическое строение, динамику теплового поля и гидрохимические особенности гидротерм участка «Кипящий» Океанского месторождения парогидротерм на вулкане Баранского. Детальная разведка месторождения парогидротерм Горячего Пляжа позволила провести обоснование строительства ГеоТЭС на вулкане Менделеева [Таран и др., 1991].

Вопросам изучения влияния гидротермально-сольфатарной деятельности вулканов на ландшафты посвящено мало работ. В основном рассматривались отдельные компоненты ландшафтов, большей частью растительность районов сольфатарных полей и термальных источников. Особо стоит отметить работы Ю.И. Манько [Манько, Розенберг, 1970; Манько, 1974; Манько, Сидельников, 1989] по изучению закономерностей распределения растительных группировок в районах сольфатарных полей и термальных источников вулканов Баранского и Менделеева. Было показано влияние сольфатарных газов и термальных вод на видовой состав растений и влияние на морфологические показатели самих растений. С 1950-х гг. исследователей интересовали органические соединения и микроорганизмы, особенно термофильные бактерии, живущие в экстремальных условиях термальных вод. Начало подобных исследований на Южных Курилах было положено

Л.М. Мухиным и В.И. Калиниченко [Мархинин, Стратула, 1977], которые изучали органические соединения в гидротермах вулканов Менделеева и Головнина на о. Кунашир. Стоит отметить работу коллектива авторов Института микробиологии АН СССР и Института нефтехимической и газовой промышленности им. И.М. Губкина, которая посвящена термофильным цианобактериям термальных вод вулканов Головнина и Менделеева [Микроминеральные..., 1988]. Из более поздних работ следует отметить исследования сотрудников Института микробиологии РАН (г. Москва), изучивших, в том числе, термофильные бактерии в гидротермах острова Кунашир [Carboxydotherrmus..., 1991, Anaerobic..., 1991].

Вопросы использования гидротерм региона в бальнеотерапии рассматривались в работах [Иванов, 1955; Комиссаренко, 1964; Барабанов, 1976; Современная..., 1991; Анкудинов, Ведмицкий, 1992].

С начала 1990-х гг. наблюдается резкий спад исследовательской деятельности на Курильских островах, прекратились режимные исследования гидротерм на Южных Курилах. Фактически, с начала 1990-х гг. до 2002 года, опубликованных данных о современном состоянии сольфатарных полей и термальных источников не было. С 2001 года изучение термальных источников вулканов Головнина, Менделеева, Баранского проводили сотрудники ДВГИ ДВО РАН и ТИГ ДВО РАН (г. Владивосток) О.В. Чудаев, В.А. Чудаева, Г.А. Челноков, И.В. Брагин [Чудаев, 2003; Чудаев и др., 2003; Chelnokov, 2004; Чудаев, Чудаева, 2004; Recent..., 2004; Hydrochemistry..., 2005; Geochemistry..., 2006a, b]. Современный состав газов вулканов Менделеева и Головнина представлен в работе сотрудника ТОИ ДВО РАН (г. Владивосток) Р.Б. Шакирова [2014], проводившего исследования в ходе полевой экскурсии на остров Кунашир в рамках IV Сахалинской молодежной научной школы «Природные катастрофы: изучение, мониторинг, прогноз» [Жарков, Козлов, 2009]. Исследования ландшафтов на Южных Курилах в этот период проводились в рамках комплексных экспедиций ТИГ ДВО РАН и ИМГиГ ДВО РАН. Основные результаты исследований отражены в следующих работах Н.Г. Разжигасовой, Л.А. Ганзей, К.С. Ганзея [Голоценовые..., 1999; Формирование..., 2000; Разжигасова, Мохова, 2001; Разжигасова, Ганзей, 2004; Разжигасова, 2005; Ганзей, 2004а, б]. Общие проблемы влияния деятельности ГеоТЭС (влк. Менделеева) на окружающую среду рассмотрены в работе С.Г. Юрченко [Юрченко, 2004; Yurchenko, 2005]. В 2005-2014 годах периодически проводились полевые работы сотрудниками Института микробиологии РАН (г. Москва) по изучению видового разнообразия термофильных бактерий в термальных источниках вулканов Менделеева и Головнина, на Нескученских источниках и подводных выходах гидротерм в районе Нескученских источников на севере острова Кунашир. В этих работах принимали участие известные микробиологи: В.А. Светличный, Е.А. Бонч-Осмоловская, Т.Г. Соколова, М.Л. Мирошниченко, С.Н. Гаврилов.

Автором с 2002 года проводились исследования термальных вод и сольфатарных выходов вулканов Головнина, Менделеева, Руруй (о. Кунашир), Баранского, Иван Грозный и Тебенькова, Чирип и Богдан Хмельницкий, Меньший Брат, а также Рейдовских термальных источников, источников Дачного месторождения и пос. Горячие Ключи (о. Итуруп).

На первом этапе исследований был проведен сбор, анализ и обработка материалов предыдущих исследователей региона (литературные данные, отчеты различных организаций, фондовые материалы, данные полевых исследований).

В ходе работы была собрана обширная база данных химических анализов воды и газа более чем за полувековой период изучения отечественными учеными гидротерм Южных Курил.

На втором этапе, при собственных полевых исследованиях, проводились определения значений pH и температуры гидротерм, производился отбор проб термальных, морских и грунтовых вод. Для определения значений pH термальных вод использовался портативный pH-метр «HANNA-Hi9025». Полевые замеры температуры воды термальных источников и выходов сольфатарных газов проводились электронным термометром «Digitron-T200KC» с термопреобразователем KTXA 01.02P, диапазон рабочих температур данной термопары составляет от -200 до +1350 °C, точность измерения 0.1 °C. Для режимных наблюдений за температурой воды источников вулкана Менделеева использовался цифровой термодатчик HOBBO U-12 в стальном корпусе, объем памяти и элементы питания которого позволяют записывать каждый час значения температур с точностью до 0.1 °C в течение 3 лет. На некоторых участках активных вулканов были выполнены площадные съемки с помощью тепловизора. При тепловизионной (инфракрасной) съемке использовался тепловизор модели SAT SDS Hotfind-LXS, диапазон измеряемых температур прибора составляет от -20 °C до +1000 °C, точность ± 2 °C, угловое поле $24^\circ \times 18^\circ$, пространственное разрешение 1.1 мрад, разрешение активной матрицы 384×288 точек. Визуализация, обработка и просмотр термограмм формата *.sat и *.ccd осуществлялись при помощи программного пакета Sat IRDBReport Standard 2009. Термограммы позволяют делать выводы о характере распределения температур на том или ином участке, а также проводить точечный температурный анализ и анализ методом площадей и сечений.

В 2007 и 2010 гг. в кальдере вулкана Головнина были проведены геофизические работы с использованием георадара «ОКО-2» с частотой антенного блока 400 МГц и пространственным разрешением съемки 15 см. Георадар предназначен для обнаружения точечных и протяженных металлических и неметаллических объектов в различных средах (грунт, вода и т.д.) с выводом результатов зондирования на экран регистрирующего устройства в реальном времени и с последующим сохранением в файл для обработки. Работа георадара основана на свойстве радиоволн отражаться от границ раздела сред с различной диэлектрической проницаемостью. Управление георадаром в полевых условиях и последующая обработка получаемой в процессе зондирования информации проводилась в программе GeoScan32.

Совместно с к.г.-м.н. Т.М. Побережной и к.б.н. А.В. Копаниной (ИМГиГ ДВО РАН) на вулкане Менделеева были проведены ландшафтно-геохимические наблюдения и опробования термопроявлений с целью выявления особенностей миграции микроэлементов (МЭ) в специфических ландшафтах, формирующихся в местах выхода на поверхность сольфатарных газов и гидротерм различного состава [Жарков, Побережная, 2008a].

Третий этап заключался в анализе собранных проб и выяснении химического, газового и изотопного составов гидротерм. Для определения химических элементов и изотопного состава в водах использовались различные аналитические методы. Макроэлементы образцов 2003-2005 гг. определялись с помощью классического химического анализа, который был проведен по стандартным методикам в

испытательной лаборатории ДВ филиала ФГУ НПП «Росгеолфонд» (г. Южно-Сахалинск) аналитиком В.Д. Чугуновой. Основные катионы, микро- и рассеянные элементы этих образцов также были анализированы масс-спектральным методом в Институте проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов РАН (г. Черноголовка) с использованием индуктивной плазменной масс-спектрографии (ICP-MS, Agilent 7500). Полный химический анализ термальных вод и грязей, отобранных в 2013-2014 гг., был выполнен аккредитованной лабораторией ОАО «Приморгеология» (г. Владивосток). Изотопные определения кислорода и водорода в воде выполнены на масс-спектрометре Finigan MAT 252 в Дальневосточном геологическом институте ДВО РАН (аналитик к.г.-м.н. Т.А. Веливецкая). Основные анализы сольфатарных, спонтанных и растворенных газов Южных Курил выполнены на газовом хроматографе «КристалЛюкс 4000» в лаборатории газогеохимии ТОИ ДВО РАН (аналитики О.Ф. Верещагина, к.г.-м.н. Е.В. Коровицкая). Газовый состав объектов центральной части Итурупа также определялся в аналитическом центре ИВиС ДВО РАН (г. Петропавловск-Камчатский) на хроматографах Shimadzu GC-17A и Agilent 6890N (аналитик Н.Ю. Курносова).

Для выяснения миграции микроэлементов в ландшафтах гидротермальных систем в 2007 году были отобраны образцы коренной породы, гидротермально измененной породы, почвы и растительности непосредственно у термальных источников. Образцы анализировались в испытательной лаборатории ДВ филиала ФГУ НПП «Росгеолфонд» (г. Южно-Сахалинск) спектральным методом на установках ИСП-30 и СТЭ-1 (аналитик Н.Г. Ключникова).

Результаты о физико-химических свойствах исследуемых гидротерм позволили получить в 2013-2014 гг. бальнеологические заключения по их использованию [Оказание..., 2014]. Бальнеологическое заключение – документ, выданный уполномоченной организацией в соответствии с законодательством Российской Федерации, определяющий состав, качество и тип воды или лечебной грязи, устанавливающий и подтверждающий их лечебно-профилактические свойства (показания и противопоказания по медицинскому применению, ГОСТ Р 54316-2011). Согласно Приказа Министерства здравоохранения РФ от 16 мая 1997 г. №149 «О разработке бальнеологических заключений» (с допл., согл. Приказов Минздрава РФ от 12.09.1997 №272, от 05.01.1999 №4) и Приложения №2 к Приказу Минздрава РФ от 11.01.2005 г. №81 в Дальневосточном регионе ответственным за разработку комплекса исследований по определению лечебных свойств, качества природных лечебных факторов и их ресурсов и оформлению бальнеологических заключений является Владивостокский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения «Дальневосточный научный центр физиологии и патологии дыхания» Сибирского отделения Российской академии медицинских наук Научно-исследовательский институт медицинской климатологии и восстановительного лечения (далее НИИ МКВЛ). Бальнеологические заключения по всем исследуемым объектам на Южных Курильских островах выполнены научным сотрудником научно-исследовательской лаборатории медицинской экологии и рекреационных ресурсов НИИ МКВЛ к.г.-м.н. Б.И. Челноковой.

Глава 2

ПРИРОДНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЮЖНЫХ КУРИЛЬСКИХ ОСТРОВОВ

2.1. Географическое положение

Рассматриваемые в монографии Южные Курилы находятся в северо-западной части Тихого океана. Курильские острова состоят из Большой и Малой Курильских гряд. Протяженность Большой Курильской гряды (БКГ) составляет около 1250 км. В географическом отношении под Южными Курилами понимается южное звено Большой гряды, состоящей из островов Кунашир, Итуруп, и вся Малая гряда, расположенная юго-восточнее Кунашира. На островах Малой Курильской гряды термальные источники и сольфатарные поля отсутствуют, поэтому они не включены в работу.

Остров Кунашир является самым южным островом Большой Курильской гряды. Кунашир – третий по величине остров БКГ, его площадь составляет около 1490 км². Остров вытянут с северо-востока на юго-запад, длина его в этом направлении составляет 123 км, а ширина острова колеблется от 7 до 35 км. С запада и юго-запада остров Кунашир отделен Кунаширским проливом и проливом Измены от японского острова Хоккайдо. Южно-Курильский пролив отделяет Кунашир от островов Малой Курильской гряды. Остров Итуруп отделен от Кунашира проливом Екатерины, глубина которого 437 м и ширина 22.2 км. На севере о. Итуруп отделен проливом Фриза от острова Уруп, глубина пролива составляет 500 м, а ширина 38.9 км. Итуруп – самый крупный остров Курильской гряды, его площадь около 3200 км². С западной части Курильские острова омывает Охотское море, с восточной – Тихий океан [Южные..., 1992; Атлас..., 1994].

2.2. Геологическое строение и тектоника

Острова Кунашир и Итуруп характеризуются сложной геолого-гидрогеологической обстановкой, наличием разновозрастных и разнотипных вулканогенных горных пород. Распространение термальных вод и сольфатарных газов контролируется, прежде всего, особенностями геологического строения и историей развития территории. Прямыми факторами, влияющими на состав подземных термальных вод, являются состав горных пород, наличие разломов, выводящих термальные воды и газы или обеспечивающих глубинную циркуляцию вод.

С начала 1950-х гг. под руководством Ю.С. Желубовского, В.Е. Бевза, В.М. Демьянова, Т.П. Королевой, Б.Н. Пискунова, С.М. Сапрыгина на островах проведены крупно- и среднемасштабные геологические съемки. В результате были созданы местные стратиграфические схемы и сформированы общие представления о тектоническом развитии региона. Согласно общим представлениям, вулканогенными образованиями на островах сложена лишь верхняя часть разре-

за мощностью порядка 3000 м, а ниже лежат палеоген-позднемиоценовые морские осадочные породы общей мощностью до 4000 м [Желубовский, Прялухина, 1964; Бевз и др., 1971; Пискунов, 1963, 1975, 1987; Жидкова и др., 1972; Сергеев, 1976]. В целом по химическому составу все эффузивные и вулканокластические породы, слагающие Большую Курильскую дугу, относятся к высокоглиноземистой серии Тихоокеанского известково-щелочного типа. Породы Западной (тыловой) зоны относятся исключительно к известково-щелочной серии нормального петрохимического ряда [Пискунов, 1975, 1987].

За последние три десятилетия сотрудниками ФГУГП «Сахалинской геолого-разведочной экспедиции» на островах были выполнены крупномасштабные геологические и гидрогеологические съемки и структурно-поисковые работы масштаба 1:200000 и 1:50000, пройдены структурные и глубокие поисково-разведочные скважины на термальные и минеральные воды. По результатам этих работ были подвергнуты сомнению базисные положения предшествующих стратиграфических схем: наличие в основании Большой Курильской дуги комплекса пород «зеленотуфовой» формации, значительная пликативная дислоцированность неогеновых пород; относительная выдержанность фациальных признаков неогеновых толщ по латерали. Были сформированы обновленные стратиграфические схемы и обозначены новые представления о тектоническом строении территории. В структурно-геологическом плане острова Кунашир и Итуруп относятся к Большекурильской структурно-фациальной зоне с широко развитыми в ней вулканическими и вулканогенно-осадочными образованиями неогенового и четвертичного возраста, которые прорваны многочисленными сравнительно мелкими экструзивными, интрузивными, субвулканическими телами и дайками различного состава. Рыхлые осадки четвертичного возраста играют резко подчиненную роль [Государственная..., 2002].

По данным [Атлас..., 1994; Государственная..., 2002] на Итурупе и Кунашире неогеновые образования пользуются наибольшим распространением (рис. 1). По литологическому составу, взаимоотношениям, положению в разрезе и возрасту они расчленены на два вулканических комплекса: рыбаковский (верхний миоцен-плиоцен) и камуйский (плиоцен). Рыбаковский андезитовый вулканический комплекс включает рыбаковскую свиту (покровную фацию) и субвулканические образования. Камуйский дацитовый вулканический комплекс включает камуйскую свиту (покровную фацию) и субвулканические образования. К стратиграфическому уровню верхний плиоцен – нижнее звено неоплейстоцена на территории Кунашира и Итурупа отнесен фрегатский андезитовый вулканический комплекс. Представлен он покровной фацией (фрегатской толщей) и субвулканическими образованиями. Четвертичные образования на островах пользуются широким распространением и включают в себя головнинский, роковский и богатырский вулканические комплексы, а также рыхлые полигенетические вулканогенно-осадочные отложения. Головнинский дацитовый вулканический комплекс (эоплейстоцен – среднее звено неоплейстоцена) включает в себя головнинскую свиту (покровную фацию) и субвулканические образования. Роковский дацитовый вулканический комплекс (верхнее звено неоплейстоцена) включает в себя роковскую свиту (покровную фацию) и экструзивно-дайковые образования. К возрастному уровню среднего звена неоплейстоцена-голоцена отнесен богатырский вулканический комплекс, состоящий из покровных (богатырская толща) и экструзивно-жерловых фаций.

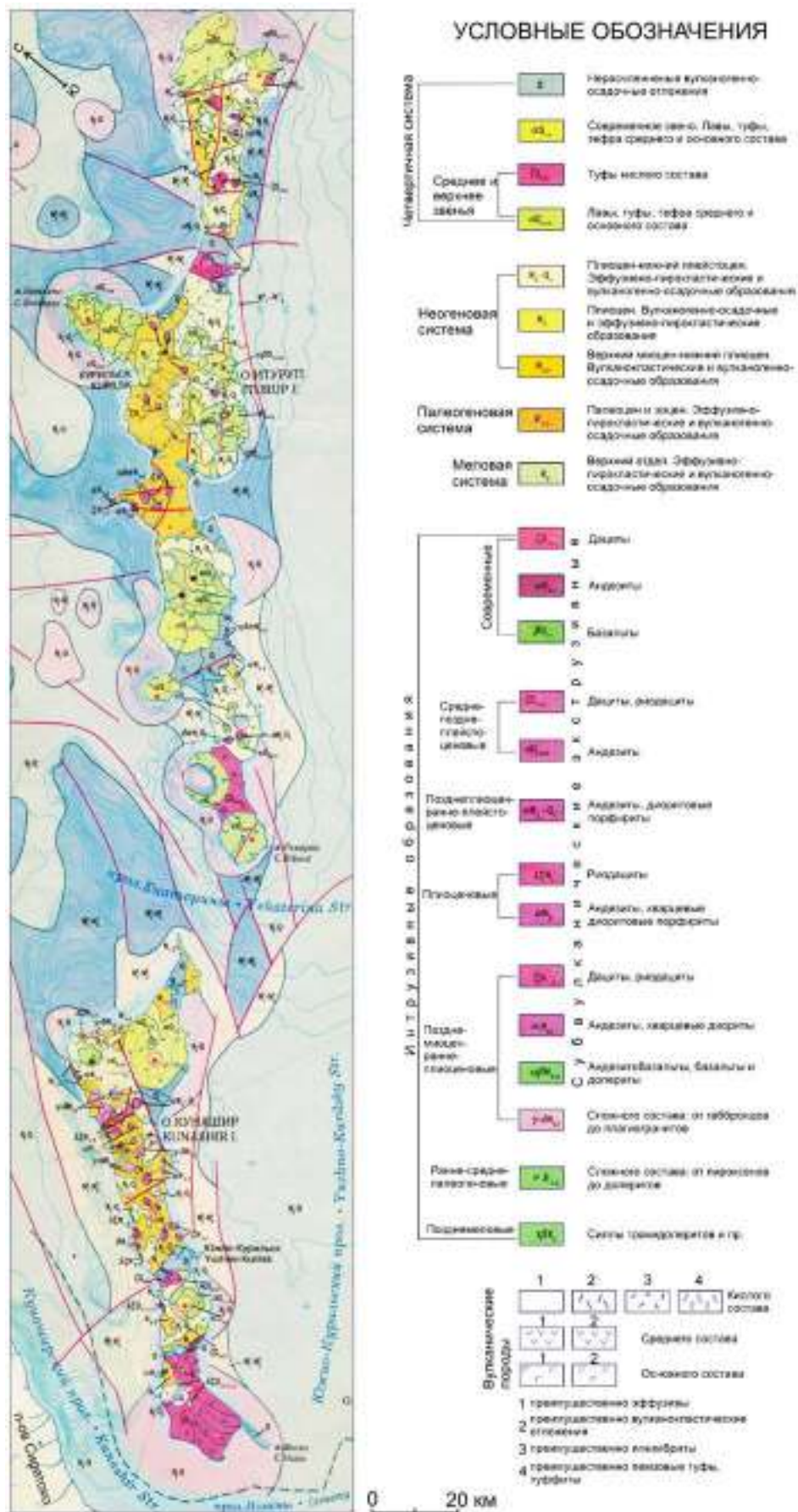


Рис. 1. Геологическое строение островов Кунашир и Итуруп [Атлас..., 1994].

Морские отложения среднелепистоценового возраста слагают аккумулятивный чехол 200-250-метровой террасы. Они развиты в центральной части о. Итуруп и на Кунашире в районе влк. Менделеева.

К верхнему звену неоплейстоцена отнесены ледниковые и водно-ледниковые отложения, образования третьей и второй морских террас, которые отвечают соответственно нижней и верхней частям верхнего звена неоплейстоцена. Голоценовые отложения на Южных Курилах включают в себя морские осадки и образования гравитационного, водного, аэрального и вулканического генетических рядов.

Тектоническое строение островов Итуруп и Кунашир обсуждалось во многих работах [Пискунов, 1975; Сергеев, 1976; Стрельцов, 1976; Происхождение..., 1985; Фролова и др., 1989; Федорченко и др., 1989; Данченко, 1991; Государственная..., 2002; Курильские..., 2004]. Неогеновые и четвертичные образования, согласно общепринятым представлениям, формируют единый верхний островодужный ярус (рис. 2).

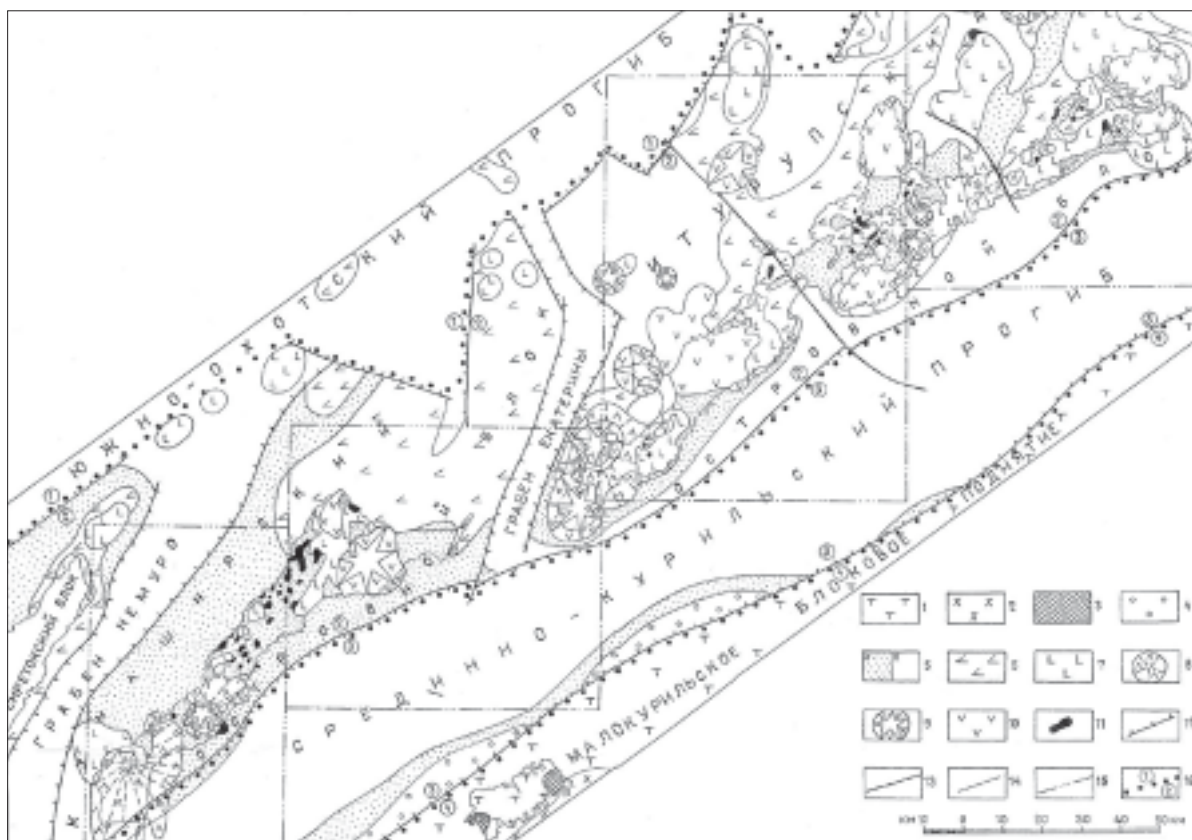


Рис. 2. Тектоническая схема Южных Курил [Государственная..., 2002]. 1 - 3 – нижний структурный ярус (раннеостроводужный рифт): 1 – верхнемеловые вулканогенные (преимущественно калиевые щелочные и толеитовые базальты) и вулканогенно-осадочные образования, 2 – палеоцен-эоценовые вулканогенные (преимущественно лейкобазальтовые) и вулканогенно-осадочные образования, 3 – палеоценовые интрузии габбро-диоритов; 4 - 11 – верхний структурный ярус (развитая островодужная система): 4 - 5 – вулканогенно-осадочные образования междуового, тыловодужного прогибов и поперечных грабенов (4 – олигоцен-раннемиоценовые; 5а – позднемииоцен-плиоценовые, 5б – плиоцен-четвертичные); 6 - 10 – вулканогенные образования островной дуги: 6 – позднемииоцен-плиоценовые субаквальные базальт-андезит-риолитовые; 7 – плиоцен-четвертичные платобазальтовые; 8 – четвертичные кислые пирокластические; 9 - 10 – четвертичные субаэральные вулканы андезибазальтового состава; 9 – одиночные стратовулканы; 10 – вулканы линейно-гнездового типа; 11 – позднемииоцен-плиоценовые интрузивные и субвулканические образования; 12 – главные разрывные нарушения (преимущественно сбросового характера), определяющие структуру дуги; 13 – поперечные разрывные нарушения; 14 – границы разновозрастных вулканогенных, вулканогенно-осадочных и интрузивных образований; 15 – границы компоновок издаваемых листов Госгеолкарты-200; 16 – границы структур первого порядка (структурно-фациальных зон): (1) – Южно-Охотский прогиб (Южно-Охотская), (2) – Большекурильское блоковое поднятие (Большекурильская), (3) – Срединно-Курильский грабенообразный прогиб (Срединно-Курильская), (4) – Малокурильское блоковое поднятие (Малокурильская).

Примечания:

1. На схеме подписаны структуры первого порядка (кроме Большекурильского поднятия).
2. В Большекурильском поднятии подписаны структуры второго порядка.

Основным структурообразующим фактором здесь является интенсивная тектоническая подвижность блоков по продольным и поперечным разрывным нарушениям. В результате образовалась сложная тектоническая мозаика из блоков, представленных моноклинально залегающими породами с различными углами наклона, но в большинстве случаев имеющих простирание, согласное с продольными структурами Курильских островов. При этом позднеплиоцен-четвертичные образования, по сравнению с позднемиоцен-плиоценовыми, нарушены значительно слабее. В формировании структурного плана района важную роль играли вулканно-тектонические депрессии и поднятия. Дизъюнктивные нарушения на Южных Курилах представлены сбросо- и взбросо-сдвигами с амплитудами перемещений по вертикали первые сотни метров, и по горизонтали – первые километры. Тектоническая активность многих из них не прекратилась и в настоящее время, что фиксируется многочисленными землетрясениями. Неогеновые вулканно-тектонические структуры в большинстве случаев ограничены системой кольцевых и дуговых нарушений. Позднеплиоцен-четвертичные вулканно-тектонические структуры представлены кальдерами, одиночными стратовулканами, вулканами линейно-гнездового типа.

2.3. Рельеф

Рельеф является одним из ведущих природных факторов, влияющих на формирование подземных и поверхностных вод, в том числе и термальных.

Современный рельеф Курильской гряды представляет собой сочетание двух генетических форм [Кулаков, 1965]: вулканы, горные хребты с интрузиями и с эффузивными телами и сложные морские террасовые уровни, врезаемые в глубь суши речными долинами. Береговая линия островов имеет сложные очертания с многочисленными бухтами, заливами, скалистыми мысами и множеством отдельных скал в прибрежной зоне. Высота береговых обрывов достигает 300-400 м. Ширина пляжей обычно не превышает 50-100 м.

Согласно морфогенетической классификации вулканов [Федорченко и др., 1989], на Курильских островах можно выделить семь типов вулканов: 1) простые стратовулканы; 2) «кустовые» (многовыходные) изолированные вулканы; 3) «кустовые» (многовыходные) вулканы в системе хребтов; 4) кальдерные стратовулканы; 5) кальдерные пемзово-пирокластические вулканы; 6) вулканы-экструзии центрального типа; 7) вулканы-экструзии регионального типа. На Южных Курилах из вышеперечисленных типов вулканов встречаются шесть, исключая вулканы-экструзии центрального типа.

Постройки изолированных «кустовых» стратовулканов имеют конусообразную форму, часто с усеченными вершинами, крутыми склонами в привершинной части, выполаживающимися к периферии. К этому морфогенетическому типу вулканов на исследуемой нами территории отнесены влк. Баранского (1132 м) в центральной части о. Итуруп, влк. Менделеева (889 м) и влк. Руруй (1485 м) на о. Кунашир, сформированные на интенсивно эродированных древних постройках. Диаметры оснований вулканов Баранского и Менделеева около 5-9 км. Молодые конусы «запечатаны» экструзивными куполами. Морфологические особенности вулкана Менделеева детально представлены в работе Е.К. Мархина [1959], морфология влк. Баранского рассмотрена Г.С. Горшковым [1957, 1958, 1967].

Средне-позднеплейстоценовый конус изолированного «кустового» стратовулкана Руруй на севере Кунашира полуразрушен и эродирован глубокими ущельями, сходящимися к его вершине [Горшков, 1958].

Вулканические хребты – это самые крупные геоморфологические структуры вулканического происхождения протяженностью от 12 до 35 км. На о. Итуруп к вулканическим хребтам относятся хребет Медвежий, Грозный, Богатырь и Двугорбый, на Кунашире – хребет Докучаева. На острове Итуруп нас особенно интересуют вулканы хребта Грозного, проявляющие активную гидротермально-сульфатную деятельность. На севере хребта Грозный «кустовой» стратовулкан Тебенькова (1211 м) образует довольно правильный конус. К нему вплотную примыкает эрозионная депрессия влк. Мачеха со следами интенсивного метасоматического преобразования. В 4 км юго-западнее влк. Тебенькова располагается постройка «кустового» стратовулкана Иван Грозный (1159 м). К северо-востоку от влк. Иван Грозный находится вулкан-экструзия регионального типа Дракон, западнее – вулкан-экструзия регионального типа Ермак [Горшков, 1967].

Кальдерные пемзово-пирокластические вулканы на Южных Курилах в значительной степени разрушены процессами эрозии и денудации. Среди этого типа вулканов интересен вулкан-кальдера Головнина (541 м), проявляющий очень высокую гидротермально-сульфатную активность. Полная морфологическая характеристика влк. Головнина дана в работах Е.К. Мархинина [1959] и Г.С. Горшкова [1967].

2.4. Климат и внутренние воды

На климатические особенности Южных Курил оказывает влияние их географическое положение, обусловленное тем, что они омываются Охотским морем с теплым течением Соя и Тихим океаном с холодным прикурильским течением Ойясио, а также воздействием Алеутского барического минимума, который способствует циклонической деятельности в этом районе. На микроклимат острова влияет его рельеф (высота, конфигурация хребтов и отдельных гор) и, в некоторой степени, внутренние воды. Также на разнообразие микроклиматических условий на территории острова влияет характер подстилающей поверхности, особенно растительный покров. Все эти факторы способствовали формированию здесь особого типа климата, краткая сезонная характеристика которого приведена ниже.

Зимний период на Южных Курилах характеризуется отрицательными температурами, минимум которых приходится на февраль (до -8°C). Количество осадков зимой невелико. Снежный покров неустойчив, и средняя мощность его на островах достигает 25-40 см. На море продолжительность ледового периода составляет 40-50 дней. Весна на островах довольно холодная (переход температуры через 0°C лишь в конце марта, поэтому сход снежного покрова начинается в апреле) с частыми ветрами и обильными осадками. Продолжительность безморозного периода от 130 дней (г. Курильск) до 190 дней (пгт. Южно-Курильск). Лето сравнительно теплое (средняя температура $+16^{\circ}\text{C}$, а максимальная $+30^{\circ}\text{C}$) с плавным суточным ходом температур. Из-за повышенной влажности часты туманы и низкая облачность, поэтому число солнечных дней в месяце не превышает 10-15. Осенью на островах самая теплая и солнечная

погода, лишь в конце осени начинается период обильных ливневых дождей, обусловленный приходом тропических циклонов. Таким образом, климат Итуруп и Кунашира, который характеризуется обилием атмосферных осадков (до 1100-1400 мм/год), высокой влажностью (средняя относительная влажность воздуха 80%), муссонным режимом ветров, мягкой зимой и прохладным летом, можно определить как типично морской климат умеренных широт с незначительным влиянием муссонов [Южные..., 1992].

Климатические особенности и рельеф территории оказывают непосредственное влияние на формирование подземных и поверхностных вод. Внутренние воды суши на исследуемых островах представлены реками, озерами, подземными водами, болотами и снежниками.

Речная сеть на Южных Курильских островах хорошо развита. Наиболее крупные реки Славная, Курилка, Куйбышевка и Хвойная (о. Итуруп), Тятиня и Лесная (о. Кунашир) имеют протяженность 20-25 км. В верховьях они типично горные, скорость течения здесь до 5 м/с. Руслу их изобилуют перекатами и водопадами. Реки и ручьи, берущие начало с сольфатарных полей или дренирующие поля гидротермально измененных пород, несут кислые и ультракислые воды с pH от 5.0 до 1.5. Все реки Южных Курил имеют повышенный зимний сток, составляющий порядка 25% от годового стока. На долю весеннего половодья, которое начинается в апреле и заканчивается в мае, приходится почти половина годового стока. В теплый период бывает от 2 до 4 дождевых паводков. Средняя их продолжительность составляет 6-15 суток, на крупных реках – до 18 суток. Ход температуры речных вод с некоторым запозданием повторяет годовой ход температуры воздуха. Вследствие преобладания грунтового питания температура воды зимой остается плюсовой [Южные..., 1992].

Озера на островах Итуруп и Кунашир распространены достаточно широко и сосредоточены, в основном, в прибрежной части и в горных котловинах. Наиболее крупные из них оз. Песчаное (8.0 км²) на Кунашире, оз. Благодатное (6.0 км²) и оз. Красивое (5.8 км²) на Итурупе. Особо следует выделить внутрикальдерные озера вулкана Головинна – Горячее и Кипящее, питающиеся термальными кислыми водами [Южные..., 1992].

Подземные воды Южных Курил представлены как минеральными горячими водами, так и пресными грунтовыми. Болота немногочисленны и приурочены к поймам рек, озерным и морским террасам. Небольшие снежники часто наблюдаются на вершинах вулканов на протяжении всего лета (влк. Тятя с небольшими участками снежников в атрио вулкана и погребенные под шлаком снежники в барранкосах) [Государственная..., 2002].

2.5. Гидрогеологическое строение района

На гидрогеологические условия исследуемой нами территории большое влияние оказывают геологическое строение и тектоника, климат и рельеф местности.

Острова Кунашир и Итуруп и прилегающая к ним акватория относятся, согласно работе [Государственная..., 2002], к Южно-Курильскому островодужному гидрогеологическому району Курильской островодужной гидрогеологической области (рис. 3), в пределах которого на изученной площади выделяются струк-

туры первого порядка: Южно-Охотский субаквальный артезианский бассейн, приуроченный к одноименной котловине; Большекурильская система адмассивов, артезианских бассейнов, приуроченная к Большекурильской зоне блоковых поднятий; Срединно-Курильский субаквальный артезианский бассейн, приуроченный к одноименному междуготовому прогибу; Малокурильская система гидрогеологических массивов и адмассивов, приуроченная к Малокурильской зоне блоковых поднятий.

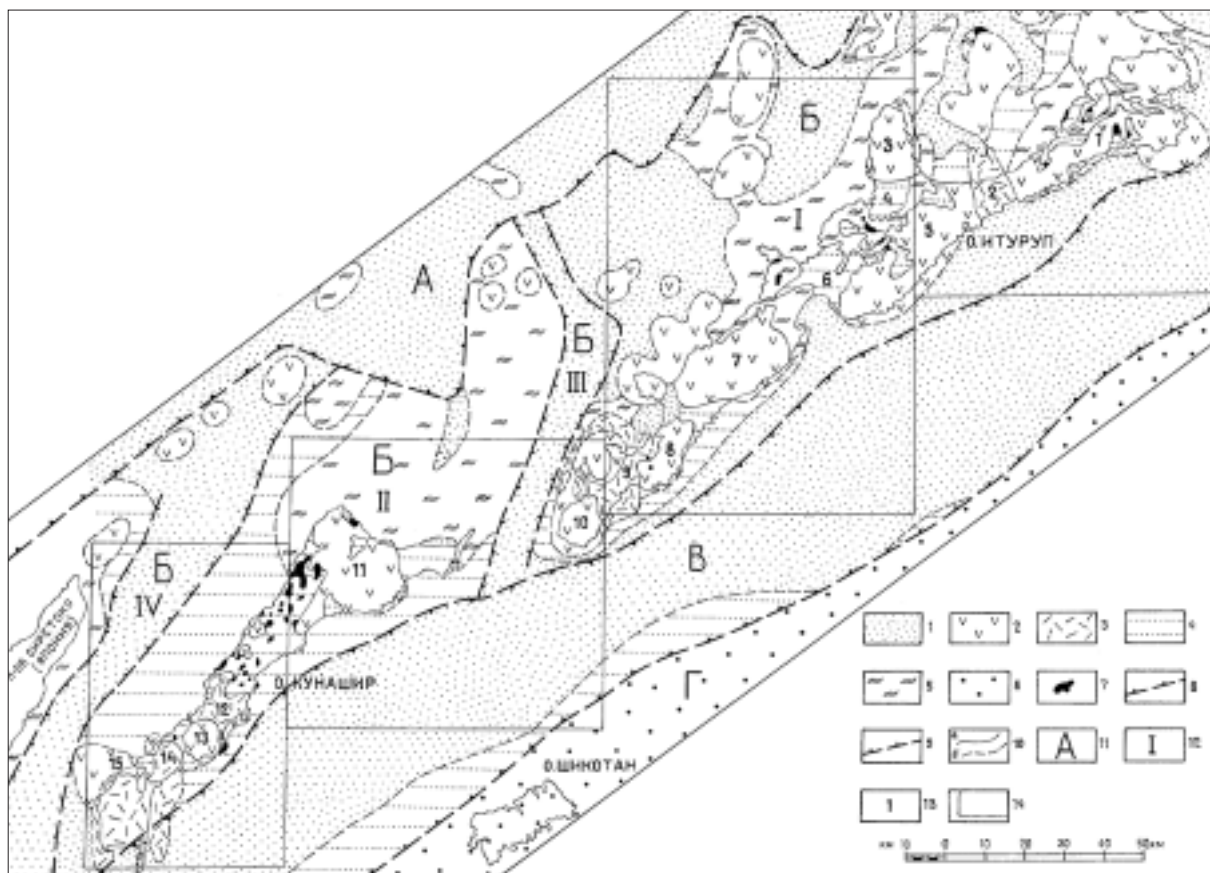


Рис. 3. Схема гидрогеологического районирования Южных Курил по типам скопления подземных вод [Государственная..., 2002]. 1 - 7 – преобладающие типы скопления подземных вод: 1 – порово-пластовые в рыхлых и слаболифитизированных четвертичных и верхнеплиоцен-четвертичных отложениях, 2 – порово-трещинно-пластовые в позднеплиоцен-четвертичных эффузивных породах, 3 – порово-пластовые и порово-трещинно-пластовые в слаболифитизированных вулканокластических и вулканогенно-терригенных, преимущественно пемзовых эоплейстоцен-верхнеплейстоценовых и рыхлых четвертичных породах, 4 – порово-трещинно-пластовые в терригенных породах неогена, 5 – трещинные и трещинно-жильные в вулканогенно-терригенных породах неогена, 6 – трещинные и трещинно-жильные в вулканогенно-терригенных верхнемеловых породах, 7 – трещинные в зоне выветривания и трещинно-жильные в разновозрастных интрузивных и субвулканических породах; 8 - 10 – границы гидрогеологических структур: 8 – первого порядка, 9 – второго порядка, 10 – наложенных гидрогеологических структур третьего порядка на суше (а) и типов скопления вод под морскими акваториями (б); 1 - 14 – индексы и номера гидрогеологических структур: 11 – первого порядка, 12 – второго порядка, 13 – наложенных островных гидрогеологических структур третьего порядка; 14 – границы компоновок издаваемых листов Госгеолкарты-200. Основные гидрогеологические структуры первого порядка: А – Южно-Охотский субаквальный артезианский бассейн, Б – Большекурильская система островных и субаквальных массивов, адмассивов, вулканогенных бассейнов и артезианских бассейнов, В – Срединно-Курильский субаквальный артезианский бассейн, Г – Малокурильская система островных и субаквальных гидрогеологических массивов и адмассивов. Островные и субаквальные гидрогеологические структуры второго порядка в пределах Большекурильской системы: I – Итурупская, II – Кунаширская, III – субаквальный артезианский бассейн пролива Екатерины, IV – субаквальный артезианский бассейн пролива Немуро. Наложённые островные гидрогеологические структуры третьего порядка: плиоценовые артезианские бассейны порово-трещинно-пластовых напорных и безнапорных вод: 4 – Лебединский, 6 – Благодатненский; плиоцен-четвертичные вулканогенные бассейны порово-трещинно-пластовых вод – 1 – Северо-Итурупский, 3 – Чирпский, 5 – Грозненский, 7 – Богатырский, 8 – Урумтетский, 10 – Южно-Итурупский, 11 – Северо-Кунаширский, 13 – Менделеевский, 15 – Головинский; четвертичные артезианские бассейны порово-пластовых и порово-трещинно-пластовых напорно-безнапорных вод: 2 – Ветровский, 9 – Роковский, 12 – Южно-Курильский, 14 – Южно-Кунаширский.

В пределах Большекурильской системы адмассивов и артезианских бассейнов выделяются структуры второго порядка: Итурупский и Кунаширский гидрогеологические адмассивы, субаквальные артезианские бассейны Екатерины и Немуро. Гидрогеологическая обстановка в пределах Итурупского и Кунаширского адмассивов весьма сложная и определяется положением островов в горнотаежной ландшафтной зоне с ярко выраженным муссонным климатом и спецификой островодужного геолого-тектонического строения с развитием современного вулканизма. Основным источником питания подземных вод являются атмосферные осадки (до 1800 мм в год), величина которых в 5-7 раз превышает испаряемость. Среднегорный рельеф островов при незначительном удалении от региональных базисов разгрузки (Охотское море, Тихий океан), хорошие фильтрационные характеристики водовмещающих пород, интенсивная тектоническая раздробленность, обилие осадков, тенденция островов к постоянному вздыманию на неотектоническом этапе – все это способствует интенсивному промыванию неогеновых отложений инфильтрационными водами на значительную глубину. В верхней зоне свободного водообмена, распространенной до глубины 200-250 м, воды характеризуются низкой минерализацией (0.1-0.3 г/л) и, преимущественно, гидрокарбонатно-хлоридным натриевым химическим составом. Ниже зоны свободного водообмена находятся солоноватые и соленые воды. К зонам разломов приурочены трещинно-жильные воды, отличающиеся от вод верхней зоны по химическому составу, иногда – воды термальные. Вулканические бассейны представляют собой наложенные на породы фундамента положительные гидрогеологические структуры с центробежным движением подземных вод. Гидрогеологический разрез представлен водоносным комплексом плиоцен-четвертичных пологозалегающих лав, лавобрекчий и пирокластических отложений с порово-трещинно-пластовыми водами. По химическому составу воды хлоридно-гидрокарбонатные и сульфатно-гидрокарбонатные натриевые с минерализацией до 0.1-0.5 г/л. Современные гидрогеотермальные системы значительно разнообразят химический состав и температуру подземных вод. Наложённые артезианские и субартезианские бассейны представлены водоносными комплексами рыхлых четвертичных отложений и слаболитифицированных плиоценовых отложений с порово-пластовыми, напорными и безнапорными водами. По составу эти воды хлоридно-гидрокарбонатные натриевые с минерализацией от 0.1 до 0.4 г/л. В зависимости от литологии, тектоники и стратиграфической приуроченности водовмещающих пород, в пределах островной суши в Кунаширском и Итурупском адмассивах выделяются несколько водоносных горизонтов и комплексов, которые детально описаны в работе [Государственная..., 2002].

2.6. Специфика почв, флоры и фауны

Специфические черты почвенно-растительного покрова и животный мир определяются географическим положением и историей развития региона, особенностями климата, рельефа и внутренних вод.

В формировании почв областей активного вулканизма участие принимают два фактора: вулканогенный и биогенный. Это находит отражение в строении и свойствах почвенных профилей. Роль вулканогенного фактора проявляется

в постоянном обновлении литогенной основы и прерывистости элементарных процессов почвообразования. Вулканогенный фактор обуславливает формирование своеобразной структуры почвенного покрова. В районах активного вулканизма, особенно в зоне действия вулканов, почвенный покров отличается ясно выраженной кольцеобразной зональностью, которая не только нарушает природную зональность в принятом в почвоведении понимании, но и создает свою. В распределении почв на территории Южных Курил четко прослеживается высотная поясность. Для низинных участков, таких как приозерные и приморские террасы, поймы крупных рек, характерны болотные и торфяно-болотные типы почв. На более возвышенных участках господствуют дерново-луговые почвы. Низкогорная часть большей территории островов находится под горными лесными бурыми кислыми неоподзоленными и слабооподзоленными почвами. Почвы вулканических построек относятся к горно-лесным кислым пропитанно-многогумусным оподзоленным типам почв. В атрио, на внутренних и побочных конусах некоторых вулканов (вулканы Тятя, Атсонупури), на молодых экстрезивных куполах вулканов Баранского и Иван Грозный (о. Итуруп) почвенный покров отсутствует или только начинает сформировываться. В районах сольфатарных полей почвы только начинают формироваться [Ивлев, 1982].

Растительный и животный мир Южных Курил разнообразен. Одной из характерных особенностей флоры данного региона является крайне малое, по сравнению с другими островами, достаточно удаленными от материка, число эндемиков. Другая характерная черта – редкая встречаемость большинства видов. Д.П. Воробьев [1963] относит Южные Курильские острова к Курило-Сахалинскому округу Японо-Корейской океанической провинции Дальневосточной хвойно-широколиственной лесной подобласти, которая входит в состав Восточно-Азиатской хвойно-широколиственной области зоны смешанных хвойно-широколиственных лесов. В.Б. Баркалов [2002] предлагает выделить на Курильских островах 5 флористических районов: 1) Северо-Курильский; 2) Средне-Курильский; 3) Урупский; 4) Южно-Курильский; 5) Мало-Курильский. Данное районирование он провел на основе количественного соотношения семейств, родов и видов растений. Южно-Курильский район включает в себя полностью о. Кунашир и о. Итуруп до перешейка Ветровой. Это район темнохвойных и смешанных лесов с большим количеством южных элементов и двумя подрайонами: подрайон широколиственных лесов – южная часть острова Кунашир, подрайон темнохвойных лесов – остальная часть Кунашира и Итуруп.

На Южных Курилах встречаются представители нескольких флор: японо-корейской, маньчжурской и охотско-камчатской [Алексеева, 1983; Атлас..., 1994]. Основу растительного покрова островов составляют леса. Темнохвойные леса образованы пихтой сахалинской (*Abies sachalinensis*), елями мелкосеменной и Глена (*Picea dlihnii*), с присутствием лиственных пород – клена, каменной березы (*Betula ermanii*), дуба, бархата сахалинского. Широколиственные леса состоят из дуба (*Quercus crispula* и *Q. dentata*), клена (*Aser mayerii* и *A. Tschonoskii*), ильма (*Ulmus laciniata*), бархата. В лесах встречается большое количество видов деревянистых лиан: виноград Конье, актинидия острая, гортензия черешчатая. В разреженных древостоях и на полянах широко распространены кустарниковые сообщества, образованные одревесневающими злаками из рода саза (*Sasa*) – бамбучники. Ольховники, образованные *Duschekia fruticosa*, приурочены, главным образом, к

подгольцовому поясу, где они, в отличие от кедрового стланика, занимают более увлажненные участки склонов и спускаются по стоковым ложбинам до побережья. В поймах рек пышно вегетирует высокотравье, достигающее 2-3-х метровой высоты [Баркалов, 2002]. Среди фоновых ландшафтных видов следует выделить курильский бамбучник, кедровый стланик (*Pinus pumila*) и ольховый стланик (*Duschekia fruticosa* и *D. Maximowiczii*). После пожаров кедровостланиковые сообщества сменяются зарослями курильского бамбука [Манько, Розенберг, 1970].

Разреженная растительность шлаковых полей, представленная группировками травянистых растений и кустарничков, по своему составу ближе к горно-тундровой. К широко распространенным на острове пионерным видам относятся осоки ктаусипальская, островерхая и желтоконечная (*Carex ktausipali*, *C. oxyandra*, *C. flavocuspis*), мятлик мягкоцветковый (*Poa malacantha*), камнеломки Мерка и краснеющая (*Saxifraga markii*, *S. Purpurascens*) и ряд других [Баркалов, 2002].

В зоогеографическом отношении Курильские острова входят в Европейско-Сибирскую и Маньчжурскую подобласти Палеоарктики, Южные Курилы выделяют в Японскую подпровинцию, т.к. видовой состав животного мира близок к хоккайдскому [Атлас..., 1967]. Видовой состав наземных позвоночных не очень богат [Воронов, 1974]. Самый крупный представитель млекопитающих – бурый медведь – водится здесь в больших количествах. На островах встречаются также лисица, соболь, ласка, акклиматизированная в начале 1980-х европейская норка, заяц, мышевидные грызуны: красно-серая полевка, японская мышь, шикотанская полевка, серая крыса, 5 видов землероек-бурозубок. Отмечено 7 видов рукокрылых. На Южных Курильских островах много пролетных, перелетных и зимующих видов птиц. Кунашир – южное место зимовки розовой чайки. Здесь можно встретить также японскую желтоспинную мухоловку, японского журавля, японскую зарянку, японскую завирушку и рыжего воробья. На островах отмечено 15 видов дневных хищных птиц и 8 видов сов. На кекурах и скалистых берегах селятся морские колониальные птицы, образующие птичьи базары. Герпетофауна насчитывает 4 вида: 3 вида полозов и 1 вид ящерицы – сцинк дальневосточный. На островах встречаются 3 вида амфибий [Южные..., 1992; Атлас..., 1994].

В пресноводных водоемах Южных Курильских островов встречаются горбуша, кета, сима, кижуч, нерка, сахалинский таймень, красноперка, мальма, корюшка-зубатка, колюшки, камбала речная, дальневосточная ручьевая минога, представители семейства бычковые и др. [Шедько, 1999; 2002].

Ежегодно видовой список флоры и фауны Южных Курил увеличивается благодаря многочисленным полевым исследованиям ученых заповедника «Курильский», ведущих университетов страны и институтов Российской академии наук.

Глава 3

РАСПРОСТРАНЕНИЕ, СОСТАВ И ТИПИЗАЦИЯ ТЕРМАЛЬНЫХ ВОД ЮЖНЫХ КУРИЛ

В течение нескольких лет автором совместно с коллегами изучались гидротермы Южных Курильских островов (о. Кунашир, о. Итуруп). На Кунашире были исследованы практически все группы термальных источников, в том числе и слабоизученные Нескученские источники на севере острова. На Итурупе детально изучены термальные источники центральной южной части острова, получены данные по термальным водам в кальдере Медвежья на северо-востоке острова. Ниже приводится краткое описание термопроявлений и месторождений термальных вод островов Кунашир и Итуруп.

3.1. Гидротермы острова Кунашир

На острове Кунашир имеется четыре активных вулкана, три из которых находятся на гидротермально-сульфатарной стадии активности: вулканы Руруй, Менделеева и Головнина (рис. 4). Для удобства описания гидротермальных систем можно условно разделить о. Кунашир на три части: северную, центральную и южную. Северная часть включает хребет Докучаева, который на севере венчает вулкан Руруй, несколько в стороне от хребта находится вулкан Тятя. На внешнем склоне вершинной части центрального конуса вулкана Тятя и в его кратерах (рис. 5, 6) наблюдаются выходы сульфатарных газов с температурой 80-90 °С. Современная гидротермально-сульфатарная деятельность проявляется у вулкана Руруй. Также в северной части острова имеется Прасоловское термопроявление в долине реки Северянка и термальный источник Добрый Ключ на тихоокеанском побережье. Центральная часть острова представлена вулканом Менделеева, для которого характерна высокая гидротермально-сульфатарная активность. Сульфатарные газы выходят в пределах четырех сульфатарных полей, термальные воды разгружаются в долинах рек и ручьев и на тихоокеанском побережье. К южной части Кунашира относится постройка вулкана Головнина. В кальдере вулкана Головнина находятся сульфатарные поля и два озера, питаемые термальными водами. У подножья внешнего склона вулкана, на охотоморском побережье, выходят сульфатарные газы и термальные воды.

3.1.1. Гидротермы северной части Кунашира

Плейстоцен-голоценовая вулканическая активность северной части острова Кунашир связана с вулканами Руруй, Тятя, Сибирцева и субвулканическими

телями Вильямса и Гедройца. Несмотря на высокую плотность и многообразие морфогенетических типов вулканических построек, термальные проявления, связанные с поствулканической деятельностью, в этом районе распространены незначительно.

На вулкане Руруй (рис. 7) термальная и сольфатарная активность сосредоточена на западном склоне на площади около 1.5 км² – Нескученская группа термальных источников (рис. 8). На вулкане Тятя слабая сольфатарная активность приурочена к вершинному кратеру, хотя в период активизации вулкана в 1973 году А.И. Абдурахмановым [Абдурахманов, Федорченко, 1976б] отмечалось повышение температуры грунтовых вод на северном склоне. Предположительно, небольшие термальные проявления существуют в верховьях реки Птичьей вблизи вулканов-эструзий Вильямса и Гедройца. В 17 км юго-западнее от вулкана Руруй в нижнем течении реки Северянка находится Прасоловское термопроявление.

На побережье Тихого океана находится источник Добрый Ключ, приуроченный к тектоническому разлому.

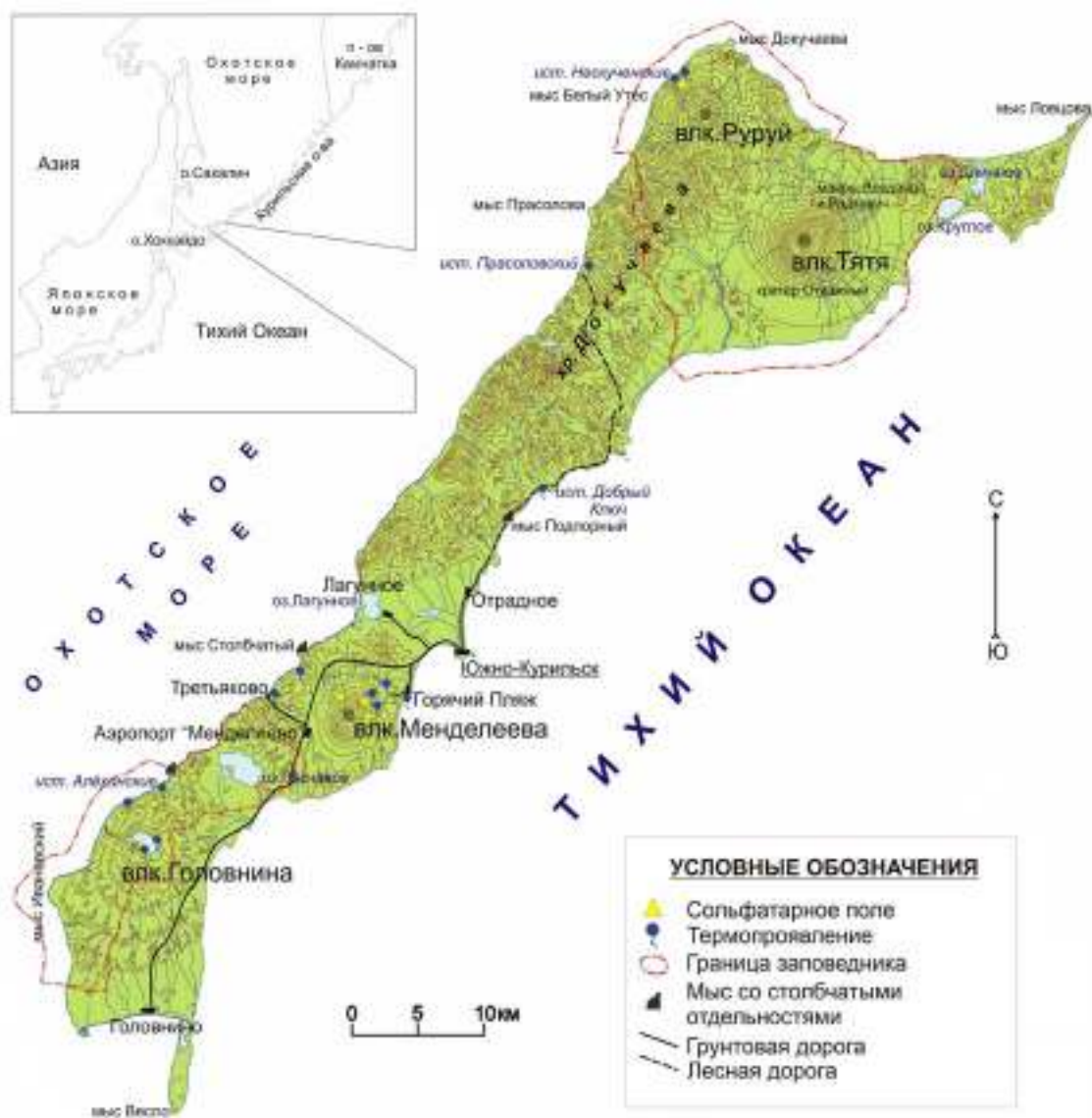


Рис. 4. Схема острова Кунашир.



Рис. 5. Центральный конус вулкана Тятя. Внешний склон конуса местами прогрет, при определенных метеорологических условиях из вершинных кратеров наблюдается парогазовый шлейф.
Фото М.А. Антипина, 18 февраля 2013 года.



Рис. 6. Вершинные кратеры центрального конуса вулкана Тятя. На склонах кратеров видны выходы сольфатарных газов. Фото А.Н. Кораблева, 1994 год.

Нескученское и Прасоловское проявления термальных вод на сегодняшний день являются самыми малоизученными на острове Кунашир, что связано, в первую очередь, с их удаленностью от населенных пунктов и труднодоступностью. Первое краткое описание Нескученских термальных источников было дано Е.К. Мархининым [19566], Ю.К. Гуменным и Ю.Л. Неверовым [1961]. В дальнейшем геохимические особенности гидротерм этого района рассматривались в работах В.С. Знаменского и Д.З. Журавлева [1988], А.Л. Чешко [1994] и других. Комплекс исследований физико-химических параметров источников Нескученской группы в 1980-х годах проводили сотрудники ИМГиГ ДВО РАН Б.Н. Пискунов и А.Н. Кораблев. С начала 1990-х гг. до начала 2000-х гг. сведения о состоянии этих термальных проявлений практически отсутствуют. Имелись лишь данные о визуальных наблюдениях сотрудников заповедника «Курильский», которые отмечали повышение сольфатарной активности.



Рис. 7. Вулкан Руруй. Фото А.В. Рыбина.



Рис. 8. Нескученская группа термальных источников. На побережье сошел оползень, перекрывший основные прибрежные термальные источники. Фото Д.Н. Козлова, 2013 г.

В северной части острова Кунашир выходы термальных вод находятся в пределах Северо-Кунаширского плиоцен-четвертичного вулканического бассейна порово-трещинно-пластовых вод. Гидрогеологическая обстановка в пределах этого бассейна весьма сложная и определяется положением в горно-таежной ландшафтной зоне с ярко выраженным муссонным климатом. Основным источником питания подземных вод являются атмосферные осадки (до 1400 мм в год), величина которых в 5-6 раз превышает испаряемость. Среднегорный рельеф района, хорошие фильтрационные характеристики водовмещающих пород, система тектонических нарушений и обилие осадков – все это способствует интенсивному промыванию вулканогенных отложений инфильтрационными водами на значительную глубину. По химическому составу подземные воды хлоридно-гидрокарбонатные и сульфатно-гидрокарбонатные натриевые с минерализацией до 0.1-0.5 г/л [Государственная..., 2002]. Химический состав Нескученских термальных источников, источников Прасоловский и Добрый Ключ приведен в таблицах А.1, А.2, А.3, А.12, газовый состав в таблице А.4, изотопный состав в таблице А.5 Приложения А.

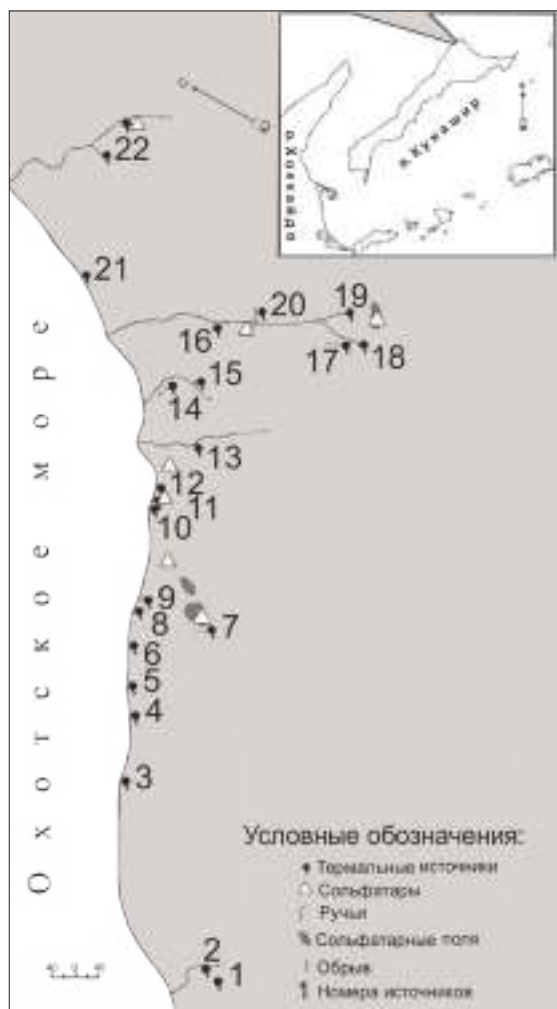


Рис. 9. Схема Нескученских термальных источников.

Нескученская группа термальных источников (рис. 9) простирается в северо-восточном направлении более чем на 1.2 км вдоль берега моря. Участок Нескученских источников сложен плиоцен-четвертичными лавами, лавобрекчиями, туфобрекчиями средне-основного состава. Эти породы залегают горизонтально, либо с небольшим углом падения. Среди эффузивов преимущественным развитием пользуются андезиты-базальты. В местах интенсивной гидротермальной и сольфатарной деятельности андезиты-базальты значительно изменены под влиянием вторичных процессов. Они превращены либо в глину, либо в опалово-халцедоновую породу [Гуменный, Неверов, 1961]. В районе можно выделить несколько сольфатарных полей, площадью до 1700 м², расположенных на высоте 70-200 метров. Выходы термальных вод наблюдаются в руслах небольших горных ручьев, на побережье и в приливно-отливной зоне. Названия сольфатарных полей и термальных источников, приведенные ниже, даны автором [Жарков, 2003; 2004а, б; 2005].

Самый южный источник группы – Старый Ключ (№ 1 на рис. 9) представляет собой малодобитный выход термальной воды с $T=59.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $pH=7.3$ с редкими выделениями газа. Термальная вода

медленно стекает по кальцитовым отложениям, образующим корку мощностью до 2 см. В нескольких десятках метров севернее находится более крупный источник Изумрудный Ключ (№2), выходящий у подножья борта небольшого пресного ручейка (рис. 10). На крутом склоне этого борта имеются следы мощных натеков кальцита, по всей видимости, здесь долгое время и довольно активно функционировал крупный термальный источник. Теперь гидрокарбонатно-сульфатные кальциево-натриевые воды источника с температурой 57 °С смешиваются с пресным ручейком длиной около 80 м. Местами в русле этого ручья встречаются гидротермальные источники, поэтому сам ручей имеет высокую температуру, которая составляет в районе устья 47 °С, а дно покрыто термофильными водорослями (рис. 11). На берегу моря ручей образует двухметровый каскадный водопад (рис. 12), стекая в галечник с террасы.

В 400 метрах севернее, за небольшим мысом, начинается основная группа Нескученских термальных источников. Значительная часть источников расположена в приливно-отливной зоне и на склоне террасы. Источник Двойной (№3) расположен на склоне террасы на высоте примерно 7 метров и представлен двумя малобежитными выходами терм с температурой 35 °С, образующими небольшой теплый ручеек, пропадающий в береговом галечнике. В 120 метрах от него, на уступе террасы, находится источник Одинокый (№4), температура вод которого 35 °С, и, как у предыдущего источника, на дне ручейка отлагается кальцит, встречаются термофильные водоросли.

Далее по берегу из-под галечника наблюдаются выходы термальной воды и пара. Здесь на протяжении 400 метров можно выделить несколько групп терм, объединенных под общим названием «Горячий Парк». Самая южная группа представляет собой выходы пара в виде параллельных полос (№5), которые легко проследить, так как пар конденсируется на галечнике, причем со временем простирание их изменяется. Температура пара на поверхности галечника около 50 °С и резко возрастает с глубиной. Севернее находится восходящий источник Первый Подкаменный (№6). Здесь под валуном с шумом «кипит» термальная вода с температурой 98.5 °С. Следующую группу составляет т.н. «Береговое Поле» (источник №8 на схеме – центр «Берегового Поля»). Это небольшая парящая площадка галечника площадью около 100 м². Температура пара вблизи поверхности достигает 80 °С. Недалеко находится группа источников, термы которых сливаются в общий ручей. Все источники располагаются на уступе первой морской террасы и у его подножья. Самый крупный источник Парящий (№9) на высоте около 1.5 метров над пляжем представляет собой котел диаметром 25 см, заполненный термальной водой с температурой 100 °С, из которого с ревом вырывается столб пара на высоту до 15 метров (рис. 13). Чуть ниже имеется котел диаметром 30 см, температура воды в нем 100 °С. Термы этих котлов образуют небольшой ручей, в русле которого есть выходы газа, источники с температурой до 100.7 °С. По краям котлов и в русле ручейка заметны отложения серы и термофильные водоросли.

Выше этих источников находятся два небольших сольфатарных поля. Первое Верхнее сольфатарное поле расположено на высоте около 70 метров и занимает площадь около 1700 м². Активная сольфатарная деятельность наблюдается в самой вершинной его части (рис. 14), температура сольфатарных газов достигает 100 °С.



Рис. 10. Термальный источник Изумрудный Ключ. Фото автора, 2003 год.



Рис. 11. Термофильные водоросли источника Изумрудный Ключ. Фото А.В. Кордюкова, 2014 год.



Рис. 12. Устье ручья. Фото А.К. Ежкина, 2014 год.

Выход газа происходит по мелким трещинам, на стенках которых отлагаются тонкие корки темно-желтой сублимационной серы с примесью ярозита. Породы в сольфатарных зонах сильно каолинизированы и превращены в глину.

Южнее от этого поля в зарослях бамбука находится малodeбитный термальный источник Лесной (№7), дающий начало небольшому ручейку. Температура воды источника 96 °С, на дне ручейка видны отложения серы и скопления термофильных водорослей. Чуть севернее сольфатарного поля находится Второе Верхнее поле овальной формы, занимающее площадь около 800 м². Здесь также сольфатарные выходы имеют температуру до 100 °С, и выводящие трещины в слабокаолинизированных андезито-базальтах выположены сублимационной серой. Ниже, у подножья террасы, находится крупный выход пара, температура которого достигает 100 °С. Несколько севернее, на побережье, находится небольшая группа Подкаменных термальных источников. Термальные воды с температурой 99-100.7 °С выходят из-под глыб андезито-базальтов (рис. 15). Здесь можно выделить три наиболее крупных источника (№10-12) и несколько выходов пара с температурой до 101.7 °С. Невдалеке, на отвесном уступе террасы, сконцентрированы сольфатары с температурой до 100.9 °С (рис. 16). На этом группа гидротермальных и сольфатарных выходов, названная «Горячий Парк», заканчивается. Далее термальные воды разгружаются преимущественно в долинах небольших ручьев. Источник Белый Ключ (№13) расположен на высоте около 25 метров в левом борту ручья с холодной кислой водой (рис. 17). Ручей имеет узкую каньонообразную долину с многочисленными небольшими водопадами (рис. 18). Сульфатно-гидрокарбонатная кальциево-натриевая термальная вода источника выходит из-под валуна и небольшим ручейком вливается в холодный ручей. Температура воды источника 74.4 °С, pH=7.1, на дне ручейка местами развиваются термофильные водоросли.

Следующий ручей также с кислой холодной водой имеет в своей долине несколько термальных источников. Источник Славный (№15) расположен на правом борту ручья, представляет собой малodeбитный выход сульфатно-гидрокарбонатных кальциево-натриевых терм с температурой 89.4 °С и pH=6.9. На его левом борту, на высоте 6 метров от русла ручья, на склоне обрыва находится небольшая группа источников (рис. 19). Здесь выход терм происходит по трещинам в андезито-базальтах, образуя сплошной очаг разгрузки на протяжении двух метров (рис. 20). Температура воды достигает 85 °С. Чуть ниже расположен источник с температурой 89 °С, термальная вода источника образует короткий ручей, который впадает в холодный кислый ручей. Источник Дозорный (№14) находится на бровке обрыва (рис. 21) и имеет довольно высокий дебит. Термальные воды источника с температурой 82 °С образуют ручей длиной около 20 метров. В его русле отлагается кальцит и развиты термофильные водоросли.

Севернее протекает сравнительно крупный кислый ручей, который берет начало с Третьего Верхнего сольфатарного поля. В долине этого ручья находятся десятки термальных источников и выходов сольфатарных газов. Сольфатарное поле несколько вытянуто в северо-восточном направлении и занимает циркообразный уступ террасы площадью около 1000 м² (рис. 22). Средняя температура сольфатарных газов 80-95 °С, максимальная температура зафиксирована в юго-западной части поля и составляет 108.7 °С. Вокруг сольфатар отлагается сера, а породы гидротермально изменены (рис. 23).



Рис. 13. Источник Парящий. Фото И.М. Климанцова, 2003 год.

Источник термальных вод Высокий (№19) расположен у Третьего Верхнего сольфатарного поля на абсолютной высоте порядка 210 метров. Сульфатные кальциево-натриевые воды источника кислые ($\text{pH}=2.2$), с относительно высоким содержанием Al^{3+} (20.2 мг/л), Fe^{2+} (10.5 мг/л), Fe^{3+} (3.5 мг/л) и H^+ (7.9 мг/л). Температура его вод – 91.7 °С. Невдалеке, из-под обрыва, выходят термальные воды, образуя три источника с температурой вод 67-82 °С. Вода источников кислая, с запахом сероводорода. Источник Серный (№18) находится немного выше, в зарослях курильского бамбука и кедрового стланика. Кислые ($\text{pH}=2.6$) сульфатные кальциево-натриевые термальные воды источника имеют температуру 42.6 °С. В 30 метрах от него, в зарослях кедрового стланика, активно действует источник Кедровый (№17) с температурой воды 85 °С, образуя небольшой горячий ручей. Все вышеописанные гидротермальные источники находятся в верхней части долины кислого холодного ручья длиной около 600 метров, который имеет множество порогов и небольших водопадов. Следующая ниже по течению группа источников и сольфатарных выходов расположена в пределах уступа террасы, с которой ручей падает трехметровым водопадом. Здесь множество дисперсных выходов сольфатарных газов и термальных вод. Термальные воды источника Пестрый (№20) с густым поровым термофильных водорослей широким потоком стекают по вертикальному обрыву, раскрасив его в оттенки изумрудно-зеленого и коричневого цветов. На склоне обрыва встречаются небольшие сольфатарные выходы с температурой более 90 °С. Источник Скалистый (№16) расположен ниже по течению. Вода источника кислая с температурой 46.5 °С.

Севернее этого ручья, в пределах приливно-отливной полосы, находится источник Седьмой Подкаменный (№21). Сульфатно-гидрокарбонатная кальциево-натриевая вода этого источника имеет температуру 85.7 °С и $\text{pH}=7.5$. Выходя из-под небольшого валуна, она коротким ручейком стекает в Охотское море.

Следующий по побережью ручей является своего рода естественной границей Нескученской группы термальных источников. В долине ручья есть две «потухшие» сольфатарные площадки, множество гидротермальных и сольфатарных выходов. В районе истока ручья, вдоль его левого борта на высоте примерно 2.5 метра над руслом, идет сплошная разгрузка терм с температурой до 99 °С (рис. 24, 25). Здесь же множество выходов сольфатарных газов с температурой до 100 °С. Ниже по течению в ручей впадает небольшой горячий ручеек с температурой около 80 °С. Он образован термальными водами источника Ветвистый (№22 на рис. 9), температура которых 99.6 °С.

По химическому составу воды Нескученских термальных источников можно разделить на три группы, имеющие разный анионный состав: сульфатные, сульфатно-гидрокарбонатные, гидрокарбонатно-сульфатные (рис. 26). В группу сульфатных терм входят кислые термы источников Третьего Верхнего сольфатарного поля, нейтральные и слабощелочные сульфатно-гидрокарбонатные источники расположены ниже по склону и в прибрежной части. На первой морской террасе выходят гидрокарбонатно-сульфатные термы. Катионный состав термальных источников, независимо от значений pH и температуры, практически одинаков [Жарков, 2003; 2004а; 2004б; 2005; 2013б].

Изотопный состав водорода и кислорода термальных вод Нескученских источников, по данным автора и А.Л. Чешко [1994], соответствует метеорным водам (изотопный состав метеорных вод региона $\delta\text{D}=-65\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O}=-9.1\text{‰}$).



Рис. 14. Первое Верхнее сольфатарное поле. Фото автора, 2003 год.



Рис. 15. Подкаменные термальные источники на побережье. Фото автора, 2003 год.



Рис. 16. Сольфатарные площадки на побережье. Фото автора, 2003 год.



Рис. 17. Ручей с термальным источником Белый Ключ. Фото автора, 2003 год.



Рис. 18. Источник Белый Ключ. Фото автора, 2003 год.



Рис. 19. Ручей с термальными источниками. Фото И.М. Климанцова, 2003 год.



Рис. 20. Выходы гидротерм в борту ручья. Фото автора, 2003 год.



Рис. 21. Термальный источник Дозорный. Фото автора, 2003 год.



Рис. 22. Третье Верхнее сольфатарное поле. Фото автора, 2003 год.



Рис. 23. Сольфатары в центральной части поля. Фото автора, 2003 год.



Рис. 24. Ручей с термальными источниками. Фото И.М. Климанцова, 2003 год.



Рис. 25. Основной очаг разгрузки термальных вод в ручье. На переднем плане И.М. Климанцов. Фото автора, 2003 год.

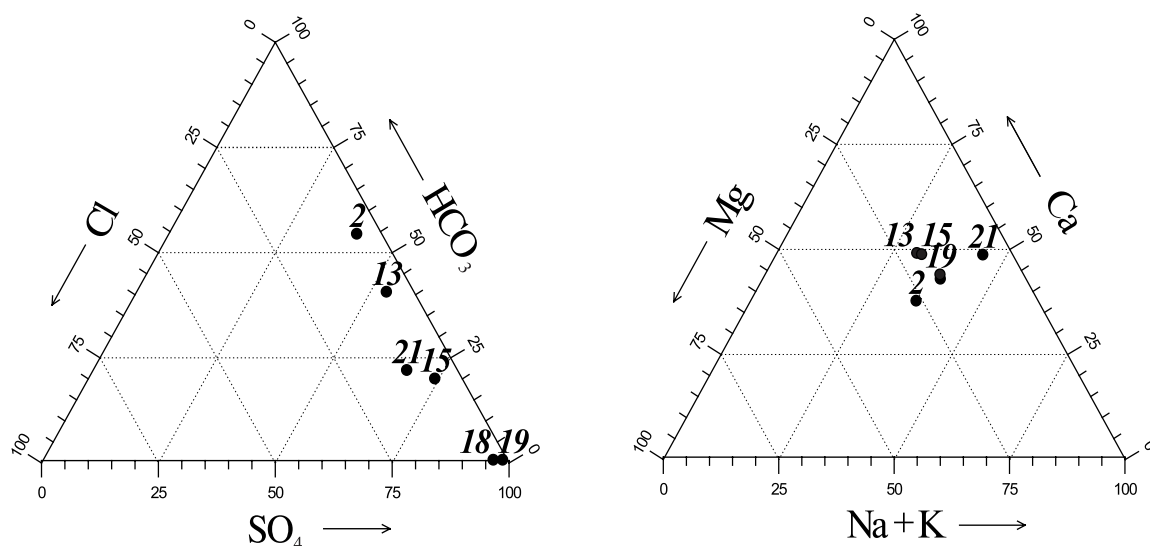


Рис. 26. Соотношение основных ионов в термальных водах Нескученских источников:
2 - Изумрудный Ключ; 13 - Белый Ключ; 15 - Славный; 18 - Серный; 19 - Высокий; 21 - Седьмой Подкаменный.

Это говорит о том, что в питании термальных вод участвуют, преимущественно, воды атмосферного происхождения, которые нагреваются на глубине и затем поднимаются к поверхности по разломам.

Прасоловский источник расположен в нижнем течении реки Северянка, в 17 км юго-западнее от Нескученской группы. Его азотные, сульфатные кальциево-натриевые термы с температурой 37 °С и pH=6.9 разгружаются на первой речной террасе, примерно в 1.7 км от устья реки [Жарков, 2005]. В устье р. Северянка расположен небольшой поселок геологов (рис. 27) и кордон заповедника «Курильский», поэтому Прасоловский источник каптирован деревянным срубом (рис. 28) и иногда используется для купаний.

Источник Добрый Ключ расположен на побережье Тихого океана, примерно на половине расстояния между вулканами Тятя и Менделеева, и представляет собой единичный выход термальной воды с температурой 67-68 °С и pH=8.0. Источник каптирован еще японцами и использовался для купаний. Каптаж представляет собой круглый бетонный колодец глубиной около 2 метров. В 1950-х гг. вода от колодца по металлической трубе поступала в ванный павильон (рис. 29), в котором имелось два небольших бассейна [Иванов, 1955]. В настоящее время термальные воды источника используются для наполнения бетонного бассейна, построенного на месте ванного павильона (рис. 30). Воды источника Добрый Ключ слабощелочные, сульфатно-хлоридные натриевые с невысокой минерализацией. Они содержат в повышенном количестве бром, радон, фтор, медь, мышьяк. В газовом составе преобладает азот, что предполагает значительное участие в питании источника атмосферных осадков [Барабанов, 1976; Мархинин, Стратула, 1977]. Изотопный состав водорода и кислорода идентичен изотопному составу атмосферных осадков острова ($\delta D = -69\text{‰}$, $\delta^{18}O = -10\text{‰}$) по [Чешко, 1994].

Таким образом, можно сделать вывод, что источники северной части Кунашира по физико-химическим параметрам крайне разнообразны и необходимо их дальнейшее изучение. Температура вод термальных источников Нескученской группы варьирует от 40 °С в долинах ручьев до 90-100 °С на сольфатарных полях и на побережье. Температура Прасоловского источника всего 37 °С, а температура источника Добрый Ключ около 68 °С.



Рис. 27. Поселок геологов. Фото автора, 2003 год.



Рис. 28. Прасоловский термальный источник. Фото Д.Н. Козлова, 2013 год.

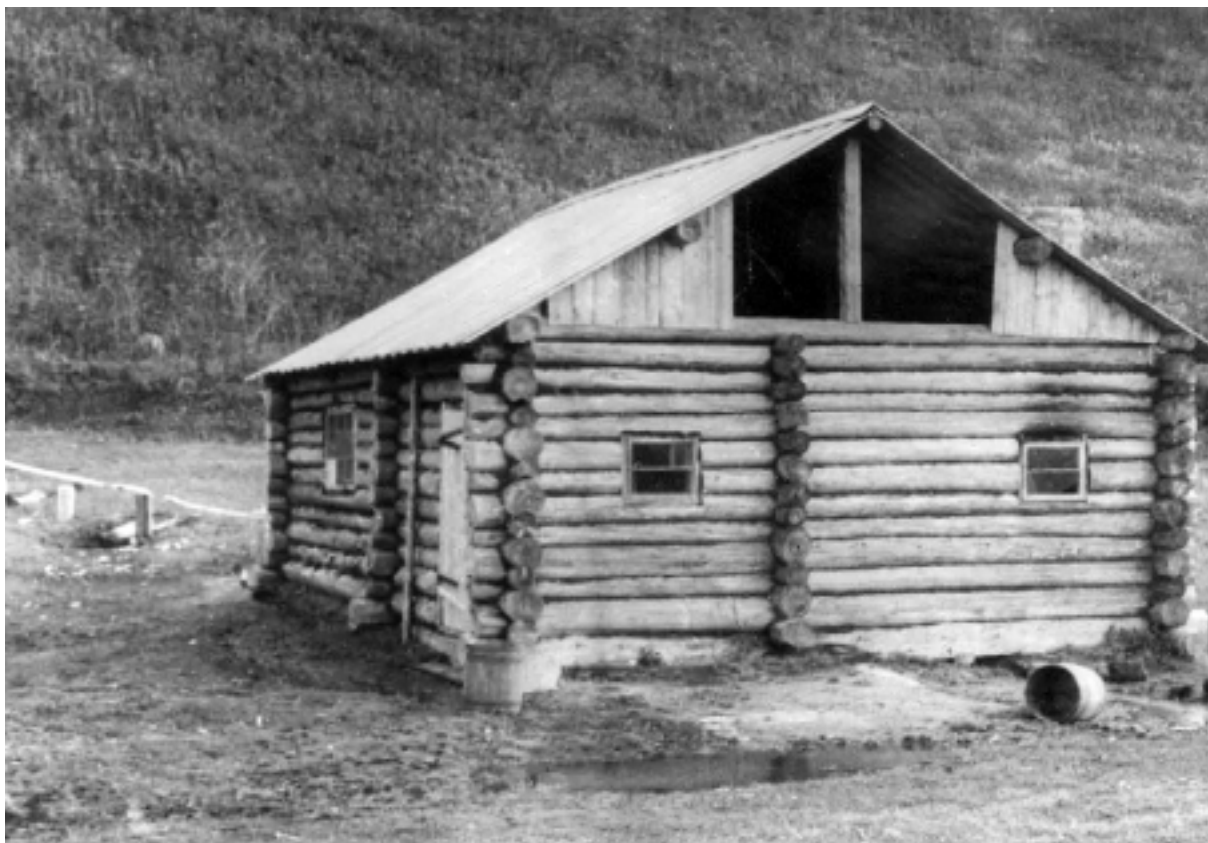


Рис. 29. Ванный павильон около источника Добрый Ключ [Иванов, 1955].



Рис. 30. Бассейн с термальными водами источника Добрый Ключ. Фото автора, 2002 год.

По химическому составу Нескученские источники, в целом, вписываются в классическую схему смены гидрохимических типов терм от кислых сульфатных на высоких гипсоуровнях до субнейтральных сульфатно-гидрокарбонатных и хлоридных натриевых терм в прибрежной части. Прасоловский источник и источник Добрый Ключ приурочены к собственно тектоническим разломам и не имеют прямой связи с современными вулканическими процессами, нагревание вод происходит за счет регионального теплового потока, поэтому по химическому составу они отличаются от Нескученских термальных источников.

В Нескученских источниках также прослеживаются некоторые закономерности в содержании микроэлементов в зависимости от типа воды. Особенно это характерно для редкоземельных элементов (РЗЭ). Содержание редкоземельных элементов в термах Нескученских источников сравнительно низкое. Диапазон концентраций РЗЭ в термальных водах разных источников составляет несколько порядков. Максимальное содержание всех РЗЭ наблюдается в кислых термальных водах (источник Высокий). Субнейтральные сульфатно-гидрокарбонатные воды источника Седьмой Подкаменный содержат наименьшее количество РЗЭ, и их концентрации, в основном, ниже предела чувствительности прибора. Относительно высокое содержание РЗЭ в кислых термах Нескученских источников объясняется тем, что при взаимодействии кислых термальных вод с вмещающими породами увеличиваются процессы выщелачивания элементов из пород, в том числе и увеличивается выщелачивание редкоземельных элементов [Знаменский, Журавлев, 1988].

В ландшафтном отношении район Нескученских источников довольно разнообразен. Сольфатарные поля и источники высокого гипсоуровня расположены на выположенных или крутых участках склона вулкана Руруй среди реликтовых елово-пихтовых лесов с зарослями кедрового стланика и курильского бамбука. Источники среднего гипсоуровня выходят, в основном, на скалистых выступах, их воды с термофильными водорослями и отложениями оксидов железа изумрудно-оранжевыми потоками стекают в Охотское море. На побережье моря среди галечников выходят парогидротермы, от выделяющихся паров вода в некоторых источниках «кипит».

3.1.2. Гидротермы центральной части Кунашира

Вулкан Менделеева находится в центральной части острова Кунашир, от северной части острова ограничен Южно-Курильским перешейком, а на юге отделен Серноводским перешейком от вулкана Головнина. Выходы сольфатарных газов сосредоточены здесь в основном на четырех сольфатарных полях (рис. 31): Юго-Восточном, Восточном, Северо-Восточном (рис. 32), Северо-Западном. В долинах рек и ручьев, берущих начало с сольфатарных полей и с подножья вулкана, расположены группы термальных источников различного химического состава. Термальные источники находятся в верховьях ручьев Четверикова, Лечебного, в долине ручья Кислого, в верховье реки Лесной, в верхнем и нижнем течении ручья Докторского, в нижнем течении ручьев Валентины, Третьякова и Змеинового, а также на побережье Тихого Океана в районе мыса Горячего.

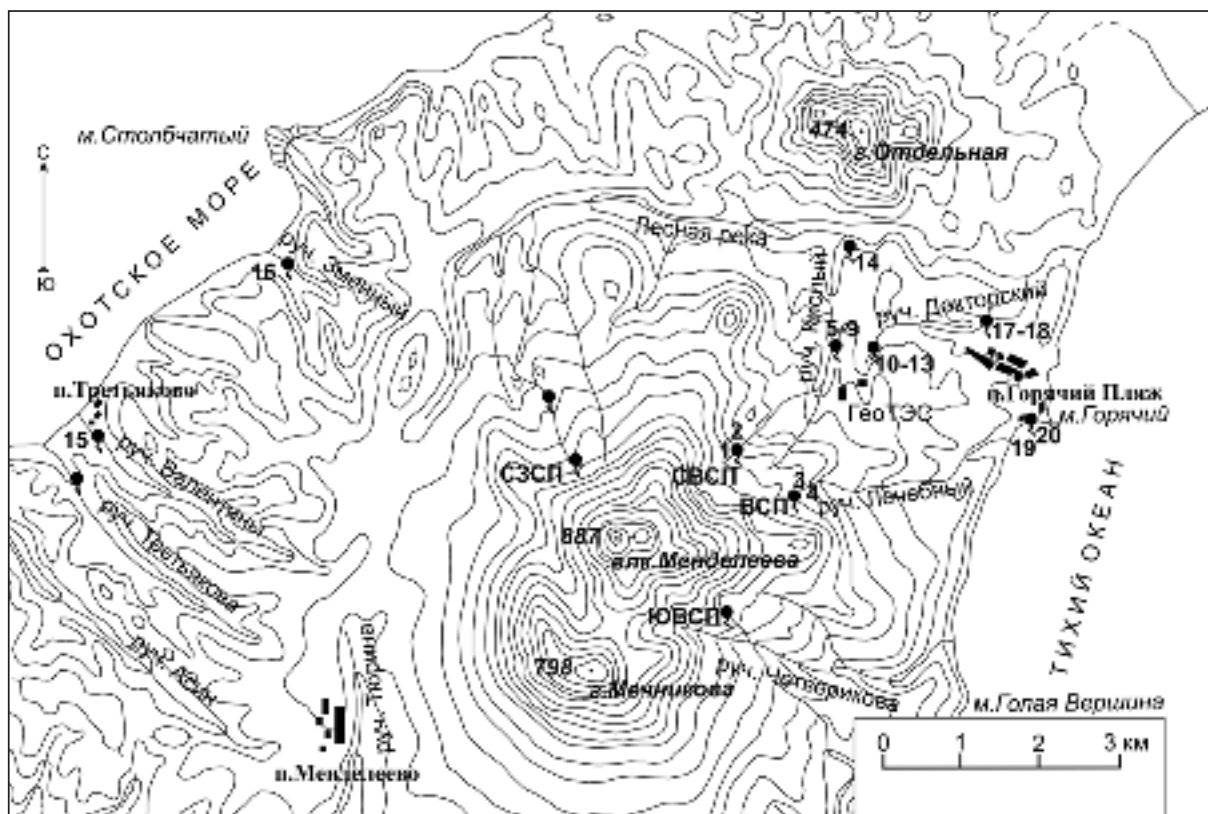


Рис. 31. Схема сольфатарных полей и термопроявлений вулкана Менделеева.

Сольфатарные поля: ЮВСП – Юго-Восточное; ВСП – Восточное; СВСП – Северо-Восточное; СЗСП – Северо-Западное. Номерами обозначены термальные источники: 1 – источник Верхний, 2 – источник Грязевой (ручей Кислый, Верхняя группа); 3 – озеро Овальное, 4 – источник Лечебный (ручей Лечебный); 5 – источник Привальный, 6 – источник Бортовой, 7 – источник Основной, 8 – источник Поворотный; 9 – источник Купальный (ручей Кислый, Нижняя группа); 10 – озеро Гейзерное, 11 – источник Трещина, 12 – источник Мутный (ручей Докторовский, Верхняя группа); 13 – источник Раковина (ручей Докторовский, Нижняя группа); 14 – источник Дикие Ванны (ручей Кислый, Приустьевая группа); 15 – Третьяковские источники; 16 – Столбовские источники; 17 – скважина Дракон, 18 – скважина Бирюзовая (ручей Докторовский, Нижняя группа); 19 – источник Ванночка, 20 – источник мыса Горячий (источники Горячего Пляжа).



Рис. 32. Вулкан Менделеева, Северо-Восточное сольфатарное поле. Фото автора, 2006 год.

Вулкан Менделеева является, пожалуй, самым изученным на Курильских островах. Начало изучения термальных источников и сольфатарных полей было положено В.В. Ивановым и Е.К. Мархиным в первой половине 1950-х гг. Практически все известные исследователи Курильских островов внесли вклад в изучение вулкана. Это связано как с доступностью вулкана, так и с огромным интересом к вулкану, имеющему разнообразие термальных, сольфатарных выходов и продуктов сольфатарно-гидротермальной деятельности.

Значительный вклад в изучение гидротерм вулкана внес С.С. Сидоров [1962, 1966б, 1967], который, в частности, изучал выходы парогидротерм и предложил способы рационального их использования. Вопросами перспективности серных месторождений вулкана занимался Г.М. Власов [1971]. Большой вклад в исследование термальных вод вулкана внесли Ю.А. Аникеев (неопубликованные данные), Е.А. Басков и С.Н. Суриков [1975], В.М. Дуничев [1969, 1971, 1974, 1983], Е.К. Мархинин и Д.С. Стратула [Мархинин, 1966; Мархинин, Стратула, 1977], Л.Н. Барабанов [1976], Л.М. Лебедев, Л.П. Шурманов и И.Б. Никитина [1977], Л.И. Божкова и В.И. Федорченко [1979], И.П. Аверьянов, Л.М. Божкова [1985], А.Н. Кораблев [Южные..., 1992] и многие другие. Детальная разведка месторождения парогидротерм Горячего Пляжа позволила провести обоснование [Таран и др., 1991] строительства в начале 1990-х гг. ГеоТЭС на вулкане Менделеева.

С конца 1990-х гг. изучение сольфатарно-гидротермальной активности вулкана были продолжены сотрудниками лаборатории вулканологии и вулканопасности ИМГиГ ДВО РАН: А.В. Рыбиным, В.Б. Гурьяновым [Вулкан..., 2004]. С 2001 года исследование некоторых термальных источников вулкана Менделеева проводили сотрудники ДВГИ ДВО РАН и ТИГ ДВО РАН О.В. Чудаев, В.А. Чудаева, Г.А. Челноков, И.В. Брагин [Чудаев и др., 2003; Чудаев, Чудаева, 2004; Recent..., 2004; Chelnokov, 2004; Geochemistry..., 2006a, 2006b].

Полевые работы по изучению гидротермальных и сольфатарных выходов вулкана Менделеева проводились автором с 2002 года, исследованы практически все термальные источники и крупные сольфатары вулкана Менделеева [Жарков, 2006; 2007б; 2008].

Вулкан Менделеева прошел длительную и очень сложную историю развития, о чем свидетельствуют три последовательно сформировавшихся вулканических конуса, впоследствии разрушенных в результате эксплозивных извержений с образованием кальдерно-кратерных депрессий с диаметром 6-9; 3-3.5 и 1 км. Уменьшение со временем их размеров свидетельствует о постепенном ослаблении вулканической активности и довольно значительном возрастном интервале формирования этой вулcano-тектонической структуры. В настоящее время, по результатам полевых работ 1999-2003 гг., достаточно уверенно фиксируются три этапа проявления вулканической активности, позволяющие в какой-то мере оценить длительность формирования этой вулканической постройки. Наиболее ранние проявления вулканической деятельности представлены лавовыми потоками андезито-базальтов (мощностью до 8 м), которые залегают ниже среднеплейстоценовых морских отложений. Подстилающие лавы осадки накапливались в открытом заливе с речным стоком, среди морских диатомей выделена зона *Thalassiosira nidulus* var. *nidulus* с возрастным диапазоном 230-200 тыс. л. н. В основании разреза вскрываются морские отложения, образованные в трансгрессивную фазу конца плиоцена (диатомовая зона *Puxidicula zabelinae*,

возрастной диапазон 2.30-1.95 млн. лет). В суббореале произошло очень сильное извержение вулкана с образованием кальдерно-кратерной депрессии диаметром около 1 км. После образования последней кальдерно-кратерной депрессии начался рост экструзивного купола (^{14}C -дата по сгоревшей древесине 2550 ± 40 л.н., ГИН-8964). Судя по всему, этот процесс продолжался не одно столетие. Следками этих событий являются два прослоя (до 2-3 см) вулканогенного материала песчано-гравийной размерности в разрезах торфяников и почв в районе Южно-Курильска, возраст которых оценивается около 1500 и 2100 лет назад (^{14}C -даты из отложений, вмещающих нижний прослой – 2130 ± 50 л.н., ГИН-7887; 2190 ± 40 л.н., ГИН-11920). Относительная высота экструзивного купола составляет около 400 метров, в настоящее время на куполе нет проявлений активности, вся поверхность заросла кедровым стлаником (рис. 33). Следующим этапом в развитии вулкана стало образование воронок взрыва по кольцевым разломам на периферии экструзивного купола, представляющих в настоящее время потухшие и действующие сольфатарные поля [Вулкан..., 2004].

Ниже приводится описание сольфатарных полей вулкана Менделеева и групп термальных источников, расположенных в пределах этих сольфатарных полей. Далее идет описание групп термальных источников, расположенных в долинах ручьев, также приводится краткая характеристика глубинных гидротерм, вскрытых скважинами ГеоТЭС, и термальных источников тихоокеанского побережья.

Химический состав термальных источников центральной части Кунашира приведен в таблицах А.6, А.7, А.8, А.12, газовый состав в таблице А.4, изотопный состав в таблице А.5 Приложения А.

Юго-Восточное сольфатарное поле (рис. 34) впервые было изучено Е.К. Мархининым в 1954 г. Оно расположено в истоках ручья Четверикова, имеет циркообразную форму и вытянуто по направлению ручья. Его размеры – 250 на 300 м. В верхней части поля много выходов мелких газовых струй, которые приурочены к трещинам в андезитах и туфобрекчиях. Выходы подземных вод в истоках и русле ручья представлены несколькими группами термальных и холодных минеральных источников, имеющих единую генетическую природу. Верхние термальные источники расположены в 300 м северо-западнее сольфатарного поля и примерно на 70-80 м ниже его на высоте 350 м. Здесь выделяются три обособленных грифона, но основная разгрузка происходит в русле ручья, в виде крупных нисходящих струй. Суммарный дебит всех струй около 5 л/сек, температура 50-58 °С. В местах выхода термальных вод развиты термофильные водоросли, ощущается запах сероводорода. Вода в источниках кислая ($\text{pH}=2.5$), сульфатно-хлоридная натриевая, с минерализацией около 1 г/л [Мархинин, Стратула, 1977].

Восточное сольфатарное поле (рис. 35) также было впервые описано Е.К. Мархининым в 1954 г. Оно находится в верховье ручья Лечебного. В.В. Ивановым в 1955 г. выделено здесь две группы источников – Западная и Восточная, находящихся на расстоянии 50 м одна от другой.

В *Западную группу* входят небольшое термальное озеро, названное нами Овальным (площадь озера около 15 м², глубина несколько метров), и многочисленные, расположенные вокруг озера источники, грязевые грифоны и воронки глубиной более метра (рис. 36). Из озера вытекает ручеек с дебитом около 2 л/сек. Температура воды в озере достигает 60-85 °С, $\text{pH}=3.3$.



Рис. 33. Экструзивный купол вулкана Менделеева. Фото автора, 2006 год.



Рис. 34. Юго-Восточное сольфатарное поле. Фото А.В. Рыбина, 2000 год.



Рис. 35. Восточное сольфатарное поле, озеро Овальное. Фото А.В. Рыбина, 2001 год.



Рис. 36. Грязевой котел на Восточном сольфатарном поле. Фото Д.Н. Козлова, 2013 год.

В грязевых котлах температура воды до 95°C , а температура самой грязи в котле доходит до 101°C . Грязевые котлы образуются, в основном, на месте сольфатар. В результате воздействия химически агрессивных газов и гидротерм породы на этих участках гидротермально изменены и превращены в глины.

Восточная группа почти не отличается от Западной группы, и включает несколько «кипящих» источников глубиной до 0.5 м (источник Лечебный) с множеством грязевых грифонов и воронок по берегам. Температура воды в источниках 53-89 °С, pH=2.7-3.6.

По химическому составу термальные воды руч. Лечебного сульфатные кальциево-магниевые с повышенным содержанием Al^{3+} , Fe^{2+} , H^+ и минерализацией около 1 г/л. По составу газов они относятся к углекислым (CO_2 – 43.6%, N_2 – 39.1%, содержание CH_4 – 14.2%, а H_2S не обнаружен) [Мархинин, Стратула, 1977].

Непосредственно ниже и выше гидросольфатар имеются единичные малодобитные источники с ультракислой водой, с сильным запахом сероводорода и температурой 40-60 °С. На путях стока термальных вод отлагается сульфурит и гейзерит серовато-белого цвета [Мархинин, Стратула, 1977].

Северо-Восточное сольфатарное поле (рис. 37) находится на абсолютной высоте около 350 м и представляет, по-видимому, три эродированные воронки фреатического взрыва (рис. 38), которые являлись очагами разгрузки кислых сульфатно-хлоридных гидротерм [Лебедев и др., 1977].

В историческое время, в 1880 году, на Северо-Восточном сольфатарном поле произошло слабое фреатическое извержение [Milne, 1896]. В 1901 г. на вулкане отмечался грохот [Отчет комиссии..., 1901]. В 1946 г. местными жителями здесь наблюдалось гудение сольфатарных газов. В феврале-апреле 1977 г. под вулканом Менделеева произошел рой ощутимых землетрясений с глубиной очага не менее 20 км. Не исключается, что причиной этому являлась активизация магматического очага вулкана. Кратковременная активизация деятельности сольфатар на Северо-Восточном поле, выразившаяся в периодических выбросах парогазовых струй до высоты 150-200 м, отмечалась в конце августа 1977 г. В апреле 1987 г. начался очередной рой предположительно вулканических землетрясений, а в мае 1987 года на Северо-Восточном поле произошел небольшой парогазовый выброс. Перед этим событием отмечалось небольшое повышение температуры и изменение дебита сольфатар и термальных источников, а после газового выброса наблюдалось понижение температур на сольфатарных полях и на некоторых термальных источниках от 1 °С до 7-10 °С [Абдурахманов и др., 2003].

В районе сольфатарного поля существовал японский рудник и обогащательная фабрика, ныне полностью разрушенные (рис. 39, 40). Судя по большим отвалам и наличию специальной дороги, связывавшей рудник с пос. Горячий Пляж, рудник добывал довольно значительные количества серы [Иванов, 1955].

В настоящее время сольфатарное поле не проявляет какую-либо повышенную активность, оно занимает площадь около 2 км², в пределах которой множество сольфатар с температурой до 99.6 °С (рис. 41, 42) и несколько выходов конденсатов сольфатарных газов в руслах ручейков. В результате действия сероводорода и сернистых газов породы здесь видоизменены и обогащены сульфидами металлов, а вся поверхность поля покрыта коркой серы (рис. 43).

С Северо-Восточного поля берет свое начало ручей Кислый. Термальные источники Кислого ручья разделяют на три группы: Верхнюю, Нижнюю и Приустьевую. *Верхняя группа* источников (Верхнеменделеевские источники) расположена в 0.8 км от Северо-Восточного сольфатарного поля вдоль русла ручья (рис. 44) на протяжении 200 м. Абсолютная высота выходов 180-200 м.



Рис. 37. Северо-Восточное сольфатарное поле. Фото автора, 2006 год.



Рис. 38. Одна из предполагаемых воронок взрыва на Северо-Восточном сольфатарном поле вулкана Менделеева. Фото автора, 2009 год.



Рис. 39. Сольфатарное поле в начале 1950-х годов [Иванов, 1955].



Рис. 40. Разрушенная японская обогатительная фабрика в начале 1950-х годов [Иванов, 1955].



Рис. 41. Выходы сольфатарных газов в центральной части Северо-Восточного поля.
Фото С.Б. Бортниковой, 2010 год.



Рис. 42. Сольфатары на Северо-Восточном поле. Фото автора, 2006 год.



Рис. 43. Отложения серы вокруг выходов сольфатарных газов. Фото автора, 2006 год.



Рис. 44. Термальные источники в верховьях ручья Кислый. Фото автора, 2006 год.

Здесь находятся десятки источников с температурой 90-98.5 °С и pH=2.4-2.5. Воды этих источников относятся к кислым, углекислым (содержат около 89% CO₂, до 4.7% H₂S и всего 0.5% O₂) сульфатным натриево-кальциево-магниевым гидротермам [Мархинин, Стратула, 1977].

Изотопный состав водорода и кислорода в термах несколько приближен к изотопному составу метеорных вод (изотопный состав метеорных вод: $\delta D = -65\text{‰}$, $\delta^{18}O = -9.1\text{‰}$), а это указывает на преобладание в питании источников инфильтрационных вод. Изотопный состав $\delta^{40}Ar$ и отношение $^{40}Ar/^{36}Ar$ полностью соответствует [Басков, Суриков, 1975] содержанию и отношению этих элементов в воздухе (содержание $\delta^{40}Ar$ в воздухе 0.0; отношение $^{40}Ar/^{36}Ar$ в воздухе 295.6).

Сравнительно «легкий» состав изотопов серы ($\delta^{34}S = -3.6 - +0.7\text{‰}$) самих источников и отложений около сольфатар свидетельствует, по данным В.И. Виноградова, об образовании серы за счет окисления H₂S. В тоже время в осадках источников сольфатарного поля обнаружен более «тяжелый» изотопный состав серы сульфатов ($\delta^{34}S = +25.5\text{‰}$), что возможно при заимствовании серы из морских отложений коллектора [Аверьянов, Божкова, 1985].

Нижняя группа источников (Нижнеменделеевские источники) находится в 1.7 км ниже по течению от Верхней группы источников. Термальные воды разгружаются в пойме (рис. 45, 46) и на первой речной террасе (рис. 47, 48). Абсолютная высота источников около 65 м. Воды Нижней группы источников относят к сильнокислым, азотным (N₂ – 89.1%, CO₂ – 10.8%, содержание CH₄ и H₂S незначительно [Мархинин, Стратула, 1977]), хлоридно-сульфатным натриевым термам. Изотопный состав водорода и кислорода термальных вод Нижней группы источников ($\delta D = -68\text{‰}$, $\delta^{18}O = -9.5\text{‰}$) почти аналогичен атмосферным осадкам района. Изотопный состав $\delta^{40}Ar$ и отношение $^{40}Ar/^{36}Ar$ полностью соответствует содержанию и отношению этих элементов в воздухе (0.0 и 295.6 соответственно).

Источники устьевой части ручья (*Приустьевая группа*) расположены в районе впадения ручья в реку Лесную (рис. 49) и приурочены к бортам и прирусловой части долины. Воды источников слабощелочные, азотные, хлоридные натриевые с повышенным содержанием кремнезема (отложения которого наблюдаются в руслах источников), мышьяка и сурьмы [К минералогии..., 1988]. Источник Дикие Ванны (рис. 50) представляет собой неглубокую яму площадью 4 м², заполненную низкотемпературными (32 °С) термами хлоридного натриевого состава с минерализацией 0.6 г/л.

Повышенное содержание $\delta^{40}Ar = 5.1$ и $^{40}Ar/^{36}Ar = 310.8$ в газах гидротерм Приустьевой группы [Басков, Суриков, 1975] свидетельствует, вероятно, о его поступлении из осадочного слоя, что служит критерием миграции гидротермальных растворов с глубин.

Северо-Западное сольфатарное поле (рис. 51, 52) расположено в истоках правого верхнего притока р. Лесной. Сольфатарная активность в пределах поля сравнительно высока.

На Северо-Западном поле 15 августа 1978 г. на сольфатаре «Спокойной» температура повышалась до 113 °С, что сопровождалось появлением расплавленной серы; в 1984 г. температура на той же сольфатаре составляла 111 °С.



Рис. 45. Нижняя группа термальных источников ручья Кислый, февраль 2009 года. Фото автора.



Рис. 46. Термальный источник Поворотный, Нижняя группа источников ручья Кислый.
Фото И.Н. Ельцова, 2011 год.



Рис. 47. Источник Купальный, Нижняя группа источников ручья Кислый. Фото автора, 2003 год.



Рис. 48. Выход термальных вод источника Купальный. Фото автора, 2005 год.



Рис. 49. Устьевая часть ручья Кислый. Фото И.Н. Ельцова, 2011 год.



Рис. 50. Источник Дикие Ванны, Приустьевая группа термальных источников ручья Кислый.
Фото автора, 2002 год.



Рис. 51. Северо-Западное сольфатарное поле у подножья экструзивного купола вулкана Менделеева.
Фото автора, 2007 год.



Рис. 52. Вид на Северо-Западное сольфатарное поле с вершины вулкана Менделеева.
Фото К.С. Ганзея, 2002 год.

В 1984 г. на сольфатаре «Ревущей» (рис. 53, 54) температура достигла 130 °С, при этом образовался поток расплавленной серы, а 3 сентября 1987 г. температура опять понизилась до 111 °С. Следующее усиление активности на Северо-Западном сольфатарном поле зафиксировано в 1990 г., что выразилось в плавлении серы сольфатар, а также в появлении нового термального источника и повышении температуры в других термальных выходах примерно на 2 °С. В последнее время температура сольфатарных выходов уменьшается, например, в сольфатаре «Ревущей» максимальная зафиксированная температура в августе 2000 г. составила 109.6 °С, в сентябре 2001 г. 106.3 °С, а замеренная температура в сентябре 2002 г. была уже 101.0 °С. Температура «Спокойной» сольфатары (рис. 55, 56) в 2002 году составляла 108.0 °С [Вулкан..., 2004].

В районе Северо-Западного сольфатарного поля выделяют четыре группы источников, их описание детально приведено в работах [Барабанов, 1976; Мархинин, Стратула, 1977]. Непосредственно на поле, в районе сольфатары «Спокойной», находится «кипящий» источник (рис. 57) с температурой более 90 °С.

I группа термальных источников (рис. 58, 59) расположена к северо-западу от поля на высотах 340-390 м над уровнем моря. Для этой группы характерно наиболее интенсивное выделение сероводорода из всех имеющихся гидротерм Менделеева. Суммарный дебит источников около 13 л/сек. Температура воды колеблется от 20 до 95 °С. Вода источников ультракислая, преимущественно сульфатно-хлоридная с общей минерализацией до 4.4 г/л. В газовом составе гидротерм этой группы преобладает углекислый газ и сероводород (CO_2 – 88.1%, H_2S – 9.8%, N_2 – 2.1%, содержание CH_4 ничтожно мало) [Мархинин, Стратула, 1977].

II группа источников расположена в русле двух ручьев, берущих начало с сольфатарного поля. Высота выходов источников около 190-220 м. Суммарный дебит всех струй примерно 3 л/сек, температура не превышает 40 °С. Воды сульфатно-гидрокарбонатные кальциево-магниевые с повышенным содержанием закисного железа и алюминия и общей минерализацией около 1 г/л [Мархинин, Стратула, 1977].

III группа источников расположена в 500-700 м к северо-востоку от сольфатарного поля и приурочена к небольшим воронкам взрыва периода газовой эксплозии. Суммарный дебит порядка 6 л/сек, температура воды довольно низкая: в среднем до 13 °С, максимальная – 40-45 °С. Воды кислые, сульфатно-хлоридные с минерализацией порядка 1.5 г/л [Мархинин, Стратула, 1977].

IV группа источников расположена примерно в 2.5 км к северо-западу от сольфатарного поля в долине р. Лесной на высоте 140-150 м. Термальная вода с температурой до 33 °С выходит в виде слабых восходящих грифонов из пойменных осадков на протяжении 300 метров, преимущественно у правого склона долины. Вода источников слабокислая, кремнистая, гидрокарбонатная кальциево-магниевая с общей минерализацией около 1 г/л [Мархинин, Стратула, 1977].

Термальные источники ручья Докторского расположены в верхнем и нижнем его течении и делятся на соответствующие группы: Верхнюю и Нижнюю.

Верхнедокторская группа расположена в верхнем течении ручья на абсолютных отметках 70-90 м. Из-за схожести по составу и гипсометрическому уровню эти источники также включены в группу Нижнеменделеевских источников. Термальные источники образуют почти сплошной очаг разгрузки на протяжении 300 м по бортам и в русле ручья.



Рис. 53. Сольфатара «Ревущая». Фото А.В. Кордюкова, 2014 год.



Рис. 54. Устье сольфатары «Ревущая». Фото А.К. Ежкина, 2014 год.



Рис. 55. Сольфатара «Спокойная». Фото автора, 2011 год.



Рис. 56. Сольфатара «Спокойная» в начале 1950-х годов [Иванов, 1955].



Рис. 57. Термальный источник на Северо-Западном сольфатарном поле вулкана Менделеева.
Фото автора, 2011 год.



Рис. 58. Термальный источник Серный выходит в правом борту ручья, берущего начало западнее
сольфатарного поля. Фото А.В. Кордюкова, 2014 год.



Рис. 59. Ручей с термальными источниками в районе Северо-Западного сольфатарного поля вулкана Менделеева. Фото автора, 2011 год.

Термальное озеро Гейзерное (рис. 60), диаметром около 10 метров и глубиной не более 50 см, возникает только после обильных атмосферных осадков, в летнюю и зимнюю межень озера нет, о его существовании можно только догадаться по выровненной и лишенной растительности площадке с мелкими обломками ярозита. После дождя озеро может появиться буквально в течение часа, мы не раз наблюдали это. Сначала термальные воды с температурой 50-60 °С выходят на площади около 2 м², затем по всей западной части площадки. Кислые (pH=2.2) хлоридно-сульфатные натриевые термы озера небольшим ручейком стекают в ручей Докторский. В устье этого ручейка идет сплошная разгрузка аналогичных по составу терм источника Ярозитовый. Ниже по течению, у подножья уступа первой надпойменной террасы, имеется небольшое горячее озеро Фауста (рис. 61). Температура воды в нем колеблется от 50 °С на поверхности до 66 °С в местах выходов со дна термальных вод. Вода в озере ультракислая (pH=1.6-1.9), все дно покрыто термофильными зелеными водорослями, отчего оно имеет удивительный изумрудно-голубой цвет. Расположенный рядом источник Колодец (рис. 62, 63), или «Воронка Мефистофеля» по [Барабанов, 1976], имеет температуру до 92.4 °С и pH=2.3 и, по-видимому, его термы участвуют в питании нижележащего озера Фауста. Ниже по течению из неглубокой трещины выходят кислые (pH=1.9) термы источника Трещина (рис. 64). На правом берегу выходят термы источника Мутного с температурой 75.5 °С и pH=1.9.

Почти все источники Верхнедокторской группы имеют схожий химический состав вод и относятся к кислым азотным хлоридно-сульфатным натриевым термам. Химический и газовый состав этих источников [Мархинин, Стратула, 1977] аналогичен гидротермальным выходам Нижней группы Кислого ручья.

Анализ проб из скважины № 32 (Верхнедокторский участок), отобранных в 1973 году с глубин 90 и 130 м, показал увеличение с глубиной содержания многих элементов (особенно Na, Fe, Mg, Cl) и уменьшение кислотности терм, с глубиной они приближаются по химическому составу к морской воде [Лебедев, Никитина, 1977]. Четкая тенденция уменьшения температуры и концентрации ионов в летне-осенние месяцы указывает на определяющее значение вод атмосферных осадков в питании источников [Божкова, Федорченко, 1979]. Об этом косвенно свидетельствует и сезонное возникновение озера Гейзерное. Следовательно, на наличие и состав термальных источников большое влияние оказывает климатический фактор и рельеф местности.

Нижнедокторская группа термальных источников расположена в нижнем течении Докторского ручья на абсолютной отметке около 40 м. Термальные источники образуют почти сплошной очаг разгрузки на протяжении 200 м по подножию правого борта и в самом русле ручья. Температура источников составляет 48-69 °С, pH=2.4-2.6. Наиболее известный здесь источник Раковина используется в бальнеотерапии, он представляет собой небольшое искусственное углубление, заполненное термальной водой (рис. 65). Термы источника по канавкам стекают в бетонные ванночки. Температура воды в источнике около 50 °С.

Нижнедокторские источники по химическому составу относятся к кислым, среднеминерализованным, азотным (N₂ – 82%, CO₂ – 8%, CH₄ – 9.5% [Мархинин, Стратула, 1977]), хлоридно-сульфатным натриевым термам.

Скважинами в районе этой группы вскрыты также и нейтральные, азотные, хлоридные натриевые воды. На базе этих термальных вод действует источник Дракон (рис. 66), температура которого 63-65 °С и pH=7.



Рис. 60. Термальное озеро Гейзерное появилось после выпадения осадков за час до съемки.
Фото автора, 2003 год.



Рис. 61. Термальное озеро Фауста. Фото автора, 2003 год.



Рис. 62. Термальный источник Колодец, Верхнедокторская группа термальных источников вулкана Менделеева. Фото автора, 2006 год.



Рис. 63. Дно термального источника Колодец. Фото А.В. Кордюкова, 2014 год.



Рис. 64. Термальный источник Трещина. Фото автора, 2003 год.



Рис. 65. Термальный источник Раковина, Нижнедокторская группа термальных источников вулкана Менделеева. Фото А.К. Ежкина, 2014 год.



Рис. 66. Скважина Дракон. Фото автора, 2009 год.

Для выяснения особенностей суточного и годового режима температуры термальных вод были проведены измерения температуры источника Раковина. Установленный одноканальный автоматический регистратор температуры НОВО U12 около 10 месяцев (2004-2005 гг.) через каждый час замерял температуру воды в источнике. Термодатчик был погружен в щелеобразную нишу на глубину 30 см, из которой происходит выход терм, заполняющих небольшое углубление. По данным В.М. Дуничева [1968, 1974] в период 1965-1966 гг., при проведении режимных наблюдений за состоянием источников Нижнеменделеевской группы, Нижнедокторской группы и источников на Горячем Пляже, была установлена четкая зависимость между количественными показателями расходов воды источников и количеством выпавших осадков. Установлено, что максимумам атмосферных осадков соответствуют максимальные расходы воды источников со сдвигом в 2-3 месяца. Минерализация вод источников находится в обратной зависимости от количества выпавших осадков: в дождливые периоды минерализация воды резко уменьшается, а в сухие периоды - возрастает. Л.И. Божкова и В.И. Федорченко [1979] наблюдали в Верхнедокторских источниках четкую тенденцию уменьшения температуры и минерализации в летне-осенний период в зависимости от осадков.

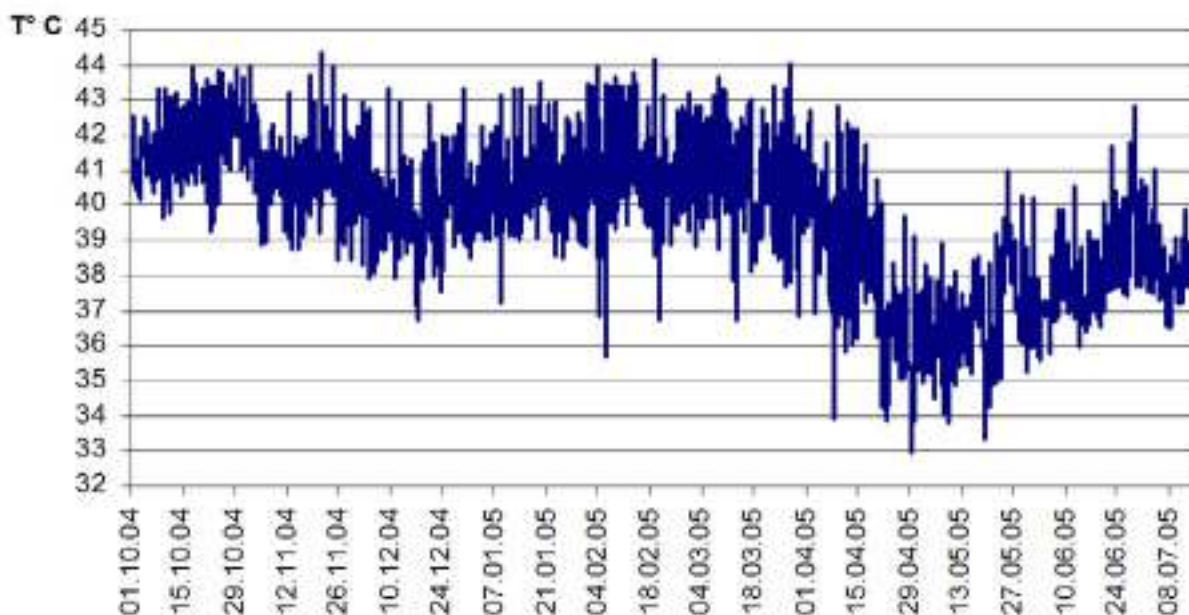


Рис. 67. График сезонных колебаний температуры термальных вод источника Раковина (ручей Докторский, Нижняя группа) по данным цифрового термодатчика НОВО U12.

Из полученных нами данных (рис. 67) видны зимние максимумы (февраль) и весенние минимумы (май) температуры при годовой амплитуде колебаний температур более 11 °C. Известно, что в феврале в данном районе самые низкие температуры воздуха (среднемесячная -6 °C) и, как следствие, самый низкий подземный сток (зимняя межень), а с конца апреля и до начала мая наблюдается пик весеннегополоводья. Максимум осадков наблюдается в сентябре (в среднем 175 мм), минимум – в феврале. Режим выпадения осадков в осенний период нарушается прохождением циклонов и тайфунов, часто приносящих месячные нормы осадков. Суточные колебания температуры воды в источнике (рис. 68) максимальны зимой

(до 5 °С) и минимальны в летний период и, в целом, соответствуют колебаниям температуры грунтовых вод. График колебания уровня воды в реке Лесная за 1950 г. [Ресурсы..., 1973], главным источником питания которой являются грунтовые воды, показывает основные закономерности изменения уровня в течение года. Максимальный подъем уровня воды (почти в два раза) наблюдался в первой декаде декабря, минимальный – с конца января по начало апреля, затем уровень повышался с резким скачком в конце июня. Летняя межень закончилась в начале сентября. Эти данные подтверждают предположение о значительном разбавлении термальных вод источника грунтовыми водами района.

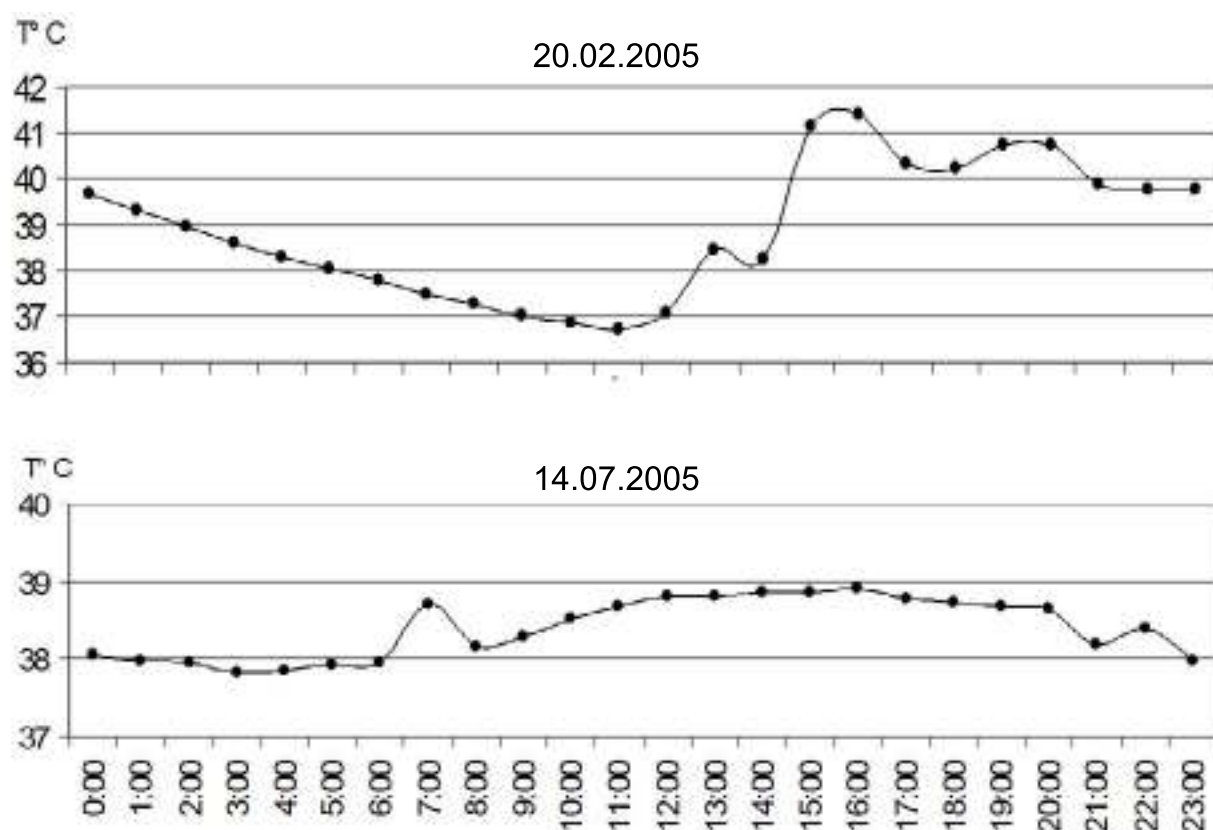


Рис. 68. Графики суточных колебаний температуры воды в термальном источнике Раковина (ручей Докторский, Нижняя группа) по данным цифрового термодатчика НОВО U12.

Таким образом, данные о суточном и годовом ходе температуры термальных вод, режимные наблюдения за расходом воды и составом термальных источников указывают на преобладание вод атмосферного происхождения в питании термальных источников.

Термы глубинной циркуляции были вскрыты на глубине около 1000 метров скважинами №101, 103 и 201 в районе Верхнедокторских источников, в нескольких сотнях метров выше по склону. Скважинами вскрыта «паровая шапка» и выводятся на поверхность парогидротермы с температурой до 150 °С, которые используются на геотермальной тепловой электростанции «Менделеевская». Построенные по скважине №101 термограммы [Таран и др., 1991] свидетельствуют о наличии на глубине 490-620 м в зоне тектонической трещиноватости резервуара двухфазных гидротерм с преобладанием воды с температурой до 240 °С.

На глубине 1000 м температура гидротерм достигает 285 °С. Из-за неправильной обсадки в ствол скважины поступают подземные кислые холодные воды и разубоживают гидротермы, поэтому температуры на выходе низкие. Химический состав пароконденсата гидрокарбонатный натриевый с высоким содержанием Fe^{2+} . Гидротермы скважин субнейтральные высокоминерализованные (до 6.5 г/л), хлоридные натриевые с высоким содержанием кремнекислоты и кальция.

Описанные выше сольфатарные поля и группы термальных источников располагаются в пределах постройки вулкана Менделеева. Остальные группы термальных источников находятся на периферии вулкана и приурочены к собственно тектоническим разломам [Мархинин, Стратула, 1977], как Третьяковские и Столбовские источники, либо к интрузивным телам и экструзии Горячего мыса.

Третьяковские источники находятся в районе дачного поселка Третьяково. Известны Северная (рис. 69) и Южная (рис. 70) группы Третьяковских источников, расположенные в двух параллельных небольших долинах рек, впадающих в Охотское море. *Северная группа* источников находится севернее поселка, в 2 км от побережья. Термальное поле прослеживается у южного борта долины реки Валентины, на абсолютной отметке 12 м. Здесь имеется три выхода термальных вод с общим дебитом 0.5 л/сек и температурой до 80 °С. *Южная группа* источников расположена примерно в 0.8 км от берега моря на высоте порядка 10 м, в долине реки Третьякова. Общий дебит источников превышает 0.5 л/сек. Температура воды достигает 70 °С [Барабанов, 1976; Антогина, 1978].

Третьяковские горячие источники относятся к нейтральным (рН около 7), азотным, хлоридным натриевым. В газовом составе термальных вод источников преобладают N_2 с редкими газами (около 70%) и CO_2 (27%), метан составляет 2.9%, содержание сероводорода, кислорода и других газов незначительно [Мархинин, Стратула, 1977]. Изотопный состав водорода, кислорода ($\delta\text{D} = -58\text{‰}$; $\delta^{18}\text{O} = -8.8\text{‰}$ по [Чешко, 1994]) и аргона [Басков, Суриков, 1975] термальных вод Третьяковских источников соответствует местным метеорным водам, что свидетельствует о значительном участии последних в формировании гидротерм.

Столбовские источники находятся на западном побережье острова, в 2 км к югу от мыса Столбчатый (рис. 71, 72), и располагаются в долине ручья Змеиный (рис. 73, 74), примерно в 1 км от его устья. Здесь термальные воды вытекают в основании левого борта долины на протяжении 20 м (рис. 75, 76). Абсолютная отметка выходов вод 2-5 м. Общий дебит источников составляет примерно 2 л/сек, а температура достигает 82 °С. Источники относятся к субнейтральным (рН=6.7-7.0), азотным, хлоридно-сульфатным натриевым термам.

Из растворенных в термальных водах газов преобладают азот и углекислый газ, метан (до 12%), содержание других газов невелико. В руслах термальных ручейков наблюдаются отложения нитевидной серы, зеленых и бурых термофильных водорослей [Мархинин, Стратула, 1977].

Изотопный состав водорода, кислорода ($\delta\text{D} = -60\text{‰}$; $\delta^{18}\text{O} = -9.4\text{‰}$) и аргона термальных вод Столбовских источников соответствует местным метеорным водам, что объясняется преобладающим их участием в формировании гидротерм [Чешко, 1994].

Гидротермы Горячего Пляжа. Участок горячих ключей и интенсивных выходов пара, известный под названием Горячий Пляж, расположен на тихоокеанском побережье о. Кунашир у восточного подножья вулкана Менделеева.



Рис. 69. Северная группа Третьяковских термальных источников. Фото Д.Н. Козлова, 2013 год.



Рис. 70. Южная группа Третьяковских термальных источников. Фото И.М. Климанцова, 2013 год.



Рис. 71. Мыс Столбчатый. Фото Д.Н. Козлова, 2010 год.



Рис. 72. Мыс Столбчатый – уникальный геологический объект, внесенный в реестр ЮНЕСКО как памятник природы мирового значения. Фото И.Н. Ельцова, 2011 год.



Рис. 73. Столбовские термальные источники в долине ручья Змеиный. Фото автора, 2006 год.



Рис. 74. Термальный источник с термофильными водорослями в долине ручья Змеиный [Иванов, 1955].



Рис. 75. Один из основных термальных источников Столбовской группы. Фото автора, 2006 год.



Рис. 76. Впадающие в ручей Змеинный термальные воды не становятся преградой для идущего на нерест лосося. Фото автора, 2006 год.

Плиоцен-четвертичная экструзия Горячего мыса разделяет всю полосу термальных проявлений на две неровных части: северо-восточную, где было расположено их подавляющее большинство (сейчас эти источники практически угасли) и юго-западную. С юго-западной стороны мыса (рис. 77) находятся три основных выхода горячей воды: два на некотором расстоянии от экструзии мыса Горячий (рис. 78) и один непосредственно у подошвы экструзии (рис. 79, 80). Температура этих источников 51-77 °С, рН около 7. Воды источников относятся к слабощелочным (рН=7.0-8.1), хлоридным натриевым. В термах содержится также бром, мышьяк и другие компоненты. В составе спонтанных газов [Сидоров, 1962] преобладает азот (86%), отмечается высокое содержание метана (до 5%) и отсутствие сероводорода. Д.М. Лебедевым [Лебедев, 1975; Лебедев, Никитина, 1977] отмечается, что воды этого типа, давая при лабораторном анализе щелочную реакцию, являются при разгрузке в естественных условиях кислыми или нейтральными. На выходах источников, разгружающихся в пределах пляжной полосы, практически не наблюдается минеральных отложений, в местах их выхода из трещин в коренных породах образуются натечные кремнистые коры, а в районе их скрытой разгрузки, в скальных породах, на значительной площади наблюдается большое количество специфических опаловых прожилков.

Изотопный состав водорода и кислорода [Басков, Суриков, 1975] термальных вод скважины №4 на Горячем Пляже ($\delta D = -72\text{‰}$; $\delta^{18}O = -8.7\text{‰}$) почти аналогичен метеорным водам района. Для термальных вод Горячего Пляжа и терм Столбовских источников значение $\delta^{34}S = +20 - +22\text{‰}$ связано, вероятно, с влиянием сульфатной серы морских отложений [Чудаев, 2003].

Для гидротермальных систем сложных стратовулканов, таких как вулкан Менделеева, выявляется определенная закономерность изменения химического и газового состава термальных вод в зависимости от удаления от центра вулкана к его периферии. Эту закономерность выделяли многие исследователи [Мархинин, Стратула, 1977; Дуничев, 1983; Чудаев, Чудаева, 2004], подтверждается она и данными автора [Жарков, 2004а, 2006, 2007б; Zharkov, 2006]. По химическому составу термы источников влк. Менделеева можно разделить на три группы, которые четко видны на диаграммах ионного состава (рис. 81).

На сольфатарных полях и в верховьях ручьев вулкана встречаются кислые сульфатные натриево-кальциево-магниевые (реже кальциево-магниевые) гидротермы с повышенным содержанием Al^{3+} , Fe^{2+} , H^+ и минерализацией до 1 г/л. Окружающие ландшафты имеют сильно расчлененный рельеф, крутые борта долин ручьев эродированы и лишены растительности. Породы на сольфатарных полях гидротермально изменены. Из растительности преобладают елово-пихтовые леса, на открытых участках доминируют заросли кедрового стланика и курильского бамбука. Наиболее древними на влк. Менделеева являются ландшафты в верховьях руч. Кислого, существующие более 6-7 тыс. лет, а более молодыми – в пределах сольфатарных полей, образованных на месте воронок взрывов, возраст которых оценивается [Вулкан..., 2004] около 1.5-2.1 тыс. лет.

Ниже по склону вулканической постройки выходят кислые гидротермы хлоридно-сульфатного натриевого состава с минерализацией 2-4 г/л (Нижняя группа источников ручья Кислого и Докторские источники). Термы разгружаются в долинах ручьев, в узкой пойменной части или на первой речной террасе, окружены елово-пихтовыми лесами на лесных темно-бурых почвах.



Рис. 77. Мыс Горячий и термальный источник Ванночка. Фото А.В. Рыбина, 2001 год.



Рис. 78. Источник Ванночка в начале 1950-х годов [Иванов, 1955].



Рис. 79. Термальный источник у подошвы экстрезии мыса Горячий [Иванов, 1955].



Рис. 80. Небольшая ванночка с термальными водами заливается во время прилива и штормов.
Фото автора, 2009 год.

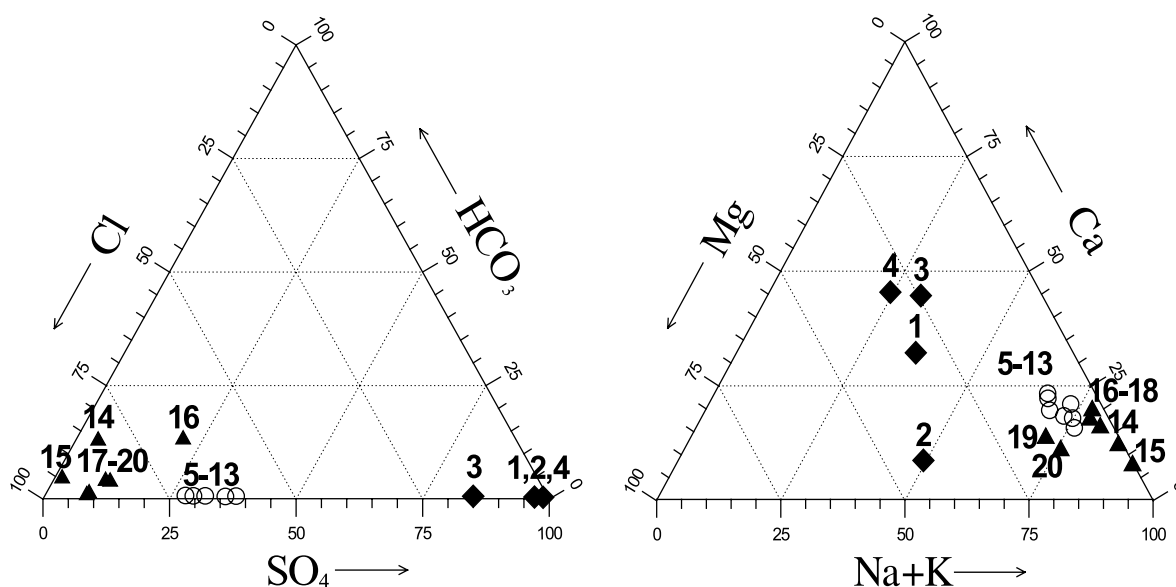


Рис. 81. Соотношение основных ионов в термальных водах источников вулкана Менделеева.

Треугольник - источник подножья вулкана (низкий гипсоуровень); круг - источник среднего гипсоуровня; ромб - источник сольфатарных полей (высокий гипсоуровень). Названия источников под номерами: 1-источник Верхний, 2-источник Грязевой (ручей Кислый, Верхняя группа); 3 - озеро Овальное, 4 - источник Лечебный (ручей Лечебный); 5 - источник Привальный, 6- источник Бортовой, 7 - источник Основной, 8-источник Поворотный; 9-источник Купальный (ручей Кислый, Нижняя группа); 10-озеро Гейзерное, 11 - источник Трещина, 12 - источник Мутный (ручей Докторский, Верхняя группа); 13- источник Раковина (ручей Докторский, Нижняя группа); 14 - источник Дикие Ванны (ручей Кислый, Приустьевая группа); 15-Третьяковские источники; 16-Столбовские источники; 17 - скважина Дракон, 18 - скважина Бирюзовая (ручей Докторский, Нижняя группа); 19-источник Ванночка, 20-источник мыса Горячий (источники Горячего Пляжа).

У подножья вулкана расположены выходы субнейтральных гидротерм преимущественно хлоридного натриевого состава, с минерализацией от 0.6 г/л до 15 г/л (Приустьевая группа источников Кислого ручья, источники Столбовские, Третьяковские и гидротермальные выходы Горячего Пляжа). Источники устьевых частей ручьев находятся на плоских нешироких поймах среди аллювиальных отложений. Столбовские и Третьяковские источники окружены дубово-ольховыми лесами с примесью клена и ильма на бурых лесных почвах. Приустьевые источники находятся в елово-пихтовом лесу среди зарослей курильского бамбучника высотой до 2 метров. Источники Горячего Пляжа выходят из трещин периферии экструзии мыса Горячий и скальных выступов в приливно-отливной зоне тихоокеанского побережья.

Вулкан Менделеева с его разнообразными гидрохимическими типами термальных вод, разгружающимися в пределах ландшафтов сольфатарных полей, долин рек и ручьев или в прибрежной части, можно считать классическим примером для выявления общих закономерностей формирования и распространения термальных вод областей активного вулканизма и их влияния на окружающую среду.

3.1.3. Гидротермы южной части Кунашира

Гидротермальные источники южной части острова, которая условно отделена от центральной части Серноводским перешейком, приурочены к постройке вулкана Головнина (541 м). Внутри самой кальдеры находятся несколько сольфатарных полей и два озера, формирующихся, в основном, за счет термальных вод. На побережье, у северного подножья вулкана, гидротермальные выходы образуют Северо-

Алехинскую и Южно-Алехинскую группы источников. Формирование этих термальных вод связано с одним из экструзивных куполов вулкана Головнина – Внешним куполом. Схема расположения основных термальных выходов и сольфатарных полей приведена на рисунке 82.



Рис. 82. Схема термальных проявлений вулкана Головнина.

Сольфатарные поля: I - Центральное Восточное; II - Центральное Западное; III - Подводное; IV - Безымянное; V - Набоковское; VI - Черепашовое; VII - Внешнее. Алехинские термальные источники: 1 - Известный; 2 - Тройной; 3 - Орлиный; 4 - Завальный; 5 - Банный.

Изучение сольфатарных полей и внутрикальдерных озер вулкана Головнина российскими исследователями началось в 1950-х гг. Первое детальное описание кальдеры вулкана было проведено Е.К. Мархининым [1959], им составлена подробная схема сольфатарных полей, исследованы физико-химические параметры термальных источников.

Внутрикальдерные сольфатарные выходы, термальные источники и озера сравнительно хорошо изучены, т.к. вулкан очень доступен и интересен для исследователей. Большой вклад в изучение гидрохимии термальных источников, озер Кипящее и Горячее, внесли С.С. Сидоров [1966], Е.А. Басков и С.Н. Суриков [1975], Ю.А. Аникеев, Л.М. Лебедев [1975], Л.Н. Барабанов [1976], А.В. Зотов, И.Б. Никитина, В.И. Сорокин [Современные..., 1980; Зотов и др., 1988] и многие другие исследователи Курил.

Изучению Алехинских термальных источников на периферии вулкана Головнина посвящено несколько работ, но наиболее детально описание источников дано в работе А.С. Хоментовского [1964]. В течение последних 12 лет изучение термальных источников озера Кипящего и Алехинских источников проводили сотрудники ДВГИ ДВО РАН и ТИГ ДВО РАН О.В. Чудаев, В.А. Чудаева, Г.А. Челноков, И.В. Брагин [Чудаев и др., 2003, Чудаев, Чудаева, 2004]. Батиметрическую съемку внутрикальдерных озер с помощью эхолота с GPS-приемником «Eagle Sea Charter 420 DF» провели в 2005-2006 гг. сотрудники лаборатории вулканологии и вулканопасности ИМГиГ ДВО РАН А.Б. Белоусов и Д.Н. Козлов [Козлов,

2006; Kozlov, Belousov, 2006; Козлов, Белоусов, 2007а; Козлов, Жарков, 2010]. Полученные данные уточнили глубину Кипящего и Горячего озер и определили места основных газовых выходов со дна озер. Также были проведены работы по реконструкции фреатического извержения и образования кратера Кипящего в кальдере вулкана [Козлов, Белоусов, 2007б].

Автором в ходе полевых работ 2002-2011 гг. исследовались все внутрикальдерные сольфатарные поля и площадки, выходы термальных вод и пара периферии вулкана (Алехинские источники). Проведены измерения температуры и pH крупных внутрикальдерных термальных источников и сольфатар, отобраны пробы терм Алехинской группы источников [Жарков, 2007а; 2010а; Жарков, Козлов, 2011]. В 2010-2011 гг. совместно с сотрудниками ИНГГ СО РАН и ИГМ СО РАН (г. Новосибирск) С.Б. Бортниковой, Е.П. Шевко (Бессоновой), А.Я. Шевко, М.П. Гора, И.Н. Ельцовым, Г.Л. Паниным, С.П. Бортниковой были проведены исследования современной сольфатарно-гидротермальной активности в кальдере вулкана Головнина и выполнен ряд уникальных геофизических работ, результаты которых приведены в монографии [Газогидротермы..., 2013; Шевко и др., 2014].

Ниже приводится описание внутрикальдерных термальных источников и озер, а также описание Алехинских термальных источников на периферии вулкана Головнина. В кальдере вулкана Головнина (рис. 83) сольфатарная и гидротермальная деятельность сосредоточена в пяти наземных и одном подводном сольфатарных полях.



Рис. 83. Кальдера вулкана Головнина. Озера Кипящее и Горячее.

Химический состав термальных источников южной части Кунашира приведен в таблицах А.9, А.10, А.11, А.12, газовый состав в таблице А.4, изотопный состав в таблице А.5 Приложения А.

Центральное Восточное сольфатарное поле находится у подножья южного склона Центрального Восточного купола (рис. 84). Все газовые выходы и термальные источники расположены по берегам Кипящего озера (рис. 85) и под водой, в прибрежной его части. Здесь можно выделить четыре обособленных участка с выходами сольфатарных газов и термальных вод (рис. 86, 87): юго-восточный участок (I), северный (II), северо-западный (III) и западный (IV). На участках встречаются сольфатары и кипящие термальные котлы разных размеров, консистенции, окраски.



Рис. 84. Центральный Восточный экструзивный купол и озеро Кипящее в кальдере вулкана Головнина (вид с юго-востока). На заднем плане хребет Сиретоко (о. Хоккайдо, Япония). Фото автора, 2011 год.



Рис. 85. Озеро Кипящее, вид с севера. Фото Д.Н. Козлова, 2010 год.



Рис. 86. Участки с термальными источниками на берегу оз. Кипящее, вид с Центрального Восточного экструзивного купола.

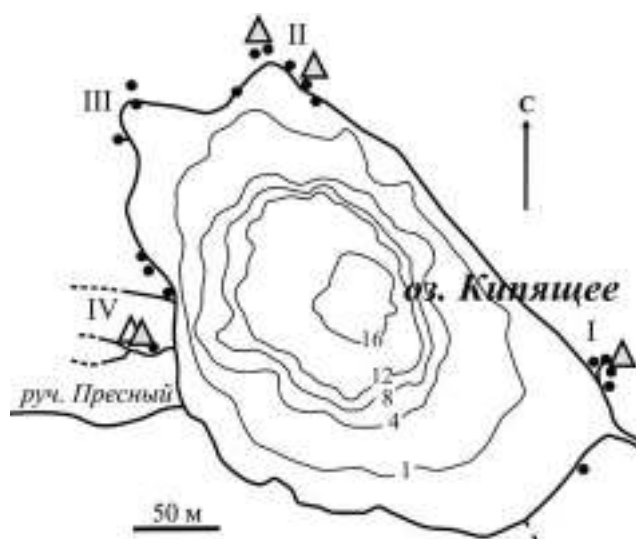


Рис. 87. Схема сольфатарного поля и батиметрия оз. Кипящее.

Особенностью юго-восточного участка (рис. 88, 89) является наличие большого котла (рис. 90, 91) диаметром до 4 м (источник «Большой») по [Мархинин, Стратула, 1977], рядом с которым через обводненные песчаные отложения пробивается множество парогазовых струек (рис. 92, 93) и расположены «кипящие» источники (рис. 94, 95), сольфатары и термальные источники с темной водой (рис. 96, 97). На северном участке также функционирует множество разнообразных кипящих котлов и сольфатар (рис. 98, 99).

Проведенная георадарная съемка на северном (рис. 100) и юго-вос-

точном участках поля установила на глубине 2-4 м однородный обводненный горизонт, из которого по каналам гидротермы поднимаются на поверхность. На георадарном профиле по северному участку видно (рис. 101), что каналы термальных источников разного состава (слева – субнейтральный источник, справа – кислый) берут начало на глубине порядка 2 м из общего горизонта термальных вод.



Рис. 88. Юго-восточный участок сольфатарного поля и протока в озеро Горячее. Фото автора, 2009 год.



Рис. 89. Южная часть озера и юго-восточный участок Центрального Восточного сольфатарного поля.
Фото Д.Н. Козлова, 2010 год.



Рис. 90. Котел Большой и окружающие его термальные источники. Фото автора, 2007 год.



Рис. 91. Диаметр котла около 4 метров, глубина более 2 метров. Фото Д.Н. Козлова, 2010 год.



Рис. 92. Участок «кипящих» источников назван «Чертова Сковорода». Фото автора, 2007 год.



Рис. 93. Многочисленные выходы термальных вод в районе котла Большой. Фото Д.Н. Козлова, 2010 год.



Рис. 94. «Кипящий» термальный источник. Фото А.В. Дегтерева, 2009 год.



Рис. 95. Бурление гидротерм в источнике. Фото автора, 2007 год.



Рис. 96. Отложения серы и солей вокруг термального источника. Фото Д.Н. Козлова, 2010 год.



Рис. 97. «Черные» источники на берегу озера. Фото Д.Н. Козлова, 2010 год.



Рис. 98. Северный участок Центрального Восточного сольфатарного поля. Фото автора, 2007 год.



Рис. 99. «Кипящие» котлы северного участка. Фото автора, 2007 год.



Рис. 100. Место проведения георадарной съемки на северном участке. Фото автора, 2010 год.

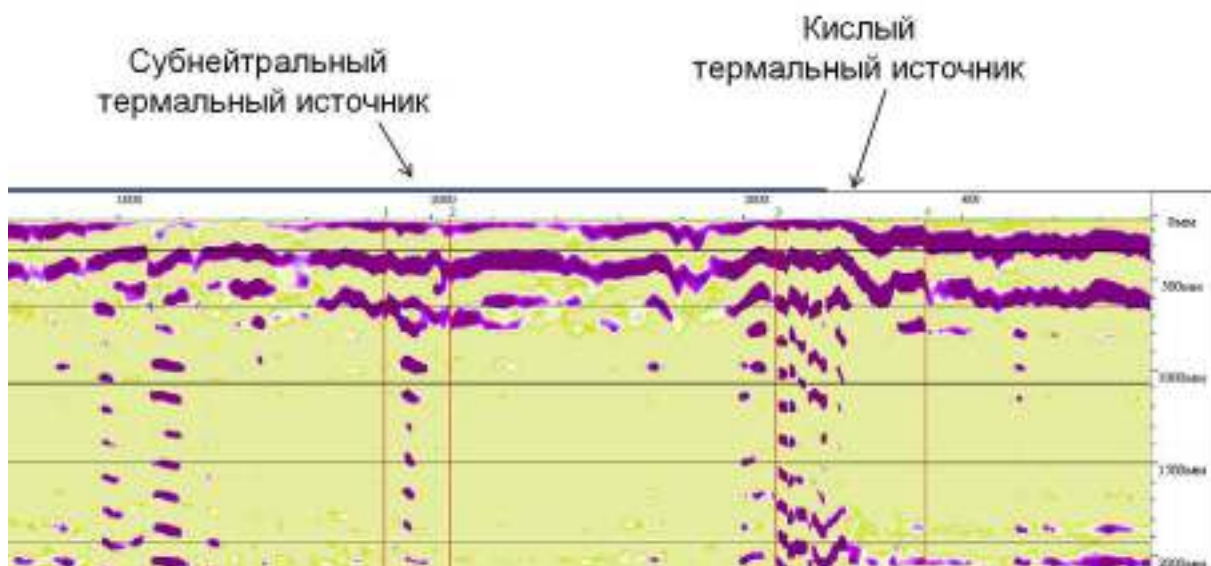


Рис. 101. Фрагмент георадарного профиля на северном берегу оз. Кипящее.
Между метками 1 и 2 – канал субнейтрального термального источника, между метками 3 и 4 – канал кислого источника.

По-видимому, это субнейтральные гидротермы, которые разгружаются на поверхности в виде гидрокарбонатно-сульфатных натриево-кальциевых термальных источников. В непосредственной близости от этих источников выходят кислые сульфатные натриевые термы, формирование которых можно объяснить внедрением большого количества сольфатарных газов, в результате чего изначально субнейтральные гидротермы обогащаются сульфат-ионами и становятся более кислыми.

На северо-западном (рис. 102, 103) и западном (рис. 104, 105) участках сольфатар немного, в основном здесь расположены термальные источники и небольшие холодные ручейки. С помощью тепловизора получены инфракрасные снимки всех участков с выходами гидротерм и сольфатарных газов (рис. 106). Температура сольфатарных газов достигает 90-100 °С (рис. 107). Температура источников варьирует от 60 °С до 95 °С, химический состав термальных вод резко различается даже внутри участка: от субнейтральных и слабощелочных (pH=6.0-8.5) гидрокарбонатно-сульфатных натриево-кальциевых до кислых (pH=2.0-2.5) сульфатных натриевых. В газовом составе термальных источников [Мархинин, Стратула, 1977] преобладают CO₂ и H₂S (общая сумма 55%), 42% газов приходится на азот и редкие газы. Сольфатары этого поля имеют иной газовый состав (CO₂ – 52%, H₂S – 45%), конденсаты сольфатарных газов по химическому составу хлоридно-сульфатные кальциевые.

Изотопный состав кислорода и водорода, по данным автора и работы [Чудаев и др., 2003], указывает на преимущественно атмосферное происхождение водной компоненты гидротерм на берегу оз. Кипящее. Значения $\delta^{34}\text{S}$ в гидротермах варьируют в пределах от +1.9‰ до +2.5‰ [Чудаев и др., 2003], что свидетельствует, по мнению авторов, о глубинном (магматическом) происхождении гидротерм.

Озеро Кипящее

Воронка фреатического взрыва, заполненная озером Кипящее, врезана в озерные отложения и юго-западную часть экстррузивного купола Центральный Восточный. Высота кромки кратера до 195 м над уровнем моря, средняя глубина кратера 30 м. Глубина озера 16 м, диаметр около 235 м, площадь зеркала озера – 66000 м² [Козлов, Жарков, 2010]. В центре озера находится воронка глубиной до 16 м, со дна которой поднимаются газовые струи, хорошо видимые на поверхности в тихую безветренную погоду. Кислые (pH=2.5), хлоридно-сульфатные натриевые воды озера Кипящее нагреты в местах выхода газогидротерм до 90 °С. В центральной части озера [Мархинин, Стратула, 1977] химический состав воды преимущественно хлоридный натриевый, pH=3.7, температура на поверхности около 30 °С. Проведенные работы [Козлов, Белоусов, 2007б] по реконструкции фреатического взрыва кратера Кипящего и морфологии озерной котловины позволили получить интересные данные. В результате работ, проведенных в кальдере вулкана Головинна, собрана информация о характере отложений фреатического взрыва. Мощность отложений варьирует от 2-2.5 м по берегам озера до 50-60 см на удалении до 500 метров. На расстоянии 1500 м от озера мощность отложений составляет 20-30 см, на дистанции 2000-2500 м мощность слоя порядка 2-5 см. Средний диаметр обломочного материала составляет 8-12 см на удалении 1000 м и 3-5 см на расстоянии 2000 м от озера. На берегу озера встречаются баллистические блоки диаметром от 0.5 до 1.5 м.



Рис. 102. Северо-западный участок Центрального Восточного сольфатарного поля.
Фото Д.Н. Козлова, 2010 год.



Рис. 103. Термальные источники на северо-западном участке. Фото Д.Н. Козлова, 2010 год.



Рис. 104. Западный участок Центрального Восточного сольфатарного поля. Фото автора, 2007 год.



Рис. 105. Измерение температуры в термальном источнике западного участка. Фото автора, 2007 год.

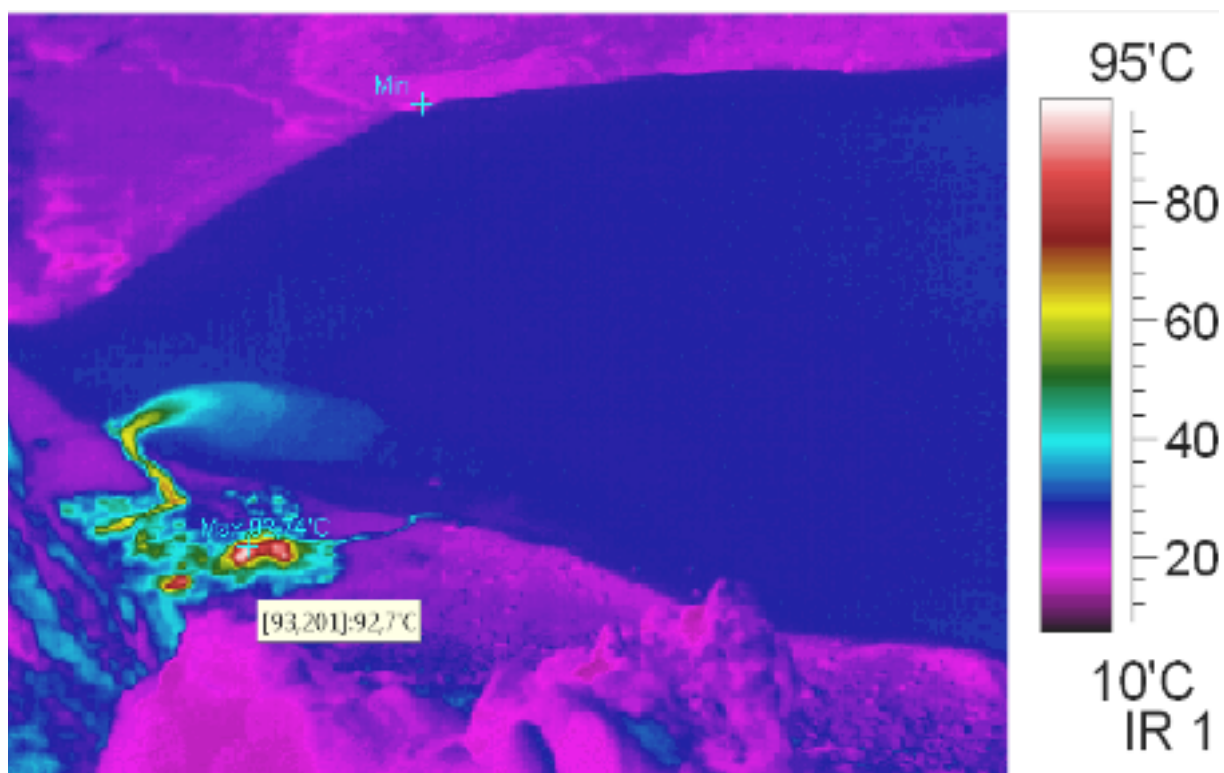


Рис. 106. Инфракрасный снимок юго-восточного участка, 2010 год.



Рис. 107. Измерение температуры в источниках юго-восточного участка. Фото Д.Н. Козлова, 2010 год.

На основании проведенного площадного картирования был вычислен объем выброшенного материала, который составил 0.00241 км^3 , что довольно хорошо сходится с объемом воронки озера, который равен 0.00245 км^3 . Эти данные доказывают то, что воронка озера Кипящее была образована фреатическим извержением.

При проведении батиметрической съемки с помощью эхолота на озере Кипящее отработано 7 профилей общей протяженностью 1.5 км. В результате была составлена батиметрическая схема озера [Козлов, Белоусов, 2007а; Козлов, Жарков, 2010], на которой виден донный рельеф, а на профилях видны выходы газов (рис. 108). Дно воронки плоское, отnivelированное рыхлыми отложениями. Со дна сплошным потоком поднимаются к поверхности мощные парогазовые струи.

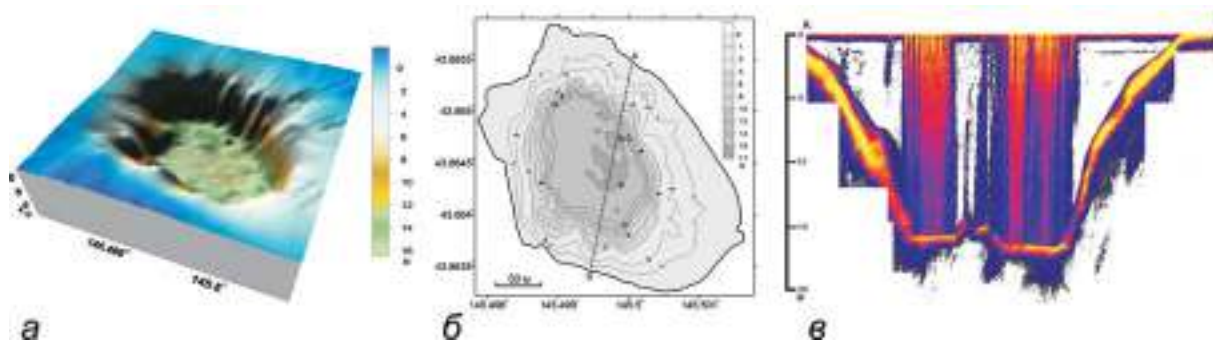


Рис. 108. 3D батиметрическая модель озера Кипящее (а), батиметрическая схема (б) и фрагмент эхолотного профиля по линии А-Б (в).

С помощью тепловизора проведена инфракрасная съемка озера. Поверхность озера с вершины Центрального Восточного купола находится примерно в одном температурном диапазоне $30\text{--}35^\circ\text{C}$, при этом, отражающиеся облака и солнце существенно изменяют истинное значение температуры. Лишь в северной части озера у берега, где хорошо видны бурлящие выходы газогидротерм, температура достигает 80°C (рис. 109).

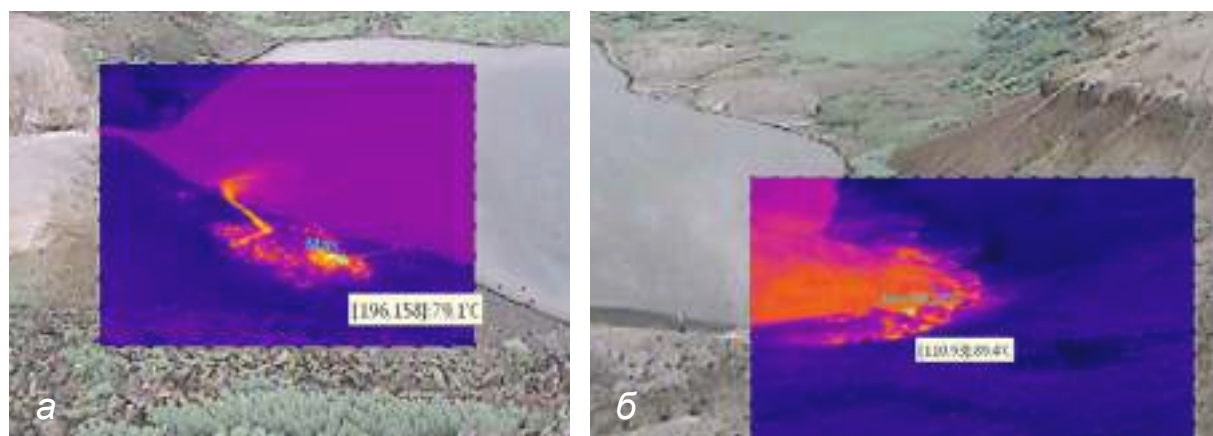


Рис. 109. Совмещенные с фотографией инфракрасные снимки юго-восточной (а) и северной (б) части озера Кипящее.

Озеро Горячее

Северная часть кальдеры вулкана Головнина занята озером Горячее (рис. 110, 111), которое сообщается с Охотским морем ручьем Озерным.



Рис. 110. Южная часть озера Горячее, вид с Центрального Восточного купола. Фото Д.Н. Козлова, 2010 год.



Рис. 111. Центральная часть озера Горячее, вид с Центрального Восточного купола. На противоположном берегу видны сольфатарные поля: Безымянное (слева), Набоковское и Черепаховое (справа).
Фото Д.Н. Козлова, 2010 год.

В настоящее время озеро занимает 3.1 км², что составляет около одной трети всей площади дна кальдеры. С помощью эхолотной съемки удалось детально закартировать в западной и восточной частях озера две воронки [Белоусов, Козлов, 2007а, Козлов, Жарков, 2010]. Размер западной воронки около 250×200 м, глубина 62.3 м, размер восточной воронки 200×150 м, глубина 60 м. Обе воронки имеют обширные газогидротермальные выходы, которые хорошо видны на эхолотных профилях (рис. 112).

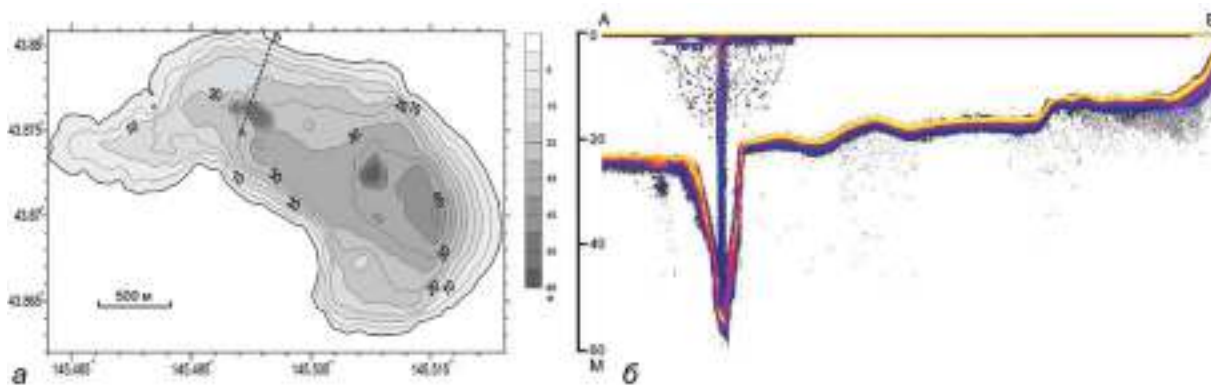


Рис. 112. Батиметрическая схема озера Горячее (а) и фрагмент эхолотного профиля через западную воронку по линии А-Б (б).

Формирование воронок, по всей видимости, связано с фреатическими извержениями, подобными тому, в результате которого образовался кратер озера Кипящее. Главная особенность состава воды оз. Горячее – резкая стратификация с обособлением поверхностного слоя мощностью 10-12 м. Верхний слой характеризуется сравнительно высокой температурой 17-18 °С, нижний слой, вплоть до дна, характеризуется постоянной температурой 8-9 °С. Воды озера кислые (рН=2.5-3.0), сульфатно-хлоридные натриево-кальциевые [Зотов и др., 1988]. Несмотря на кислый состав вод, в южной части озера в районе впадения пресного ручья автором обнаружены водяные клопы гладыши (*Notonecta glauca* L.), которые приспособились к жизни в экстремальной кислой среде.

На берегах оз. Горячее расположены несколько сольфатарных полей (рис. 82): Центральное Западное, Черепаховое, Набоковское и Безымянное. Кроме этого, в северо-западной прибрежной части озера на подводном склоне Подушечного купола выделяют [Мархинин, Стратула, 1977] Подводное сольфатарное поле.

Центральное Западное сольфатарное поле расположено на западном берегу оз. Горячее. По-видимому, образование этого поля связано с фреатическим извержением на северном склоне Центрального Западного экструзивного купола (рис. 113, 114). Современная сольфатарно-гидротермальная деятельность проявляется на трех участках в виде выходов парогазовых струй и термальных котлов (рис. 115).

В нижней части поля (рис. 116) из небольшой трещины вытекает ручеек с температурой до 98 °С. Вода ручейка представляет естественный конденсат сольфатар и относится к кислым (рН=2.0), сульфатно-хлоридным кальциево-натриевым термам. Кислый ручеек впадает в озеро Горячее, отчего вода в озере становится ярко-голубого цвета (рис. 117). Сольфатары и термальные котлы Центрального Западного поля самые высокотемпературные на вулкане – от 90 °С до 102.5 °С (рис. 118, 119).



Рис. 113. Центральный Западный экструзивный купол в кальдере вулкана Головнина.
Фото автора, 2010 год.



Рис. 114. Сольфатары у подножья экструзивного купола, 2010 год. Фото Д.Н. Козлова, 2010 год.



Рис. 115. Схема (а) и фотография (б) Центрального Западного сольфатарного поля.
На схеме заполненными треугольниками показаны активные сольфатары, пунсонами – термальные источники.



Рис. 116. Вид на Центральное Западное сольфатарное поле со склона купола. Фото Д.Н. Козлова, 2010 год.



Рис. 117. Озеро Горячее в районе впадения кислого ручейка сольфатарного поля.
Фото Д.Н. Козлова, 2010 год.



Рис. 118. Измерение температуры воды термального котла. Фото В.Б. Гурьянова, 2000 год.

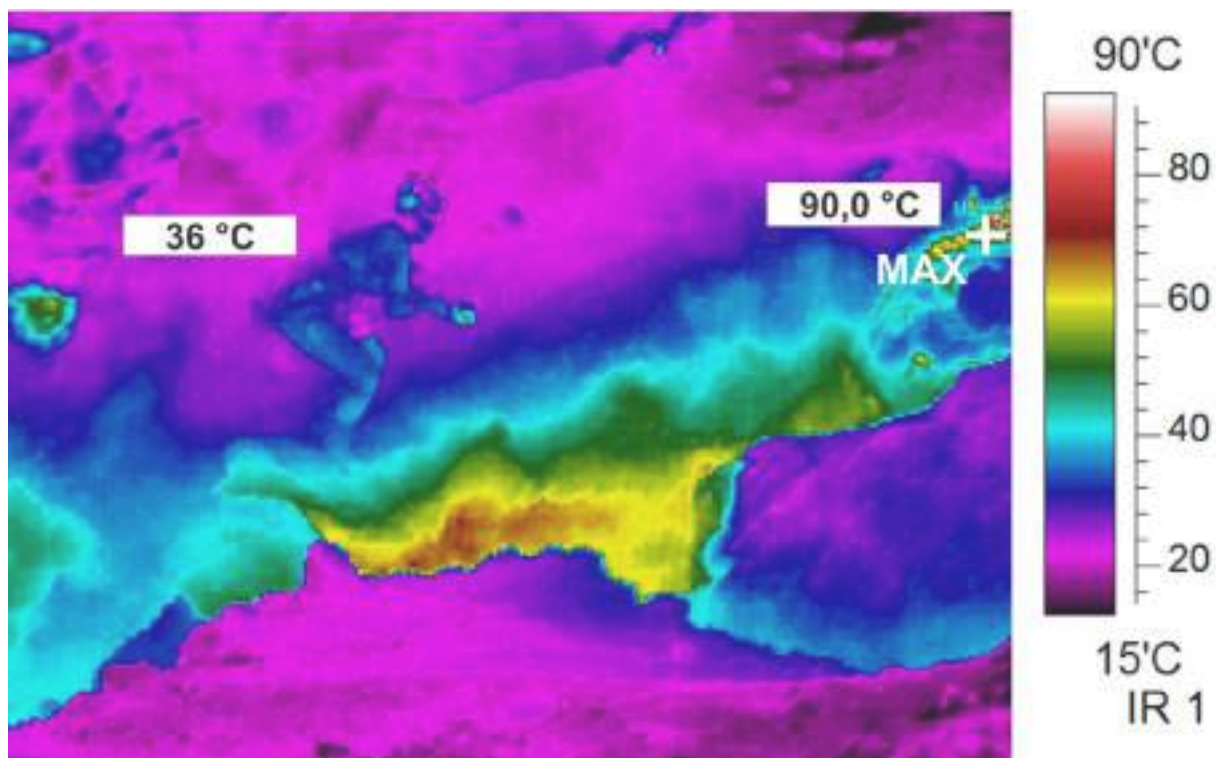


Рис. 119. Инфракрасная съемка термального котла. В кадре вулканолог, производящий измерение температуры. 2010 год.

По газовому составу [Мархинин, Стратула, 1977] они схожи с сольфатарами Центрального Восточного поля, только углекислый газ и сероводород содержатся в равных пропорциях (по 48%), конденсат сольфатарных газов имеет сульфатный кальциевый химический состав и $\text{pH}=2.8$.

Сольфатары и гидросольфатары **Черепехового поля** (рис. 120, 121) довольно интенсивно действуют в северо-восточной части озера, где они приурочены к гидротермально измененным породам. Температуры источников достигают $80\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\text{pH}=2.3$. По химическому составу это сульфатные кальциево-натриевые воды со средней минерализацией. Сольфатары Черепехового сольфатарного поля имеют температуру до $98\text{ }^{\circ}\text{C}$ и являются углекислыми (содержание CO_2 – 94%) [Мархинин, Стратула, 1977] с относительно небольшим содержанием метана (до 1.7%). Здесь же можно выделить небольшое подводное сольфатарное поле, где с глубины 50-60 см выделяется газ, локально нагревающий воду озера до $30\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Набоковское сольфатарное поле расположено на северо-восточном берегу Горячего озера (рис. 122, 123). Здесь имеется 4 малodeбитных источника с температурой $38\text{--}52\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $\text{pH}=6.0$. Источники находятся на стадии угасания.

Безымьянное сольфатарное поле расположено на северном берегу Горячего озера (рис. 124, 125). Выходы сольфатар сконцентрированы в двух пунктах: непосредственно на берегу озера и в нескольких десятках метров от него. Это сольфатарное поле особенно характерно развитием грязевых котлов. Вдоль небольшого ручья расположено 6 «кипящих» грязевых котлов с температурой до $89\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $\text{pH}=3.4$. В русле ручья и на возвышенных участках многочисленны выходы газов с температурой $100\text{--}101\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Подводное сольфатарное поле расположено в северо-западной прибрежной части озера на подводном склоне Подушечного купола. Оно занимает площадь примерно 400 м^2 , с которой поднимаются многочисленные струйки газа (рис. 126, 127). Газы содержат среди преобладающих паров воды и углекислого газа значительное количество хлоридных и сернистых газов [Мархинин, Стратула, 1977].

Алехинские термальные источники находятся в пределах постройки вулкана Головнина (см. рис. 82). Выходы термальных вод приурочены к периферии Внешнего купола вулкана Головнина, на склоне купола находятся сольфатары и гидросольфатары Внешнего сольфатарного поля (рис. 128, 129).

Алехинские источники принято разделять на две группы: Северную и Южную. Северо-Алехинские термальные источники находятся в районе бывшего пос. Алехино на охотоморском побережье острова. Дебит этих источников около 1.5 л/сек, а температура колеблется в пределах $45\text{--}55\text{ }^{\circ}\text{C}$. Кислотность вод у источников различная ($\text{pH}=3.5\text{--}6.2$). Воды источников углекислые, сульфатно-хлоридные кальциево-натриевые. Источник Банный (Северный по [Мархинин, Стратула, 1977]) давно используется для купаний (рис. 130), в настоящее время здесь оборудованы небольшие ванночки (рис. 131), в которые по трубе поступает горячая вода. Термальный источник Орлиный (Центральный по [Мархинин, Стратула, 1977]) расположен на скалистом выступе (рис. 132) на высоте около 10 метров, его воды небольшим ручьем стекают в Кунаширский пролив Охотского моря (рис. 133).

Южно-Алехинская группа источников находится юго-западнее и вытянута по побережью на 1.5 км. Температура источников в северной части группы от 50 до $65\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\text{pH}=3.3\text{--}4.2$. Воды сульфатно-хлоридного кальциево-натриевого состава. В руслах этих источников происходит отложение серы.



Рис. 120. Черепаховое поле на берегу озера Горячее. Фото автора, 2011 год.



Рис. 121. «Черепаховая» структура пород на поверхности дала название сольфатарному полю.
Фото автора, 2011 год.



Рис. 122. Набоковское сольфатарное поле. Фото Д.Н. Козлова, 2014 год.



Рис. 123. Породы в пределах Набоковского сольфатарного поля гидротермально изменены и превращены в глину. Фото Д.Н. Козлова, 2014 год.



Рис. 124. Центральная часть Безымянного поля с термальными источниками и грязевыми котлами.
Фото Д.Н. Козлова, 2014 год.



Рис. 125. Безымянное сольфатарное поле. Фото автора, 2011 год.



Рис. 126. Подводное сольфатарное поле. Пузырьки газов поднимаются со дна озера Горячее.
Фото Д.Н. Козлова, 2014 год.



Рис. 127. Вода озера в районе Подводного поля имеет характерный ярко-голубой цвет.
Фото И.М. Климанцова, 2014 год.



Рис. 128. Сольфатары Внешнего сольфатарного поля. Фото А.В. Рыбина, 2000 год.



Рис. 129. Вулканологи ИМГиГ ДВО РАН проводят замер температур и отбор проб сольфатарных газов и термальных вод Внешнего поля вулкана Головнина. Фото Д.Н. Козлова, 2014 год.



Рис. 130. Ванный павильон у Банного (Северного) Алехинского термального источника в начале 1950-х годов [Иванов, 1955].



Рис. 131. Ванночки у термального источника Банный. Фото автора, 2003 год.



Рис. 132. Термальный источник Орлиный. Фото И.М. Климанцова, 2003 год.



Рис. 133. Термальный ручей источника Орлиный. Фото автора, 2003 год.

В средней части группы на уступе террасы (рис. 134) и в пределах приливно-отливной полосы выходят струи пара с температурой до 110 °С (рис. 135, 136), этот участок схож с «Горячим Парком» Нескученских источников, где из-под галечника также интенсивно выходит пар. Крайний южный источник группы – источник Известный (рис. 137, 138) – имеет температуру 53 °С, рН=7.3. Воды источника гидрокарбонатно-сульфатные кальциево-натриевые. По химическому и газовому составу, по развитым в русле термофильным водорослям этот источник также схож со многими источниками Нескученской группы.



Рис. 134. Парогазовые выходы Южно-Алехинской группы на уступе морской террасы.
Фото автора, 2003 год.



Рис. 135. Пульсирующий источник, Южная группа Алехинских источников. Фото Д.Н. Козлова, 2014 год.



Рис. 136. Измерение температуры парогазовых выходов. Фото Г.А. Челнокова, 2005 год.



Рис. 137. Термальный источник Известный Южно-Алехинской группы. Фото И.В. Брагина, 2005 год.



Рис. 138. В гидротермах источника Известный развиваются термофильные водоросли.
Фото автора, 2003 год.

По соотношению основных элементов Алехинские источники практически идентичны, в отдельную группу выделяется только источник Известный с его гидрокарбонатно-сульфатными термами (рис. 139).

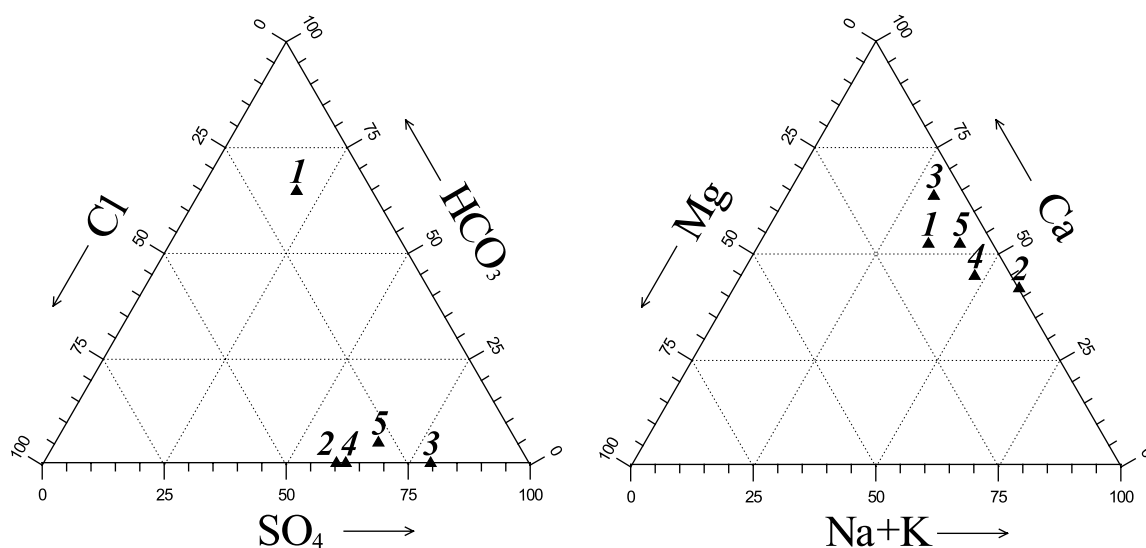


Рис. 139. Соотношение основных ионов в термальных водах Алехинских источников.
Термальные источники: 1 – Известный; 2 – Тройной; 3 – Орлиный; 4 – Завальный; 5 – Баный.

Анализ состава газов кислых Алехинских источников [Мархинин, Стратула, 1977] показал преобладание CO₂ (до 77%) и N₂ с редкими газами (21%), в субнейтральных источниках преобладает азот. Изотопный состав кислорода и водорода азотных и углекислых Алехинских термальных источников (азотные $\delta D = -63\text{‰}$, $\delta^{18}O = -10.3\text{‰}$; углекислые $\delta D = -69\text{‰}$, $\delta^{18}O = -10\text{‰}$) по [Чешко, 1994] близок к метеорным водам.

Для кальдерных вулканов могут быть характерны несколько иные, чем для сложных стратовулканов, особенности распространения гидрогеохимических типов гидротерм. В центре кальдеры вулкана Головнина находятся два экструзивных купола, на периферии которых в результате гидротермально-фреатических извержений образовались озера и сольфатарные поля с выходами кислых углекислых сульфатных со сложным катионным составом терм. Примечательно, что на берегу Кипящего озера соседствуют кислые углекислые сульфатные источники и субнейтральные углекислые сульфатно-гидрокарбонатные кальциево-натриевые термальные источники. Породы на сольфатарных полях гидротермально изменены, почвы и растительный покров отсутствуют. На границе полей имеются заросли низкорослого кедрового стланика на погребенных или маломощных почвах. На периферии вулкана, в районе Внешнего экструзивного купола, выходят Алехинские источники. Северо-Алехинские источники сосредоточены, в основном, на скальных выступах и разнотравных лугах первой морской террасы в окружении смешанных лесов из дуба, магнолии, пихты. Основная часть Южно-Алехинских источников и выходов пара с температурой до 100 °C расположена среди галечников на нешироких пляжах. За пределами Внешнего купола выходят субнейтральные гидрокарбонатно-сульфатные кальциево-натриевые термы Известного источника с температурой до 53 °C. В русле термального ручья источника развиваются термофильные водоросли. Сам источник Известный и

окружающие его ландшафты схожи с термальным источником Изумрудный Ключ Нескученской группы. Большое сходство с Нескученскими источниками имеют и другие Алехинские источники.

В целом, на острове Кунашир имеются практически все известные типы термальных вод. На разных морфогенетических типах вулканов («кустовые» стратовулканы Руруй и Менделеева, кальдерный вулкан Головнина) наблюдаются своеобразные закономерности смены гидрохимических типов термальных вод от центра вулканов к периферии.

3.2. Гидротермы острова Итуруп

На острове Итуруп есть несколько вулканов, находящихся на современной сольфатарно-гидротермальной стадии активности (рис. 140). Автором, совместно с коллегами, изучались вулканы центральной части острова, входящие в вулканический хребет Грозный. Кроме этого, в 2003 году мы посетили вулканы Чирип и Богдан Хмельницкий, где проводили только замеры температуры сольфатарных выходов. На вулкане Атсонупури, по рассказам местных жителей, в вершинном кратере наблюдалась сольфатарная активность. Проведенное нами в 2003 году обследование вулкана не подтвердило это, термальных источников в пределах его постройки также не обнаружено. Очень интересна гидротермальная система вулкана Берутарубе на юге острова, но из-за удаленности вулкана мы не смогли исследовать его термальные источники и сольфатары. В кальдере Медвежья, на северо-востоке острова, есть несколько термальных источников, которые в 2014 году удалось обследовать сотрудникам лаборатории вулканологии и вулcanoопасности ИМГиГ ДВО РАН. В 2013-2014 гг. также проводились исследования термальных источников в районе пос. Горячие Ключи и гидротерм Дачного месторождения.

Для удобства описания гидротермальных систем и термопроявлений можно условно разделить о. Итуруп на несколько частей: северо-восточную, центральную и южную. В северо-восточной части находится полуостров Медвежий, отделенный низменным перешейком Ветровой от остальной части острова. В кальдере Медвежья расположены вулкан Кудрявый с мощными высокотемпературными фумаролами и молодой вулкан Меньший Брат (в литературе иногда встречается название Меньшой Брат), у подножья которого есть выходы термальных вод. В центральной части острова находится вулканический хребет Грозный, протягивающийся примерно на 45 км от перешейка Ветровой до Куйбышевского перешейка. Термальные воды хребта Грозный выходят в пределах вулканов Баранского, Тебенькова и Мачеха, Иван Грозный, а также на южной периферии в районе пос. Горячие Ключи. К гидротермам центральной части острова также можно отнести скважину №13к в районе г. Курильск, источники вулканов Чирип и Богдан Хмельницкий на полуострове Чирип, Рейдовские термальные источники в районе пос. Рейдово. В монографии под южной частью Итурупа при описании гидротерм понимается остальная часть острова, расположенная к югу от Куйбышевского перешейка. Сюда можно отнести Дачное месторождение гидротерм в районе пос. Буревестник, сольфатары и термальные источники вулкана Берутарубе на полуострове Часовой. В работе [Мархинин, Стратула, 1977] описываются также Крабовые (Осочные) термальные источники, источники вулканов Буревестник и Стокап, но информации об их современном состоянии у автора нет.

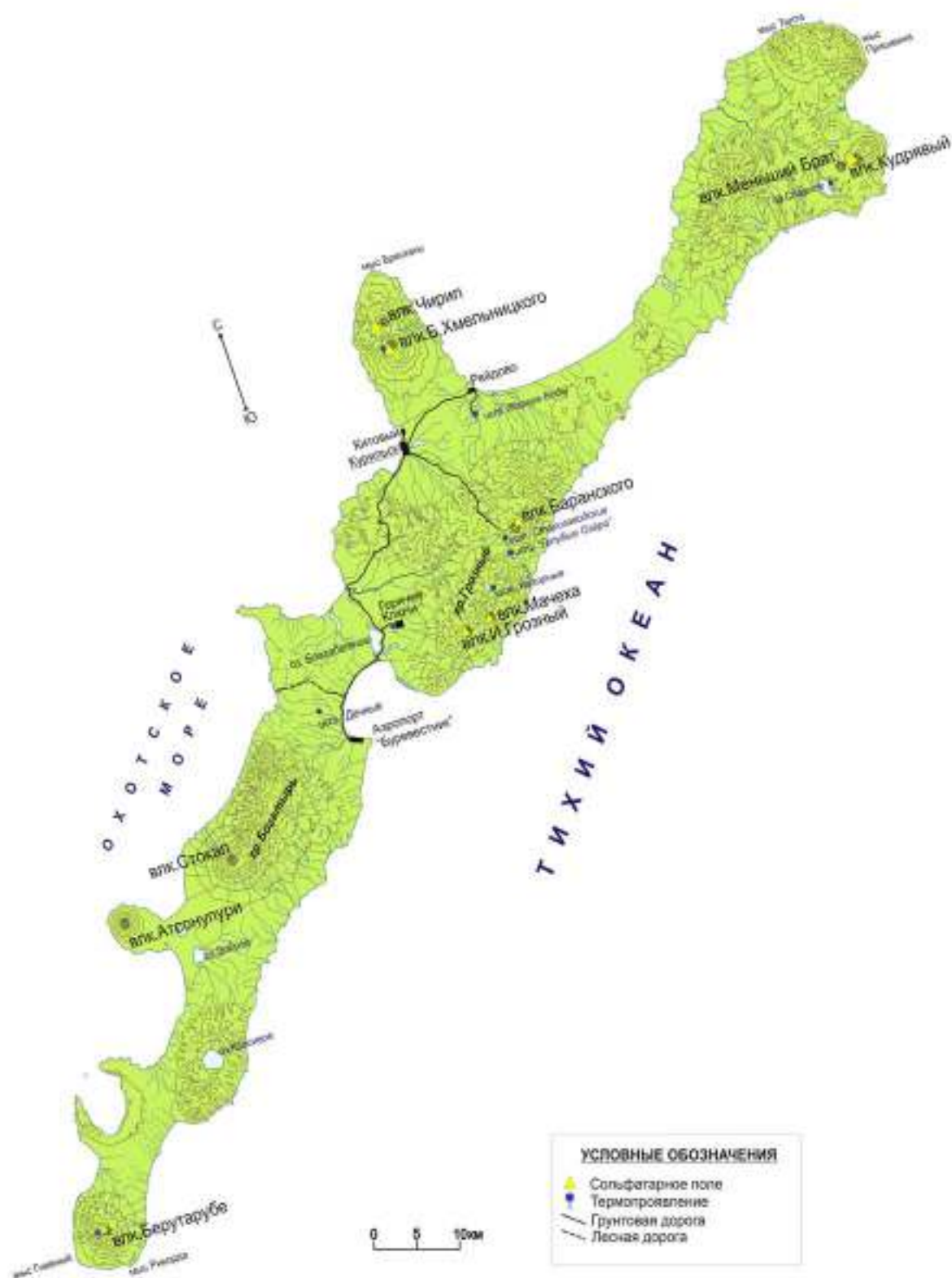


Рис. 140. Схема острова Итуруп.

3.2.1. Гидротермы северо-восточной части Итурупа

В северо-восточной части острова Итуруп расположена кальдера Медвежья. Кальдера представляет собой четвертичную полигенную вулканическую структуру, включающую ряд активных современных вулканов. В истории развития кальдеры выделяются три стадии: докальдерная, связанная с образованием крупного щитового вулкана; кальдерная, с внедрением риолитдацитовых экструзий; посткальдерная, с образованием внутрикальдерных стратовулканов Медвежий, Средний, Кудрявый и Меньший Брат [Горшков, 1967; Остапенко, 1969; Пискунов и др., 1999]. Формирование кальдеры относится к среднему плейстоцену, развитие посткальдерных вулканов – к позднему плейстоцену и голоцену [Ермаков, Семакин, 1996; Ермаков, Штейнберг, 1999]. Состав пород, слагающих кальдеру, варьирует от базальтов до риолитов при преобладании андезибазальтов и андезитов, породы относятся к известково-щелочной серии [Химический..., 2009].

Вулкан Кудрявый

Вулкан Кудрявый (рис. 141) имеет высоту 986 м, диаметр основания около 5 км. Он наложен на древнюю, сильно переработанную, постройку влк. Среднего. Все породы вулкана подразделяются на три разновозрастные толщи. Нижняя толща состоит из многочисленных глыбовых лавовых потоков андезибазальтового и андезитового состава, обнажающихся на периферии вулкана и отделенных друг от друга брекчиевыми корками. Излияния лавовых потоков происходили, в основном, в западном направлении; на восток распространение лав ограничивали постройки риолитового купола и влк. Средний. Поверхность лавовых потоков заросла стлаником, ольхой, березой, особенно на высотных отметках меньше 350 м. После формирования этой толщи влк. Кудрявый, видимо, находился в состоянии относительного покоя.



Рис. 141. Вулкан Кудрявый. Фото А.В. Рыбина, 1998 год.

На южном и северном склонах формировались склоновые брекчии с прослоями туфов и органики [Горшков, 1967; Остапенко, 1969; Ермаков, Семакин, 1996; Магматические..., 2000].

В кратерах на вершине вулкана Кудрявый выделяется четыре высокотемпературных ($>200\text{ }^{\circ}\text{C}$) фумарольных поля (рис. 142, 143): Главное, Купол, Молибденовое и Рениевое, в котором был впервые в значительном количестве обнаружен природный дисульфид рения (рениит ReS_2), а также несколько низкотемпературных ($100\text{--}200\text{ }^{\circ}\text{C}$) площадок. Последнее магматическое извержение на вулкане было в 1883 г. и с тех пор его вулканическая активность связана с эмиссией высокотемпературного (до $940\text{ }^{\circ}\text{C}$) газа и редкими фреатическими взрывами [Чаплыгин, 2009].

Новый кратер на вулкане Кудрявый образовался 7-8 октября 1999 года в результате извержения, начавшегося как фреатическое (рис. 144). Позже В.С. Знаменский сообщал о лаве, наблюдавшейся на дне кратера во второй половине октября. Кратер 1999 года представляет собою воронку взрыва с отвесными стенками глубиной от 15 до 40 м (рис. 145), диаметр верхней окружности около 15 м.

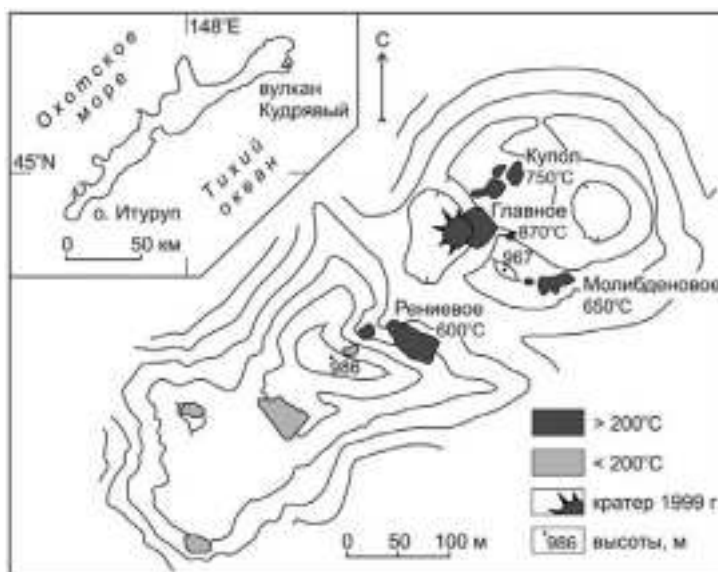


Рис. 142. Схема фумарольных полей вулкана Кудрявый [Чаплыгин, 2009].



Рис. 143. Фумарольные поля в кратерах вулкана Кудрявый. Фото А.В. Рыбина, 1998 год.



Рис. 144. Фреатическое извержение вулкана Кудрявый в октябре 1999 года.
Фото И.А. Соловьевой.



Рис. 145. Кратер фреатического извержения 1999 года. Фото В.Б. Гурьянова, 2014 год.

У ее днища наблюдалось извержение газов из отверстия в раскаленных до красного свечения породах. Хотя все высокотемпературные фумарольные площадки расположены в радиусе 200 м от воронки, ее эксплозия, по данным визуальных наблюдений, не отразилась на режиме их дегазации, тогда как угасшая фумарола поля Купол активизировалась [Вулканическое..., 2000; Магматические..., 2000; Чаплыгин, 2009].

Уникальность вулкана Кудрявый связана с его современной фумарольной деятельностью. Фумаролы здесь одни из самых высокотемпературных среди активных вулканов мира, значения температур на Главном фумарольном поле достигают 870–940 °С. Содержание воды в фумаролах составляет 93.9–98.4 мол. % и имеет обратную корреляцию с температурой, а концентрация остальных компонентов варьирует (от – до, мол. %) CO_2 0.58–2.29, H_2S 0.24–0.78, SO_2 0.42–2.90, HCl 0.04–0.69, H_2 0.04–1.16, CO 0.0003–0.0218, N_2 0.007–1.203 [Чаплыгин, 2009]. Кроме этого, фумарольными газами в атмосферу выносятся металлы, в том числе, по многолетним подсчетам И.В. Чаплыгина [2009] 30–60 кг рения (Re) в год. Благодаря наличию в газах и приповерхностных породах рения, превышающего средние значения его содержания в литосфере, вулкан стал известен в отечественной и мировой вулканологии.

Вулкан Меньший Брат

Вулкан приурочен к субширотному разлому, с которым связаны практически все проявления вулканической активности посткальдерной стадии развития кальдеры Медвежья. Основой постройки вулкана Меньший Брат (рис. 146) является субвулканическое тело риодацитов высотой 562 м. В него врезаны три кратера, из которых происходили излияния лав (рис. 147) и выбросы базальтовых и андезибазальтовых шлаков без наращивания высоты вулканического конуса. Продукты вулканической деятельности представлены лавовыми потоками и шлаковыми полями, преимущественно базальтового и андезибазальтового составов [Горшков, 1967; Остапенко, 1969].

Вулкан Меньший Брат уникален в своем роде. Большинство вулканических пород Большой Курильской дуги принадлежат к известково-щелочной серии, характеризующейся значительными вариациями содержаний SiO_2 от 48 до 72 мас. %, K_2O от 0.1 до 3 мас. % при умеренном содержании MgO (не выше 5 мас. %). Магнезиальные базальты более характерны для вулканитов тыловой зоны (например, в породах вулкана Алаид до 12.5 мас. % MgO), находки магнезиальных базальтов и андезибазальтов во фронтальной и осевой зонах дуги достаточно редки: отдельные лавовые потоки известны на вулканах Эбеко и Ветровой (о. Парамушир) содержащие 6–8 мас. % MgO . На фоне этой закономерности магнезиальные базальты вулкана Меньший Брат (содержание MgO 8–9 мас. %), расположенного во фронтальной зоне Курильской островной дуги, представляют исключительное явление [Химический..., 2009].

Термальные источники вулкана Меньший Брат расположены на северном и южном склонах вулкана. Источники южного склона упоминаются в работе Г.В. Корсунской [1958]. Северная группа источников впервые обследована в 1951 г. гидрогеологом Л.Е. Михайловым, описание и химический состав приведены в работе [Мархинин, Стратула, 1977].



Рис. 146. Вулкан Меньший Брат, вид с севера. У фронта лавового потока находится озеро Теплое.
Фото А.В. Рыбина, 1998 год.



Рис. 147. Фронтальная часть лавового потока на северо-западном склоне вулкана Меньший Брат, сложенного магнезиальными базальтами. Фото М.В. Чибисовой, 1998 год.

Южная группа источников описана Г.В. Корсунской [1958] так: «От южного подножия конуса почти на 3 км простирается несколько свежих на вид лавовых потоков. У конца одного из потоков горячие пресные ключи образовали небольшое озеро. Зимой оно не замерзает и поэтому здесь круглый год живет водоплавающая птица. Ручей соединяет это озерко с обширным озером Славным, ограниченным с запада стеной кальдеры в несколько сот метров высотой, а с севера и востока – заболоченной равниной и лавовыми потоками».

Северная группа источников находится у подножия северного склона вулкана на берегу небольшого озера Теплое (рис. 148, 149).

Озеро Теплое расположено на абсолютной высоте 170 м у фронта глыбового лавового потока влк. Меньший Брат, имеет глубину 1-2 м, размеры озера 90×20 метров. Термы выходят в южной части озера, максимальная температура воды в месте выхода составляет 34-37 °С. Дно озера шлаковое, со дна поднимаются пузыри газов, в составе которых преобладает азот (75.4%), углекислый газ составляет 13.8%, кислород 10.8%. Вода озера в месте выхода гидротерм пресная ($M = 0,622 \text{ г/дм}^3$) гидрокарбонатно-сульфатная натриево-кальциевая, субнейтральная ($pH=6.8$).

Химический состав гидротерм вулкана Меньший Брат приведен в таблице А.13, газовый состав в таблице А.16 Приложения А.

Термальное озеро Теплое используется немногочисленными туристами и вулканологами для купаний. Применение этих гидротерм началось еще японцами, ими были выложены купальни вблизи выходов наиболее высокотемпературных струй.

3.2.2. Гидротермы центральной части Итурупа

Термальные источники центральной части острова Итуруп находятся, главным образом, в пределах вулканического хребта Грозный. Кроме этого, термальные воды вскрыты скважиной в районе г. Курильск, выходят в виде источников на вулканах Чирип и Богдан Хмельницкий и в районе пос. Рейдово. Химический состав гидротерм центральной части Итурупа приведен в таблицах А.13, А.14, А.15, газовый состав в таблице А.16, изотопный состав в таблице А.17 Приложения А.

Термальные воды в районе г. Курильск

На берегу Курильского залива Охотского моря в 1.5 км к юго-западу от г. Курильска расположена скважина №13к с термальными водами. Скважина глубиной 440 м пробурена в 1986 году, дебит воды с температурой 45-46 °С составляет около 5 л/с. По химическому составу вода относится к среднеминерализованной ($M = 7 \text{ г/дм}^3$), хлоридной натриевой с $pH=6.5$. Воды скважины долгое время использовались местными жителями для купаний, здесь была оборудована небольшая бетонная ванночка. В 2009 году ЗАО «Гидрострой» приступило к строительству современного купального комплекса на базе гидротерм скважины (рис. 150). Оригинальный купальный павильон и ландшафтный дизайн территории комплекса (рис. 151) способствовали привлечению посетителей, несмотря на платный вход.

В 2010 году было разработано бальнеологическое заключение в ФГУ «РНИЦ ВМиК» (г. Москва), в котором даны рекомендации по внутреннему и наружному применению воды при лечении широкого спектра заболеваний.



Рис. 148. Озеро Теплое. На берегу расположен полевой лагерь вулканологов. Фото А.В. Рыбина, 1998 год.



Рис. 149. Южная часть озера с выходами гидротерм используется вулканологами для купаний.
Фото А.В. Рыбина, 1998 год.



Рис. 150. Строительство ЗАО «Гидрострой» купального комплекса в районе г. Курильск.
Фото А.В. Дегтерева, 2009 год.



Рис. 151. Купальный павильон и кафе на территории комплекса «Ванночки». Фото автора, 2013 год.

Вулканы Чирип и Богдан Хмельницкий

К северу от г. Курильск расположен полуостров Чирип с вулканами Чирип и Богдан Хмельницкий (рис. 152), образующими хребет Двугорбый. С западной стороны вулканического хребта расположена депрессия шириной 4 км и глубиной более 500 м, которая срезает значительную часть обоих вулканов (рис. 153). Посередине депрессию разделяет перемычка, частично состоящая из двух экструзивных куполов: сопки Горячая и Дымная. Детальное описание истории формирования и морфологии вулканического хребта дано в работе Г.С. Горшкова [1967]. Вулкан Чирип имеет абсолютную высоту 1563 м и возвышается примерно на 400-500 м над уровнем древней постройки. Его плоский, неглубокий кратер с небольшим озером на дне имеет размер около 200×250 м. От кратера по всем направлениям спускаются лавовые потоки с сильно заросшей поверхностью, что указывает на их относительную древность. В 4 км к югу от конуса Чирип поднимается конус Богдан Хмельницкий, а между ними располагается седловина высотой около 1100 м. Высшая точка вулкана Богдан Хмельницкий (1585 м) является эрозионным останцем вулканического конуса, прикратерная часть которого находилась в самой вершине ручья Южный Чирип. В 300 м к юго-востоку от вершины и на 40 м ниже находится более молодой субтерминальный кратер, который имеет диаметр около 250 м при глубине 30-35 м. В этом кратере расположена воронка последнего извержения диаметром около 100 м и глубиной до 25 м. По сведениям от местных жителей субтерминальный кратер проявлял фумарольную деятельность вплоть до 1956 г. В литературе отмечаются извержения 1843 и 1860 гг., но точное место извержений не известно. Извержения могли происходить как в районе современных сольфатарных полей в депрессии, так и в любом из субтерминальных кратеров [Горшков, 1967].

В 1990 году в субтерминальном кратере вулкана Богдан Хмельницкий отмечался фреатический взрыв. В 1996 году сотрудниками лаборатории вулканологии ИМГиГ ДВО РАН проводилось обследование субтерминального кратера, в котором обнаружили три относительно свежие воронки взрывов [Вулканическое..., 2000].

Гидротермальные проявления, описание которых приведено ниже из работы [Мархинин, Стратула, 1977], связаны с постоянной сольфатарной деятельностью в районе сопки Горячая и Дымная. В северной части депрессии расположен ручей Северный Чирип (рис. 154) и несколько озер. Долина ручья очень узкая (рис. 155), в его русле много водопадов, сложенных базальтами, а в бортах долины обнажаются туфогенные породы. В верхнем течении воды ручья пропадают в аллювиальных отложениях (рис. 156, 157). Наиболее крупное озеро Тихое имеет диаметр около 300 м и глубину порядка 8 м. В протоке, соединяющей озеро и ручей Северный Чирип, отлагаются железистые осадки, образуя так называемый Лимонитовый Каскад (рис. 158). В этом районе, на правом борту долины руч. Северный Чирип, примерно в 2.5 км от его устья, отмечается большое количество железистых источников (рис. 159). В верховьях ручья Теплый, впадающего в руч. Северный Чирип выше Лимонитового Каскада, обнаружена группа минеральных источников с температурой до 70 °С. Воды руч. Северный Чирип кислые и несут большое количество железа, при впадении в Охотское море от устья ручья на сотни метров тянется шлейф опалесцирующей молочно-желтой воды (рис. 153).



Рис. 152. Вулкан Богдан Хмельницкий, вид из г. Курильск. Фото автора, 2012 год.



Рис. 153. Хребет Двугорбый, вид с западной стороны (снимок Google Earth).



Рис. 154. Устье ручья Северный Чирип. Фото В.М. Ивашова, 2003 год.



Рис. 155. Долина ручья Северный Чирип в нижнем течении. Фото автора, 2003 год.



Рис. 156. Верхнее течение ручья Северный Чирип. Фото автора, 2003 год.



Рис. 157. Левый борт долины ручья Северный Чирип. Фото автора, 2003 год.



Рис. 158. Лимонитовый Каскад. Фото автора, 2003 год.



Рис. 159. Источники в долине ручья Северный Чирип. Фото автора, 2003 год.

Термальные источники отмечены также по обоим бортам долины ручья Южный Чирип, в 3 км от его устья. Долина в нижнем и среднем течении ручья узкая с множеством водопадов (рис. 160-162). Здесь же расположены основные сольфатарные площадки, приуроченные к сопке Дымная (рис. 163-165). Температура малодебитных кислых источников и рассредоточенных сольфатар, обследованных в 2003 году, достигает 90-100 °С.

Рейдовские гидротермы

Рейдовские термальные источники и скважины, известные под названием «Жаркие Воды», расположены в 3 км к югу от пос. Рейдово в долине ручья Минеральный, впадающего с юго-запада в оз. Рейдовое.

Источники впервые исследованы в 1951 г. Л.Е. Михайловым. В 1953 г. они были описаны В.В. Ивановым [1955]. Кроме этого, упоминание о двух горячих слабосернистых источниках имеется у Г.В. Корсунской [1958]. Местность в районе источников представляет собой слабо всхолмленную равнину с абсолютными отметками не более 60 м. Водовмещающими, по данным В.В. Иванова, являются эффузивно-туфогенные породы. По мнению Л.Е. Михайлова, источники связаны с линией тектонического нарушения, вдоль которой возникли вулканы Баранского, Богдан Хмельницкий и Чирип [Мархинин, Стратула, 1977]. К настоящему времени месторождение гидротерм оценено на глубину 660 м. Вследствие сложных гидродинамических (трещинно-жильный коллектор), гидрохимических и температурных условий оценена только эксплуатационная возможность одной скважины дебитом 350 м³/сут, запасы по всему месторождению не оценивались [Поиски..., 1982; Полезные..., 2002].

Термальные воды выходят в пределах нижней надпойменной левобережной террасы в 150-200 м от русла ручья Минеральный. Терраса сильно заболочена и покрыта густыми, часто труднопроходимыми зарослями осоки и курильского бамбучника. Горячая вода пробивается на поверхность через песчано-супесчаные аллювиальные отложения. Абсолютная высота выходов источников не более 10 м. Основной источник, находящийся рядом с заброшенным домом, известен еще с 1950-х годов (рис. 166, 167). В настоящее время он представляет собой разрушенный колодец (рис. 168), закрепленный деревянным срубом сечением 1.5×0.7 м, глубина колодца – около 2 м. Термы из колодца стекают по канавкам в ручей, дебит примерно 10 л/мин. Дно илистое, со дна колодца бурно выделяются пузырьки газа (рис. 169). Газовый состав сложный, преобладает азот (59-67%), углекислый газ составляет 22-28%, интересно отметить высокое содержание метана 8-11%. Воды источника имеют температуру 46-50 °С, характеризуются как маломинерализованные (М – 4.4 г/дм³), хлоридно-сульфатные натриево-кальциевые, рН воды 6.5.

В 100 метрах к северу от заброшенного дома находится термальный источник с глинистой водой и отложениями грязи на дне. Грязевой котел (рис. 170) имеет размеры 7×3 м, глубину 100-120 см, при этом мощность грязевых отложений 30-40 см, объем их можно оценить в 6-7 м³. Температура грязи на дне 30-47 °С, вода имеет температуру 28-30 °С. Дебит термальной воды в грязевом котле около 1 м³/час, вода мутная, со дна котла выделяются газы. В газовом составе преобладает азот (69%), содержание углекислого газа 19%, метана 9.5%.



Рис. 160. Долина ручья Южный Чирип в нижнем течении. Фото автора, 2003 год.



Рис. 161. Водопад ручья Южный Чирип. Фото И.В. Литвинова, 2003 год.

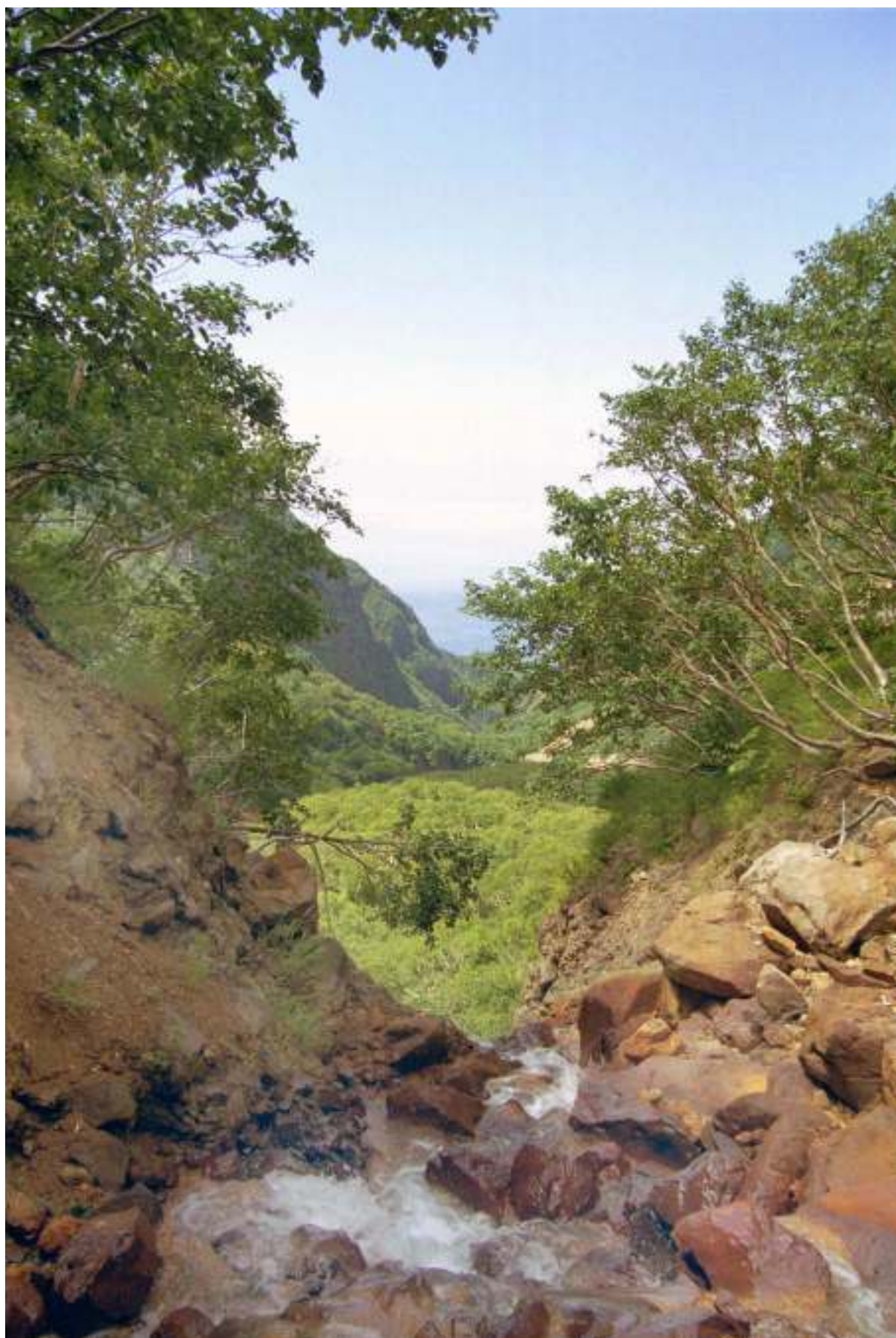


Рис. 162. Ручей Южный Чирип. Фото автора, 2003 год.



Рис. 163. Сольфатарная площадка на склоне г. Дымная. На заднем плане – г. Горячая.
Фото автора, 2003 год.



Рис. 164. Сольфатары г. Дымная. Фото автора, 2003 год.



Рис. 165. Западный склон г. Дымная. Фото автора, 2003 год.



Рис. 166. Дом около основного термального источника Рейдовского месторождения гидротерм [Иванов, 1955].



Рис. 167. Термальный источник в начале 1950-х годов [Иванов, 1955].



Рис. 168. Современное состояние основного термального источника. Фото автора, 2014 год.



Рис. 169. Со дна колодца основного термального источника поднимаются многочисленные газовые струйки. Фото Ф.А. Романюка, 2014 год.



Рис. 170. Термальный источник с глинистой водой. Фото автора, 2014 год.

Грязевой раствор характеризуется как маломинерализованный ($M - 4.07 \text{ г/дм}^3$), хлоридно-гидрокарбонатный натриево-кальциевый, кремнистый ($\text{H}_2\text{SiO}_3 - 352 \text{ мг/дм}^3$), бромный ($\text{Br} - 51 \text{ мг/дм}^3$), борный ($\text{H}_3\text{BO}_3 - 60 \text{ мг/дм}^3$), с щелочной реакцией среды ($\text{pH} - 7.4-8.2$). Грязь иногда используется местными жителями и туристами для наружного применения (рис. 171).

В 100 метрах к западу от заброшенного дома расположена скважина №3 с термальной водой (рис. 172, 173). Вода прозрачная, без вкуса, имеет температуру $80-82^\circ\text{C}$ на устье, дебит около 2 л/с . По химическому составу вода маломинерализованная ($M - 4.4 \text{ г/дм}^3$), хлоридно-сульфатная натриево-кальциевая с щелочной реакцией среды ($\text{pH} 7.8$). Гидротермы скважины используются местными жителями: под навесом установлены чугунные ванны, ведрами в них заливается горячая вода из скважины и холодная вода из ближайшего ручейка.

По изотопному составу кислорода и водорода Рейдовские термальные источники ($\delta D = -78\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O} = -10.9\text{‰}$ [Чешко, 1994]) близки к метеорным водам, что объясняется значительным участием последних в формировании термальных источников.

Среди гидротерм центральной части острова Итуруп наиболее крупные и разнообразные по физико-химическим свойствам термальные источники выходят в пределах вулканического хребта Грозный (рис. 174). Ниже дано описание современной сольфатарно-гидротермальной деятельности вулканов Баранского, Тебенькова, Мачеха, Иван Грозный, а также термальных вод пос. Горячие Ключи на периферии хребта Грозный.



Рис. 171. Аппликации лечебными грязями со дна термального источника. Фото автора, 2004 год.



Рис. 172. Рейдовские гидротермы: из скважины №3 выходят воды с температурой до 82 °С.
Фото И.М. Климанцова, 2014 год.



Рис. 173. В гидротермах из скважины №3, заливающих небольшой участок террасы ручья Минеральный, развиваются термофильные водоросли. Фото автора, 2014 год.

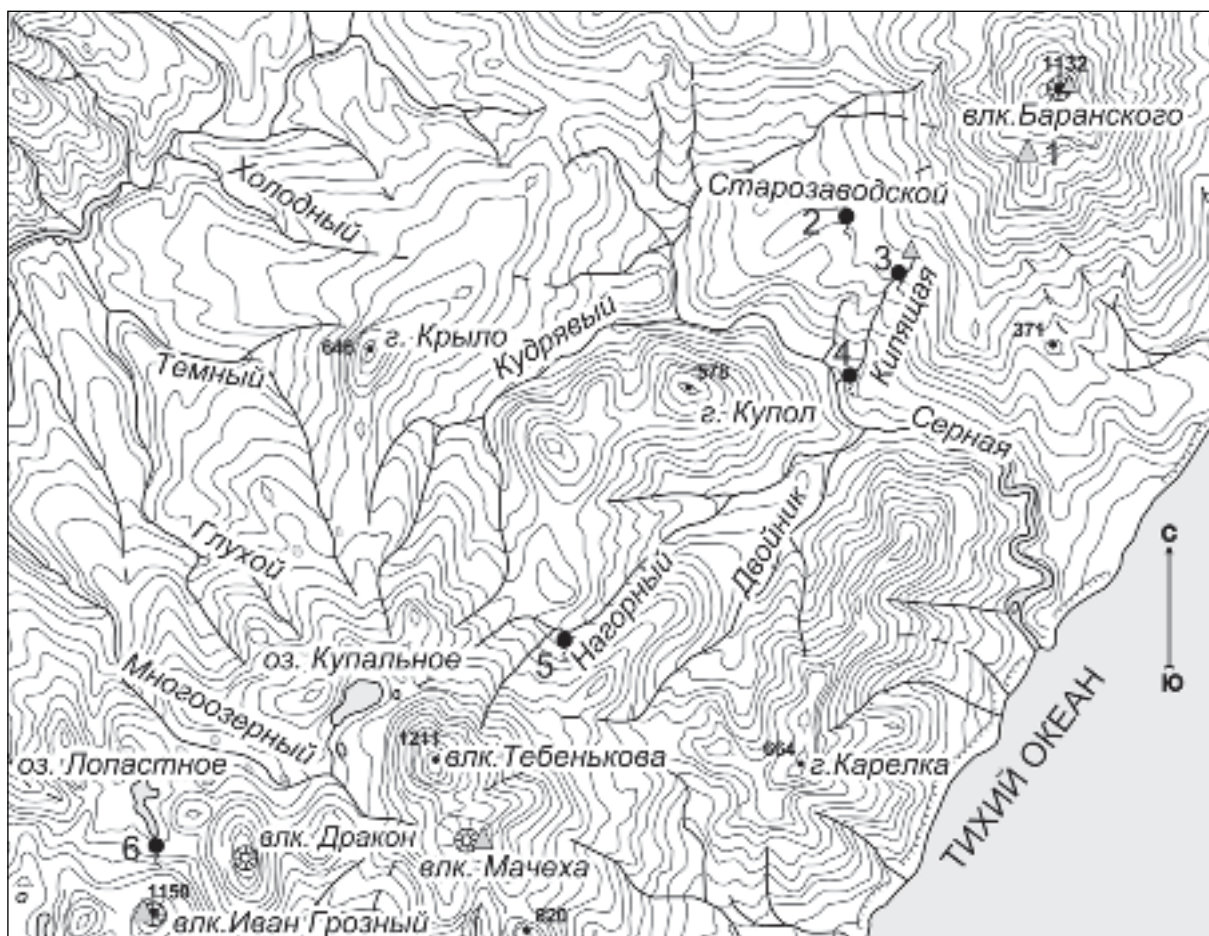


Рис. 174. Схема термальных проявлений хребта Грозный.

Цифрами показаны: 1 - Верхнее сольфатарное поле; 2 - Старозаводское сольфатарное поле; 3 - Сольфатарное поле и источники верховья р. Кипящая; 4 - источники устья р. Кипящая; 5 - Нагорные источники; 6 - источник Лопастной.

Вулкан Баранского

Гидротермы вулкана Баранского достаточно хорошо исследованы. Гидрогеология и гидротермы района изучались в 1947-1951 гг. В.В. Бочкаревым, Л.Е. Михайловым, О.Н. Толстихиным, О.К. Калишевичем, полученные ими данные обобщены в работе Е.К. Мархинина и Д.С. Стратулы [1977], в которой приведено несколько анализов кислых терм вулкана. Общее описание и некоторые анализы терм района опубликованы В.В. Ивановым [1956, 1961, 1977], Г.В. Корсунской [1958], Е.А. Басковым и С.Н. Суриковым [1975, 1989].

Наиболее полная характеристика термальных вод района дана в работах В.С. Знаменского и И.Б. Никитиной [1972, 1985], Л.Н. Барабанова [1976], С.Н. Рычагова [1993], О.В. Веселова [Геологическое..., 1997]. С начала 2000-х гг. химический состав гидротерм Старозаводского поля и р. Кипящая исследовался специалистами ИМГиГ ДВО РАН, ДВГИ ДВО РАН, ТИГ ДВО РАН, ИНГГ СО РАН, ИГМ СО РАН [Чудаев, Чудаева, 2004; Hydrochemistry..., 2005; Жарков, 2010б; Газогидротермы..., 2013].

Вулкан Баранского (рис. 175), расположенный в северо-восточной части хребта Грозный, поднимается в виде изолированного, сильно усеченного конуса высотой 1132.7 м. Вулкан возник в позднем плейстоцене и проявил смешанную деятельность – с эксплозиями и излияниями лав. Лавовые потоки вулкана спускаются на 4-5 км к юго-востоку до берега Тихого океана; на такое же расстояние они протягиваются в противоположном направлении, занимая площадь 6×9 км. Старый вершинный кратер сильно разрушен, в нем находится пологий пирокластический внутренний конус. Кратер последнего несколько сдвинут в северном направлении, его гребень в северной части полностью уничтожен, и кратер широко открыт к северо-северо-западу. Многочисленные лавовые потоки, связанные с внутренним кратером, покрывают значительный сектор в северной и восточной частях конуса. На дне кратера в виде пологого щита поднимается экструзивный купол (рис. 176). Невысокие, крутые склоны его переходят в широкую, слабовыпуклую вершину. Диаметр купола около 500 м, высота над дном кратера около 40-50 м. Северная часть купола взорвана (рис. 177, 178), здесь расположена цепочка из нескольких небольших эксплозивных воронок (рис. 179, 180), образованных (по неподтвержденным данным) в 1951 г., и большой глубокий эксплозивный колодец. От этой взорванной части купола по северо-западному склону спускается самый молодой лавовый поток: ширина его в истоках достигает 500 м, в нижней части – около 1 км, длина – до 2 км, а мощность – 50-60 м [Горшков, 1967; Жарков, 2013а].

Сольфатарные площадки на склоне экструзивного купола вулкана Баранского, по всей видимости, постепенно угасают. В некоторых местах остались лишь следы активной сольфатарной деятельности в виде отложений самородной серы. Температура сольфатар в 2004 г. была 88-94.5 °С (рис. 181), в 2012 г. выходов газов не наблюдалось. Южнее вершины вулкана, на высоте примерно 750 метров над уровнем моря, находится Верхнее сольфатарное поле (рис. 182-184). Здесь, в пределах глубокого амфитеатра, расположены крупные сольфатары (рис. 185, 186) с температурами от 102 °С до 110.4 °С и источники кислой воды с температурой 5-20 °С и pH – 4.



Рис. 175. Вулкан Баранского, вид с юго-запада. Фото автора, 2012 год.



Рис. 176. Экструзивный купол вулкана Баранского. Фото автора, 2013 год.



Рис. 177. Северная часть экструзивного купола разрушена в результате эксплозии.
Фото А.Я. Шевко, 2012 год.



Рис. 178. Эксплозивная воронка на северо-востоке экструзивного купола. На заднем плане видны парогазовые выбросы вулкана Иван Грозный. Фото А.Я. Шевко, 17 августа 2012 год.



Рис. 179. Эксплозивная воронка на северо-западе купола. Фото автора, 2013 год.



Рис. 180. Эксплозивная воронка. Северо-западный склон экструзивного купола вулкана Баранского.
Фото И.Г. Югай, 2013 год.



Рис. 181. Сольфатары в северо-восточной взрывной воронке. Фото автора, 2004 год.



Рис. 182. Верхнее сольфатарное поле на юго-западном склоне вулкана Баранского.
Фото автора, 2014 год.



Рис. 183. Верхнее сольфатарное поле. Фото И.М. Климанцова, 2013 год.



Рис. 184. Наиболее мощные сольфатары поля. На заднем плане видны парогазовые выбросы вулкана Иван Грозный. Фото А.Я. Шевко, 17 августа 2012 год.



Рис. 185. Сольфатара с температурой 110 °С. Фото автора, 2013 год.



Рис. 186. Постройка сольфатары состоит из самородной серы. Фото Ф.А. Романюка, 2013 год.

В газовом составе сольфатар преобладает углекислый газ (91-92%), содержание азота – от 1 до 4%, содержание других газов - менее 1%. Источник термальных вод связан с деятельностью самой северной сольфатары, температура которой 106 °С. Нагретые сольфатарными газами грунтовые воды выходят на поверхность и образуют небольшой котел с температурой 94 °С, pH воды составляет 3.6. Кислые сульфатные воды источников сливаются, образуя небольшой ручей с температурой около 50 °С. Ниже по течению ручей теряется в глыбовых отложениях, при приближении к Старозаводскому сольфатарному полю воды ручья становятся холодными и менее кислыми.

Старозаводское сольфатарное поле (рис. 187, 188) представляет выположенную часть юго-западного склона вулкана с выровненным дном, прорезанным ручьем Старозаводским и его притоками. Ручей берет начало с юго-западного склона вулкана Баранского и впадает в реку Серную. В верховьях вода его холодная с pH 5.4. При прохождении по Старозаводскому сольфатарному полю температура воды ручья увеличивается до 25 °С, изменяется химический состав воды.

В пределах поля можно выделить несколько групп термальных источников и грязевых котлов. Самая северная группа расположена непосредственно в прирусловой части долины руч. Старозаводской (рис. 189, 190). Температура источников 92-96 °С, pH от 2.7 до 3.3. Температура глинистого раствора в крупном грязевом котле достигает 100.1 °С. Температура сольфатарных выходов в борту ручья составляет 95-100 °С (рис. 191).

Следующая группа приурочена к ручейку, берущему начало с небольшого «потухшего» сольфатарного участка (рис. 192) и впадающему в ручей Старозаводской. Здесь множество разнообразных источников (рис. 193) с термофильными водорослями, котлов с глинистой водой, грязевых котлов (рис. 194) с температурой грязевой массы до 97 °С.



Рис. 187. Восточная часть Старозаводского сольфатарного поля, верховье ручья Старозаводской. Фото А.Я. Шевко, 2012 год.



Рис. 188. В центральной части Старозаводского сольфатарного поля размещается геотермальная электростанция «Океанская». Фото А.Я. Шевко, 2012 год.



Рис. 189. Термальные источники в приустьевой части долины ручья Старозаводской.
Фото автора, 2012 год.



Рис. 190. Горные породы в приустьевой части долины ручья Старозаводской гидротермально изменены выходами гидротерм и сольфатарных газов. Фото автора, 2012 год.

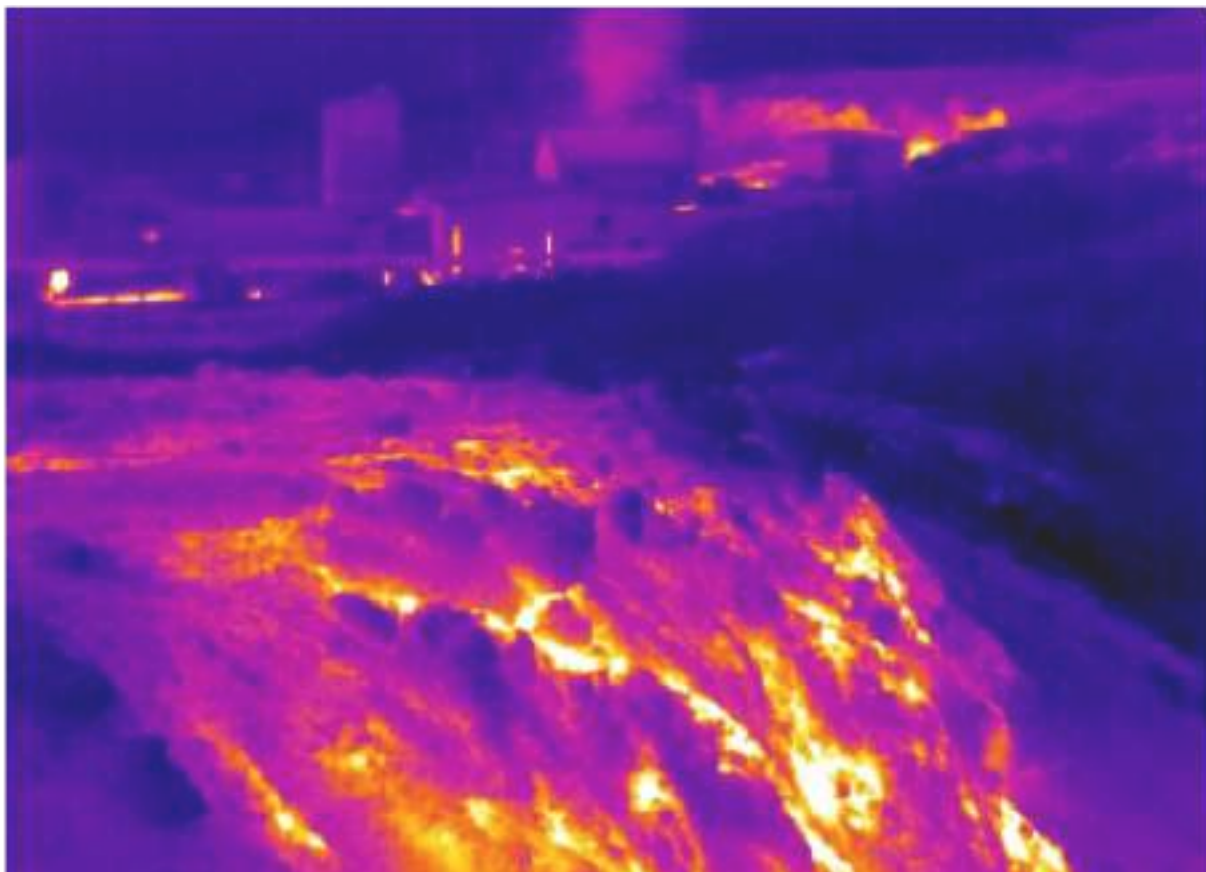


Рис. 191. Инфракрасный снимок борта ручья Старозаводской с выходами сольфатарных газов.
На заднем плане – геотермальная электростанция «Океанская».

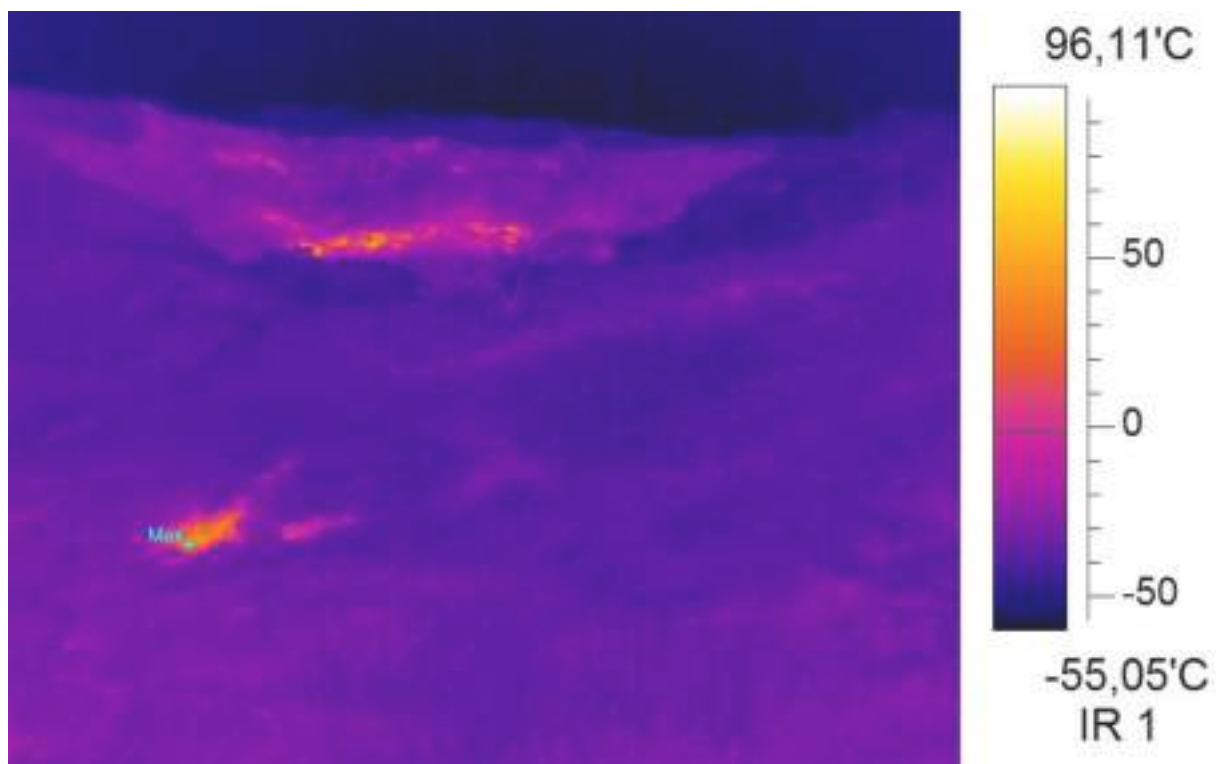


Рис. 192. Инфракрасный снимок восточной части Старозаводского поля. В нижней части снимка – термальный источник с температурой 96 °С; в верхней части – участок с «потухшими» сольфатарами.



Рис. 193. Термальные источники восточной части Старозаводского сольфатарного поля.
Фото А.К. Ежкина, 2012 год.



Рис. 194. Грязевой котел восточной части Старозаводского сольфатарного поля.
Фото автора, 2012 год.



Рис. 195. Термальные источники. Фото А.В. Кордюкова, 2014 год.

Немного южнее группа из нескольких кислых ($\text{pH} = 2.4\text{--}2.7$) термальных источников (рис. 195) образует небольшой ручеек. В составе газов, выделяющихся со дна термальных источников, преобладает углекислый газ (45%), содержание азота 42%, кислорода 10%, водорода около 1%. Термальные воды, слившиеся в единый ручеек (рис. 196), используются местными жителями для купаний: из металлической цистерны оборудована ванночка, в которую по трубе поступают гидротермы (рис. 197). Термальная вода по химическому составу слабоминерализованная ($M - 1 \text{ г/дм}^3$), сульфатная кальциево-магниевая, кремнистая, кислая ($\text{pH} - 3$). Кроме источников в этой группе есть грязевые котлы (рис. 198) с температурой глинистой массы до 99.1°C . Рядом расположена геотермальная электростанция «Океанская», отработанные парогидротермы с которой сбрасываются в ручей Старозаводской (рис. 199).

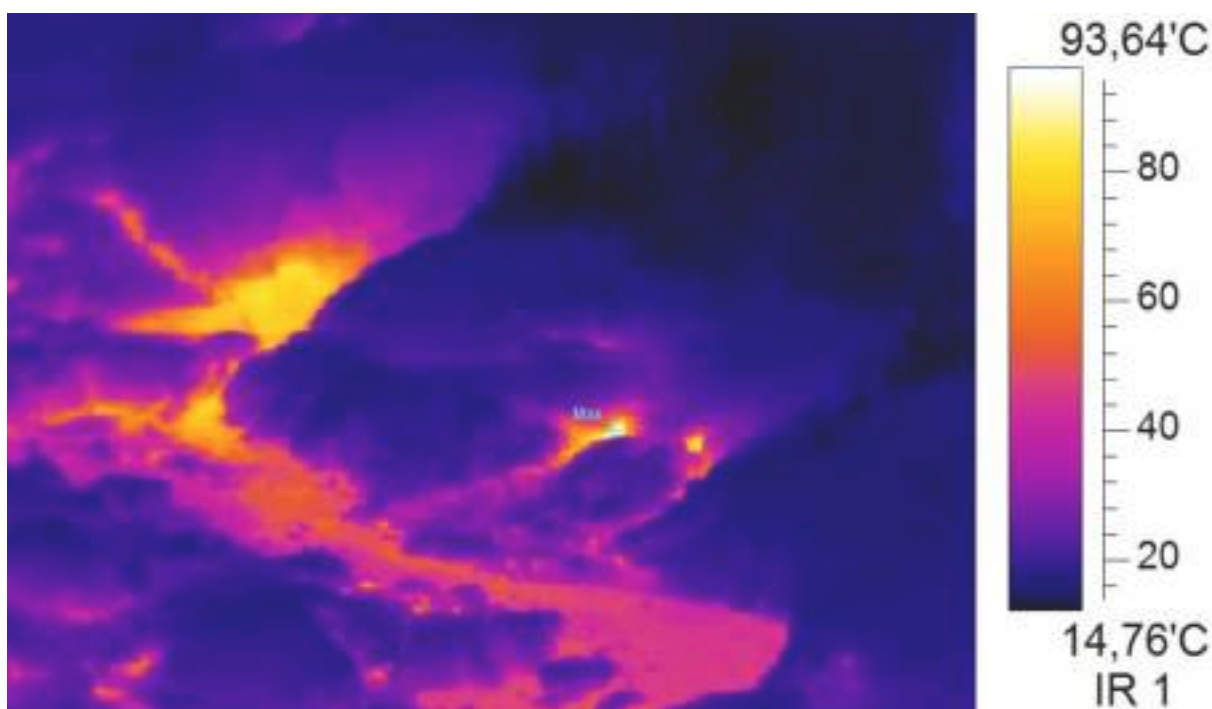


Рис. 196. Инфракрасный снимок источников и термального ручейка, впадающего в ручей Старозаводской.



Рис. 197. Источник Бочка используется для купаний. Фото автора, 2014 год.



Рис. 198. Грязевой котел. Фото автора, 2013 год.



Рис. 199. Парогидротермы ГеоТЭС «Океанская», сбрасываемые в ручей Старозаводской, изменяют его физико-химические свойства. Фото автора, 2013 год.

В нескольких десятках метров южнее от комплекса ГеоТЭС располагается довольно обширная группа источников и грязевых котлов (рис. 200-207). Термальные источники образуют здесь небольшие озерца и горячие ручейки. Температура источников 87-101.7 °С, рН от 3 до 6. Горячий источник Молочный (рис. 208) в плане имеет форму овала размером 4×6 м. Вода источника с температурой 46 °С имеет светло-серый оттенок, из источника вытекает небольшой ручеек с дебитом около 1 л/с. По химическому составу термальная вода маломинерализованная ($M = 3 \text{ г/дм}^3$), хлоридная натриевая, кремнистая, кислая (рН 3.5). Рядом расположен грязевой котел Подкова (рис. 209). В плане он имеет форму подковы длиной около 7 м и шириной около 2.5 м. Температура грязевой массы варьирует в пределах 35-98 °С. Несколько грифонов проявляют активность в виде постоянного выделения газов и выбросов грязи (рис. 210). Минерализация грязевого раствора ($M = 0.5 \text{ мг/дм}^3$) относит его к пресным грязям, состав грязевого раствора характеризуется как сульфатный кальциево-магниево-натриевый с кислой реакцией среды (рН – 3.2).

Восточнее и выше по склону располагается группа из термальных источников с температурой до 100 °С. Источник Бирюзовый (рис. 211) расположен в 70 м восточнее скважины № 64. Источник представляет собой озерцо изометричной формы размером 1.7×2.4 м. Вода имеет характерный бирюзовый оттенок, температура ее составляет 66-89.4 °С, дебит около 2 л/с. Термальный выход характеризуется активным бурлением воды и парением. В составе газов, выделяющихся со дна этого источника, преобладает углекислый газ (64%), содержание азота 28%, кислорода 6%, серосодержащие газы – менее 2%. Вода по химическому составу пресная ($M = 0.3 \text{ г/дм}^3$), сульфатная натриево-кальциевая, кремнистая, кислая (рН – 3.5).



Рис. 200. Термальные источники юго-западной части Старозаводского сольфатарного поля.
Фото А.А. Ефимовой, 2014 год.



Рис. 201. Термальные источники с глинистой водой. Фото О.В. Протасовой, 2014 год.



Рис. 202. «Палящие» термальные источники юго-западной части Старозаводского сольфатарного поля.
Фото А.Я. Шевко, 2012 год.



Рис. 203. Термальные источники. Фото автора, 2013 год.



Рис. 204. Термальные воды источников стекают в ручей Старозаводской. Фото автора, 2014 год.



Рис. 205. В местах выходов термальных вод породы гидротермально изменены до глин.
Фото автора, 2013 год.



Рис. 206. Грязевой грифон. Фото автора, 2013 год.



Рис. 207. Выделение газов из грязевого грифона. Фото автора, 2013 год.



Рис. 208. Термальный источник Молочный. Фото А.В. Дегтерева, 2013 год.



Рис. 209. Грязевой котел Подкова. Фото автора, 2014 год.



Рис. 210. Грифоны грязевого котла Подкова. Фото С.Б. Бортниковой, 2012 год.

В целом, все источники Старозаводского сольфатарного поля характеризуются сульфатным составом анионов и смешанным составом катионов, в котором чаще преобладает кальций [Знаменский, Никитина, 1985]. В пределах поля есть несколько скважин глубиной более 1 км, которые выводят на поверхность хлоридные натриевые термы. Парогидротермы на глубине имеют температуру до 320 °С (скв. №54, глубина 1200 м), в настоящее время на выходе температура их составляет 150-180 °С [Геологическое..., 1997].

Изотопный состав кислорода и водорода Старозаводских термальных источников ($\delta D = -75\text{‰}$, $\delta^{18}O = -10.8\text{‰}$ [Чешко, 1994]; $\delta D = -91\text{‰}$, $\delta^{18}O = -12.9\text{‰}$ [Басков, Суриков, 1975]) указывает на преобладание атмосферных вод в питании гидротерм района.

Река Кипящая (иногда встречается название ручей Кипящая Речка) впадает в реку Серная, ее длина – 2.4 км. Термальные источники верховья реки представляют собой сольфатарное поле небольшого размера (рис. 212), на дне которого расположены «кипящие» котлы с температурой до 105 °С и $pH=1.7-2.6$. Вода в котлах бурлит от выделяющегося газа, а по краям расположены сольфатары с обильными отложениями серы (рис. 213, 214). С сольфатарного поля вытекает кислый ручей ($pH=2.8$) с общим дебитом около 10 л/с. Вдоль ручья



Рис. 211. Термальный источник Бирюзовый. Фото О.В. Веселова, 2013 год.

располагается цепочка сольфатар, нижние из которых угасли и их постройки заметно эродированы. В долине небольшого правого притока есть несколько термальных источников с температурой до 98 °С, разгружающихся в его русле. Здесь же, на высоте 4-5 метров над руслом, есть воронка с выходом сольфатарных газов, температура их достигает 108 °С.

Ниже по течению находятся термальные источники Голубые Озера (рис. 215). Они представляют собой две глубокие воронки, наполненные опалесцирующей голубоватой водой, с яркими каймами дисперсной серы по краям (рис. 216). В верхнюю воронку впадает пресный ручеек с дебитом около 2 л/с. Вода из верхней воронки (рис. 217) перетекает небольшим ручейком в нижнюю (рис. 218), из которой термальный ручеек вытекает в р. Кипящая. Значения pH в источниках составляет около 1.2, температура термальной воды достигает 107.5 °С. Вода Голубых Озер сульфатно-хлоридная. В составе выделяющихся газов преобладает азот (51%), содержание углекислого газа 38%, кислорода 9%, содержание метана и других углеводородов 0.05%.

Термальные воды реки Кипящая ниже по течению используются местными жителями и туристами для купаний. Здесь расположен естественный водопад (рис. 219-221) и небольшими дамбами отгорожены ванночки. Территория облагорожена ЗАО «Гидрострой», построены крытые павильоны для отдыха (рис. 222, 223). Температура воды в этом месте 30-40 °С, по химическому составу вода маломинерализованная ($M - 4 \text{ г/дм}^3$), сульфатно-хлоридная кальциево-натриевая, кремнистая ($\text{H}_2\text{SiO}_3 - 326 \text{ мг/дм}^3$), ультракислая (pH 1.4). Ниже водопада расположен небольшой термальный источник Пресный (рис. 224, 225), отличающийся от окружающих вод нейтральной реакцией (pH 6.7). Выход термальных вод приурочен к небольшому чашеобразному углублению округлой формы диаметром около 1.4 м, глубина источника – 0.3 м. Температура источника достигает 49 °С, дебит – 0.1 л/с. По химическому составу вода слабоминерализованная ($M - 1 \text{ г/дм}^3$), хлоридно-сульфатная натриево-кальциевая, кремнистая. Среди растворенных в воде газов преобладают азот и углекислый газ.

В работе В.С. Знаменского и И.Б. Никитиной [1985] описывается источник Котел и сопровождающие его слабые сольфатары, расположенные в левом борту р. Кипящая, примерно в 350 м от ее устья. На сегодняшний день сохранились лишь небольшие сольфатарные выходы с температурой 96-99.5 °С. В устьевой части реки на ее правом борту выходят термы разного химического состава: субнейтральный (pH=6.5) источник с температурой 83 °С отличается от окружающих кислых источников ($T=94-97 \text{ °С}$, pH=3.3) наличием в осадке мелкокристаллического пирита, соответствующего повышенной концентрации сероводорода в воде [Знаменский, Никитина, 1985]. Для этой группы термальных источников характерно сильное парение, термальные источники представлены как небольшими выходами, так и «кипящими» котлами с глинистой водой (рис. 226-229).

Дебит реки Кипящая в устье составляет около 200 л/с, температура достигает 30-32 °С. Особенности гидрохимии реки определяет в основном вода источников Голубые Озера, имеющих суммарный дебит около 60 л/с. Все остальные источники долины реки менее существенно влияют на ее состав и дебит.



Рис. 212. Сольфатарное поле верховья реки Кипящая. Фото автора, 2012 год.



Рис. 213. Отбор проб термальных вод и газа на сольфатарном поле р. Кипящая.
Фото А.Я. Шевко, 2012 год.



Рис. 214. «Кипящий» котел на сольфатарном поле. Фото автора, 2004 год.



Рис. 215. Источники Голубые Озера в долине р. Кипящая. Фото С.Б. Бортниковой, 2012 год.



Рис. 216. Со дна верхней воронки идет интенсивное выделение газов. Фото автора, 2012 год.



Рис. 217. Верхняя воронка. Фото автора, 2014 год.



Рис. 218. Нижняя воронка. Фото автора, 2014 год.



Рис. 219. Водопад на реке Кипящая. Фото С.Б. Бортниковой, 2012 год.



Рис. 220. Река Кипящая перед водопадом. Фото автора, 2014 год.



Рис. 221. Река Кипящая. Фото автора, 2012 год.



Рис. 222. На р. Кипящая перед водопадом оборудованы каскадные ванночки.
Фото Г.А. Челнокова, 2013 год.



Рис. 223. Крытые павильоны построены ЗАО «Гидрострой» для отдыха после купаний в р. Кипящая местных жителей и гостей острова. Фото И.В. Брагина, 2013 год.



Рис. 224. Термальные воды источника Пресный стекают в р. Кипящая. Фото автора, 2014 год.



Рис. 225. Источник Пресный. Фото автора, 2014 год.



Рис. 226. «Парящий» берег приустьевой части р. Кипящая. Фото автора, 2012 год.



Рис. 227. «Парящие» источники на берегу реки. Фото автора, 2012 год.



Рис. 228. Небольшой термальный источник с кислой водой. Фото автора, 2012 год.



Рис. 229. Котел с глинистой термальной водой расположен на речной террасе в 20 метрах от русла реки Кипящая. Фото автора, 2012 год.

Вулканы Тебенькова и Мачеха

Вулкан Тебенькова (1212 м) имеет правильный, слегка усеченный центральный конус сложного строения с относительной высотой 460 м (рис. 230, 231). На вершине имеется кратер диаметром около 200 м, глубиной 50-70 м. Сомма вулкана диаметром около 3 км сильно разрушена, ее сильно сглаженный гребень сохранился лишь в северной и западной частях в виде дугообразных хребтиков высотой более 840 м над уровнем моря. Вулкан сложен измененными андезито-базальтами и их туфами четвертичного возраста. В его основании лежат неогеновые вулканогенно-осадочные породы [Горшков, 1967; Мархинин, Стратула, 1977].

В южный склон соммы врезан глубокий боковой кратер взрыва воронкообразной формы, получивший название Мачеха (рис. 232, 233). Длинный диаметр его достигает 1600 м, короткий – 700 м, глубина – до 500 м. Сольфатары и связанные с ними гидротермальные проявления приурочены к внутренним стенкам и дну кратера вулкана Мачеха (рис. 234). Температура воды в минеральных источниках в кратере Мачеха – 87 °С; состав сульфатный, минерализация – 2.3 г/л. В верхней части кратера из-под обломочного материала вытекают воды с температурой 5-6 °С и pH 3-4, образуя реку Грязная. В нижней трети стенок кратера расположены малодобитные горячие источники и многочисленные сольфатары с температурой 70-90 °С. Трещины в породах здесь выполнены игольчатыми кристаллами серы. Несколько ниже расположены мощные сольфатары с температурой 90-96 °С [Мархинин, Стратула, 1977].

В августе 2012 года, во время облета извергающегося вулкана Иван Грозный, удалось провести инфракрасную съемку вулкана Мачеха. На тепловизорных снимках хорошо видны участки с выходами термальных вод и сольфатарных газов на дне и внутренних стенках кратера (рис. 235).

На северном склоне вулкана Тебенькова, в долине ручья Нагорный, находится группа малоизвестных термальных источников. Нагорные термальные источники изучены слабо. Упоминание об этой группе источников есть в работах В.С. Знаменского и И.Б. Никитиной [1985], А.Н. Кораблева [Южные..., 1992; Вулканическое..., 2000].

В долине верхнего течения Нагорного ручья, в пределах плоского дна небольшого амфитеатра, расположено несколько горячих и холодных источников, воды которых формируют небольшой термальный ручеек, впадающий в руч. Нагорный. Здесь можно выделить [Жарков, 2010б] четыре основных термальных источника (рис. 236).

В правом борту ручейка выходят кислые (pH=2.8-4.0), сульфатные натриевые термы с температурой до 91 °С (источник 1 в таблице А.15 и в таблице А.13 Приложения А) и образуют небольшое озеро (рис. 237, 238), напоминающее Голубые Озера в долине р. Кипящая. В составе выделяющихся газов преобладает углекислый газ (88.4%), содержание азота - 3.4%, кислорода – 0.5% (таблица А.16 Приложения А). В западной и южной частях группы (рис. 239, 240) выходят кислые сульфатно-хлоридные термы со сложным катионным составом и минерализацией около 3 г/л (источник 2 в таблице А.15 Приложения А). Автором, совместно с коллегами, термальные источники обследовались в 2004 г. и 2013 г., существенных изменений в физико-химических параметрах гидротерм за этот период наблюдений не выявлено.



Рис. 230. Вулкан Тебенькова и озеро Купальное. На заднем плане – вулкан Баранского.
Фото И.Л. Корбана, 2012 год.



Рис. 231. Вулкан Тебенькова, вид с запада. Фото И.Л. Корбана, 2012 год.



Рис. 232. Внешний склон вулкана Мачеха, вид с юго-запада. Фото И.Л. Корбана, 2012 год.



Рис. 233. Кратер вулкана Мачеха, вид с юга. Над кратером возвышается вершина вулкана Тебенькова. Фото И.Л. Корбана, 2012 год.



Рис. 234. Сольфатары и гидротермальные проявления кратера вулкана Мачеха.
Фото И.Л. Корбана, 2012 г.

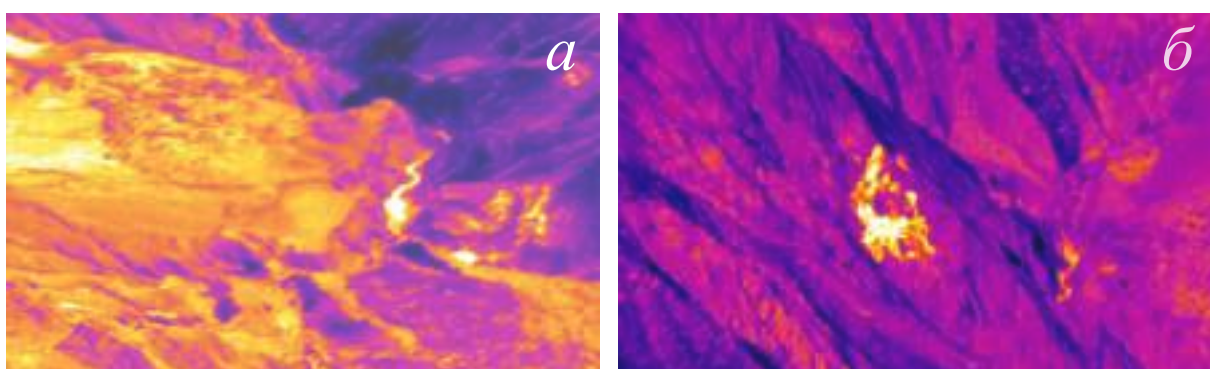


Рис. 235. Инфракрасные снимки кратера вулкана Мачеха:
а - дно кратера; б - сольфатары на стенке кратера.



Рис. 236. Нагорные термальные источники. На фотографии – источники №2, №3 и №4 (справа налево).



Рис. 237. Основной термальный источник Нагорной группы (источник №1 на схеме рис. 236).
Фото автора, 2004 год.

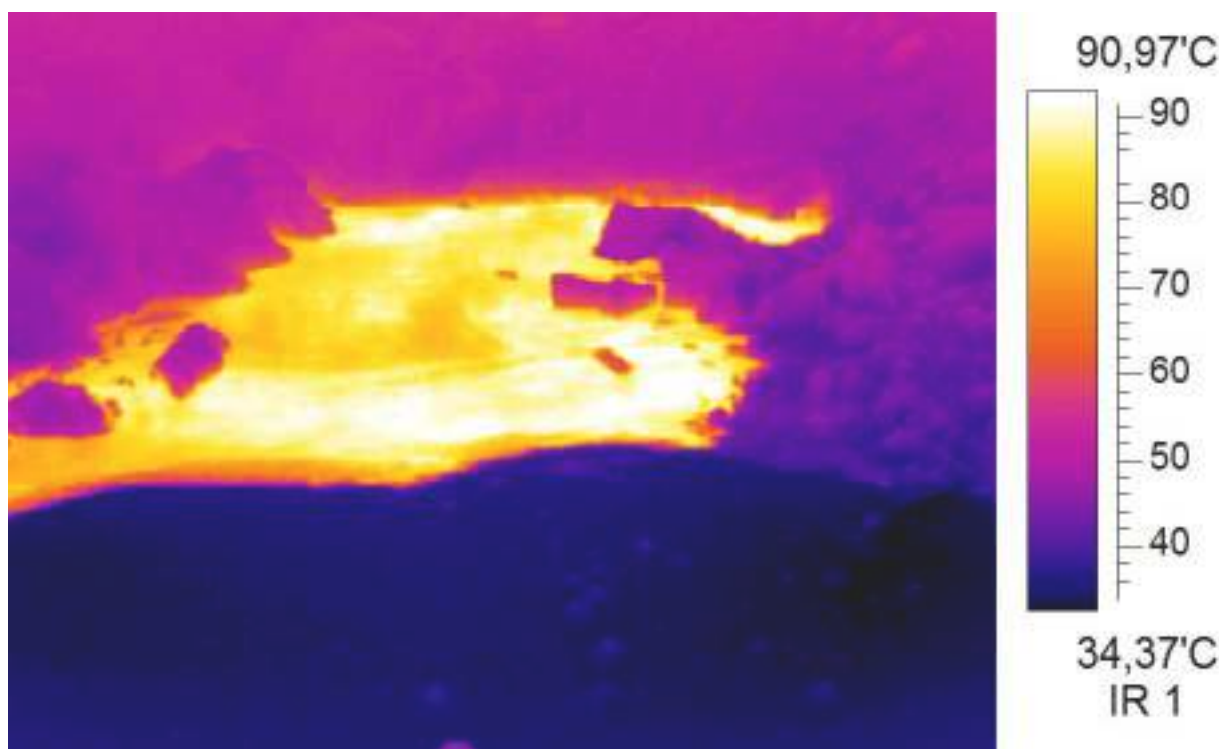


Рис. 238. Инфракрасный снимок термального источника №1.



Рис. 239. Термальный источник южной части Нагорной группы (источник №4 на схеме рис. 236).
Фото автора, 2013 год.



Рис. 240. Нагорные термальные источники. Фото автора, 2013 год.

Вулкан Иван Грозный

Вулкан Иван Грозный (1159 м) расположен в юго-западной части вулканического хребта Грозный. Он представляет собой сложный вулканический массив, древняя постройка которого значительно разрушена эрозионными процессами. Наиболее молодыми образованиями, слагающими сложный вулканический массив, являются слившиеся своими основаниями куполы Ермак, Иван Грозный, Дракон, которые осложнены многочисленными мелкими вулканическими аппаратами (рис. 241, 242). В северо-западной части этой группы вулканов сохранился участок небольшой кальдерообразной депрессии, гребень которой либо полностью разрушен, либо перекрыт более молодыми вулканическими образованиями. Диаметр кальдеры оценивается в 3-3.5 км, ее возраст – поздний плейстоцен или ранний голоцен. Кальдера широко открыта к югу, у ее южного края возвышается до 500 м над дном экструзивный купол – Иван Грозный. Этот купол состоит из трех крупных блоков, разделенных понижениями. На вершине западного, самого крупного блока, расположены две слившиеся эксплозивные воронки, образующие широтный, открытый к востоку ров. На северном склоне расположен еще один, менее высокий блок. На границе северного блока со склоном расположено гнездо мощных сольфатар. Агломератовая мантия куполов почти всюду опускается до подножия, в некоторых местах на склонах из-под агломератовой мантии выступают короткие, крутые языки лавовых потоков, указывая на то, что купол вырос в кратере более старого центрального конуса. В северной части потоки доходят до стенки кальдеры, а на юге более старые потоки спускаются вниз на несколько километров к Тихому океану. К северо-востоку от купола Иван Грозный, примерно на границе гребня кальдеры, возвышается крупный экструзивный купол Дракон. Острые лавовые зубцы окружают остатки вершинного эксплозивного кратера, из которого к югу и северу излились потоки вязкой лавы. Между куполами Иван Грозный и Дракон расположен небольшой экструзивный купол, к северу от них находится большой эффузивный купол. В северной части кальдеры ранее, по-видимому, было большое озеро, но теперь потоки центрального конуса и отростки купола сильно сократили размеры этого озера и придали его берегам причудливо извилистые очертания (озеро Лопастное). Последний член этой группы – эффузивный купол Ермак – примыкает с запада к куполу Иван Грозный. Этот купол также удлинен с севера на юг, на его вершине имеются следы эксплозивного кратера [Горшков, 1967; Жарков, 2013a].

Первые сведения об активности вулкана могут быть отнесены к середине XIX века. Судя по японской карте Сахалино-Курильского региона, изданной в 1854 году, в районе нынешнего хребта Грозный нарисован конус вулкана, на вершине которого расположены мощные сольфатары, а у западного подножия указан термальный источник (рис. 243). По мнению вулканолога Р. Фурукава из Института геологии и геоинформатики (г. Цукуба, Япония), на этой карте может быть запечатлено длительное извержение вулкана Иван Грозный, в результате которого сформировался экструзивный купол.



Рис. 241. Купол вулкана Иван Грозный (в центре), купол Ермак (справа), купол Дракон (слева).
Фото В.Б. Гурьянова, 2012 год.



Рис. 242. Купол Ермак. Фото И.Л. Корбана, 2012 год.



Рис. 243. Рисунок острова Итуруп, 1854 год. В центральной части острова, с тихоокеанской стороны, нарисован вулкан Грозный с мощными парогозовыми выходами на вершине. У подножия вулкана условным знаком (заполненный розовым цветом квадрат) показан термальный источник.
<http://record.museum.kyushu-u.ac.jp>

Современная активность вулкана связана с многоактным центральным куполом Иван Грозный. На северо-северо-восточной стороне его вершинной части расположен своеобразный кратер, имеющий форму радиальной щели длиной 250-270 м и шириной от 15 до 70 м. В 1951 г. Г.С. Горшковым [1967] было отмечено усиление активности вулкана Иван Грозный (рис. 244), но затем он расценил эту активность как извержение соседнего вулкана Баранского [Абдурахманов, Федорченко, 1976а]. Авторы работы [Извержение..., 1990] придерживаются мнения, что его первое предположение было верным, и произошла активизация именно на вулкане Иван Грозный.

В 1964-1965 гг. Л.П. Зелепухин наблюдал парение у северо-восточного подножия купола. Температура паров на выходе не превышала 60 °С. В июле-августе 1967 г. он же из пос. Буревестник наблюдал струи белого пара над вершинным кратером.



Рис. 244. Вулкан Иван Грозный [Горшков, 1967].

Зимой 1967-1968 гг. эти струи отчетливо наблюдались постоянно. В феврале 1968 г. местные жители отметили на снегу слой пепла мощностью 1-3 мм, который был принесен со стороны вулкана Иван Грозный. Л.П. Зелепухин в июне-июле 1968 г. осмотрел кратер и прикратерные участки вулкана, отметил ряд изменений по сравнению с 1964-1965 гг. На северо-восточном склоне прекратилось парение, но наблюдалось повышение температур грунта по сравнению с окружающими участками на 15-17 °С. Мощные выходы газов появились в вершинном кратере в трех местах. Температура их достигала 122 °С. В 20 м от южного обрыва щелевидного кратера действовала мощная одиночная сольфатара с температурой газов 175 °С и диаметром устья 1 м. В 50 м ниже по склону образовались три воронки взрыва диаметром от 8 до 30 м и видимой глубиной 8-10 м. В них действовало несколько мощных сольфатар. В 1970 г. местные жители наблюдали слабый пепловый выброс близ вершины вулкана. С января 1971 г. до середины мая 1973 г. А.А. Шестопап часто наблюдал белые газовые струи с северо-северо-восточной стороны вершины купола. При посещении им вулкана в июне 1972 г. самые крупные парогазовые выходы были обнаружены вдоль трещины, в 50-100 м ниже вершины вулкана. 16 мая 1973 г. жители пос. Горячие Ключи, расположенного в 8 км от вулкана, ощутили сейсмические толчки силой 3-4 балла, продолжительностью до 2 минут. В 6 час. 40 мин. по местному времени А.А. Шестопап заметил над вулканом черный пеплово-газовый столб высотой около 600 м. Через 40 минут пеплово-газовое облако рассеялось. 17 мая на северном склоне вулкана выпал резургентный пепел следующего состава (%): SiO_2 – 59.23; TiO_2 – 0.79; Al_2O_3 – 14.25; Fe_2O_3 – 3.67; FeO – 4.33; MnO – 0.10; MgO – 3.71; CaO – 5.33; Na_2O – 2.70; K_2O – 0.91; P_2O_5 – нет; H_2O – 0.23 [Извержение..., 1990].

Затем был долгий период относительного затишья активности вулкана. По данным В.С. Знаменского и И.Б. Никитиной [1985] температура вершинной сольфатары в это время была значительно выше 100 °С. Температура сопутствующих сольфатар достигала 100 °С. В составе газов вершинной сольфатары преобладали H_2S (63%) и углекислый газ (28%).

При облете вулкана в сентябре 1988 г. была отмечена его повышенная сольфатарная активность [Извержение..., 1990].

Извержение вулкана Иван Грозный в 1989 году

Следующее извержение, детально описанное в работе [Извержение..., 1990], началось 3 мая 1989 года почти непрерывными выбросами клубов белого пара,

из которых, со временем, образовался пеплово-газовый столб высотой до 2 км (рис. 245). По описанию главного гидрогеолога Барановской партии объединения «Сахалингеология» В.И. Пчелкина, уже при первом извержении на склоне вулкана возникла новая трещина, затем дважды взрывы происходили из вершинной трещины. В последующем эксплозии разной интенсивности наблюдались вплоть до конца августа. Неоднократные облеты вулкана на вертолете и исследования, проведенные непосредственно на куполе Иван Грозный, показали следующее. В верхней части кратерной трещины образовалась слабо парящая воронка взрыва диаметром около 30 м. Более мощные сольфатары расположились ниже, вдоль кратерной трещины, а также в оперяющих ее трещинах отрыва. Замеренная температура газов в устье одной из фумарол составляла 149 °С. Газы имели резкий серный запах, индикаторная бумага показывала $pH < 1$. На продолжении кратерной трещины, вниз по склону, были выходы пароводяных струй с температурой до 100 °С. Образовавшаяся в начале мая 1989 г. новая трещина расположена на северном склоне купола, в 100 м ниже вершины. Ее длина 60-70 м, ширина от 1 до 3 м, видимая глубина – до 40 м и более. Именно на дне этой вновь образовавшейся трещины в то время была сосредоточена наиболее активная сольфатарная деятельность (рис. 246, 247). Отобрать пробы газа и измерить их температуру не удалось. Судя по минеральным возгонам, среди которых помимо серы отмечены хлориды железа, из новой трещины выбивались более высокотемпературные газы. Около трещины сохранился резургентный пепловый материал, мощность которого местами достигала 20 см. Химический состав пепла (в %): SiO_2 – 59.88; TiO_2 – 0.82; Al_2O_3 – 15.28; Fe_2O_3 – 2.62; FeO – 6.91; MnO – 0.13; MgO – 3.82; CaO – 7.88; Na_2O – 1.35; K_2O – 0.48; P_2O_5 – 0.08; H_2O – 0.74. По составу пепел извержения в мае 1989 года аналогичен пеплам извержения 17 мая 1973 года [Извержение..., 1990].

Извержение 1989 г. сопровождалось фоном подземных толчков, очаги которых образовали две различные по глубине группы: с глубинами около 30 км и с глубинами около 60-80 км. Асейсмичный слой в пределах от 30 до 55-60 км может соответствовать магматическому очагу, питающему вулкан. По данным Р.З. Тараканова (ИМГиГ ДВО РАН), очаги произошедших землетрясений могут фиксировать глубинный разлом, поперечный сейсмофокальной зоне и осложняющий ее. Тектонические подвижки, предположительно, связанные с этим разломом, могли привести к активизации вулкана Иван Грозный [Извержение..., 1990].

С 1989 г. до 2012 г. основная сольфатарная деятельность на вулкане Иван Грозный была сосредоточена в четырех местах. Самый мощный очаг выходов сольфатарных газов (№ 1 на рисунке 248) расположен в трещине извержения 1989 года на высоте ~ 1120 м, второй – на восточном борту глубокой эксплозивной воронки (№ 2 на рисунке 248). Третья сольфатарная разгрузка приурочена к небольшой трещине, расположенной на границе северного блока со склоном купола – т.н. северная трещина (№ 3 на рисунке 248). Четвертый выход находится северо-восточнее трещины извержения 1989 года (№ 4 на рисунке 248). С 1990 по 1998 годы ежегодно сотрудниками лаборатории вулканологии и вулканопасности ИМГиГ ДВО РАН проводились режимные наблюдения на вулкане Иван Грозный [Вулканическое..., 2000].



Рис. 245. Извержение вулкана Иван Грозный в мае 1989 года. Фото Л. Платунова.



Рис. 246. Вершина купола вулкана Иван Грозный (а, б). Фото А.Р. Самолюка.



Рис. 247. Трещина извержения 1989 года. Вид на купол вулкана Иван Грозный с севера.
Фото А.Н. Кораблева.

Выполнялись замеры температуры наиболее мощных сольфатар и отбирались пробы газов. Анализ имеющегося материала позволял говорить о снижении активности вулкана Иван Грозный в период 1990-1992 годов. К 1992 году прекратилась сольфатарная деятельность из воронок взрывов параллельных северной трещине, температура наиболее мощных сольфатар (№1 на рисунке 248) понизилась с 220 °С до 157 °С, а в сольфатарном газе уменьшилось содержание водорода и углекислого газа при резком увеличении хлороводорода.

С 1992 года стало наблюдаться усиление вулканической активности. Температура первой сольфатары до 1995 года возрастала на десять градусов ежегодно и в 1995 году составляла уже 188 °С. Затем рост температуры несколько снизился, составляя в 1997 году 195 °С. В 1998 году температура газа достигла 197 °С. О росте вулканической активности в тот период свидетельствовали и повышенные концентрации водорода и сернистого газа в сольфатарах. Интересно вел себя и вторая сольфатара у трещинного кратера – температура ее с 1990 года была постоянной – 100 °С, а в 1997 году ее температура резко повысилась до 111 °С. В 1998 году ее температура опять вернулась к норме. О возросшей активности говорит и появление многочисленных мелких сольфатар на внешнем склоне северо-восточного купола. Парящие участки появились даже у самой подошвы купола вулкана. После извержения 1989 года на южном берегу озера Лопастное у северного подножия купола появился термальный источник. С 1990 по 1994 годы его температура составляла 28 °С. В 1995 году температура выросла на градус, в 1996 году еще на два, а в 1997 году увеличилась сразу на четыре градуса и достигла 35 °С [Вулканическое..., 2000].

В сентябре 2004 года автором, совместно с Д.А. Андрияновым, были обследованы сольфатары вулкана Иван Грозный (рис. 249, 250) и термальный источник Лопастной. Температура газов, выходящих из трещины 1989 года на вершине купола вулкана и образующих мощный парогазовый столб (рис. 251, 252, 253), составляла всего 95.5 °С (восточная часть трещины). Температура второй сольфатары, расположенной на бровке глубокой эксплозивной воронки (рис. 254), составляла 91.5 °С. Сольфатарные выходы у северной трещины были довольно мощные, но обследовать их не удалось. В районе четвертого участка наблюдались выходы сольфатарных газов, но спуститься к ним не представилось возможным. На северо-западном склоне купола отмечен ряд выходов пара с температурой до 36 °С. Примерно на середине северного склона купола, в бортах эродированной трещины, протягивающейся практически до Лопастного озера, выходили газы с температурой до 88 °С (рис. 255). Северо-восточный склон купола в некоторых местах «парит» (рис. 256). В районе источника Лопастной было несколько выходов пара с температурой до 40 °С. Кислые (pH=2.6), сульфатно-хлоридные натриевые термальные воды Лопастного источника с температурой 41.5 °С (таблица А.15 Приложения А) образуют небольшой ручеек (рис. 257), впадающий в озеро [Жарков, 2010б].

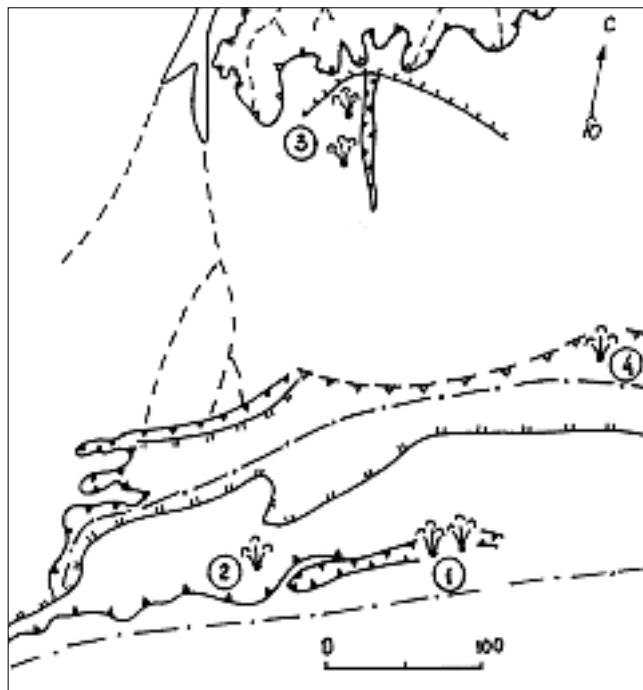


Рис. 248. Схема сольфатар привершинной части экструзивного купола вулкана Иван Грозный [Вулканическое..., 2000].



Рис. 249. Вулкан Иван Грозный. Вид с севера. Фото автора, 2004 год.



Рис. 250. Трещина извержения 1989 года. Фото Д.А. Андриянова, 2004 год.



Рис. 251. Купол Дракон (на переднем плане) и купол вулкана Иван Грозный. Вид с озера Купальное. Фото автора, 2004 год.



Рис. 252. Сольфатары трещины извержения 1989 года. Фото автора, 2004 год.



Рис. 253. Вершина вулкана Иван Грозный: сольфатары трещины извержения 1989 года.
Фото автора, 2004 год.



Рис. 254. Измерение температуры сольфатарных газов на бровке взрывной воронки.
Фото Д.А. Андриянова, 2004 год.



Рис. 255. Выходы газов в бортах эродированной трещины купола вулкана Иван Грозный.
Фото автора, 2004 год.



Рис. 256. Парогазовые выходы на северном склоне купола.
Фото автора, 2004 год.



Рис. 257. Лопастной термальный источник. Фото автора, 2004 год.

Извержение вулкана Иван Грозный в 2012-2013 годах

Очередная активность вулкана Иван Грозный началась в середине августа 2012 г. Извержение предварялось сейсмической подготовкой, с января по август 2012 г. сейсмостанцией в г. Курильск Сахалинского филиала Геофизической службы РАН зафиксированы десятки сейсмических событий непосредственно под вулканическим хребтом Грозный и южнее, в акватории Тихого океана. При этом наблюдалось постепенное усиление сейсмичности, особенно в июле и начале августа, когда в районе влк. Иван Грозный происходили землетрясения с $M = 3.3-4.3$. Наиболее сильное землетрясение с эпицентром на южном склоне вулкана зафиксировано 6 августа в 17:52 (здесь и далее – по местному времени), его магнитуда составила 4.3 [Жарков, Козлов, 2013].

В начале августа на о. Итуруп была организована экспедиция с целью изучения геохимических особенностей современных гидротерм вулкана Баранского. В экспедиции принимали участие сотрудники ИМГиГ ДВО РАН (Жарков Р.В., Ежкин А.К.), ИНГГ СО РАН и ИГМ СО РАН (Бортникова С.Б., Гаськова О.Л., Ельцов И.Н., Кунгурцев Л.В., Панин Г.Л., Шевко Е.П., Гора М.П., Шевко А.Я.). Базовый лагерь отряда располагался на Старозаводском сольфатарном поле влк. Баранского, в районе геотермальной электростанции «Океанская». Из лагеря был хорошо виден влк. Тебенькова, кромка кратера влк. Мачеха, купол Дракон и вершинная часть купола влк. Иван Грозный, расстояние до которого составляет 12.5 км. Визуальные наблюдения за ходом эксплозивной активности проводились с влк. Баранского вплоть до 19 августа, затем за извержением наблюдали из г. Курильск (24 км севернее вулкана), п. Горячие Ключи (9 км к западу от вулкана). 7 августа видимость была хорошая, на куполе влк. Иван Грозный наблюдалась характерная для него сольфатарная активность: из вершинной трещины 1989 г. поднимался парогазовый столб, на северном склоне, на высоте примерно 1030 м, виднелись небольшие парогазовые выходы, основная часть которых была закрыта г. Купол (рис. 258).



Рис. 258. Вершинная часть купола вулкана Иван Грозный, 7 августа 2012 г. Фото С.Б. Бортниковой.

15 августа, при хорошей видимости купола влк. Иван Грозный, отчетливо были видны не только сольфатары привершинной части, но и мощные парогазовые столбы серого цвета на северном склоне на высотах около 1030 м (т.н. северная трещина) и 970 м (рис. 259). В ночь с 15 на 16 августа произошла эксплозия, при этом, по сообщениям местных жителей, в г. Курильск выпал пепел мощностью 1-2 мм и чувствовался резкий запах газов, однако, на влк. Баранского пеплопада не зафиксировано. В течение последующих двух недель в светлое время суток визуально зафиксировано несколько пеплово-газовых выбросов на фоне высокой сольфатарной деятельности (рис. 260).

Основные выбросы происходили из северной трещины (№ 3 на рисунке 248) на высоте ~1030 м. 16 августа весь день вулкан не было видно из-за плотной низкой облачности (рис. 261), в районе ГеоТЭС выпадение пепла не наблюдалось, запах газов не ощущался. На следующий день при ясной безоблачной погоде небольшой группой (Жарков Р.В., Шевко А.Я., Кунгурцев Л.В.) совершили подъем на вершину вулкана Баранского, откуда отчетливо видна северная часть экструзивного купола влк. Иван Грозный (рис. 262). Основная парогазовая активность сосредоточена в северной трещине: белый парогазовый столб поднимался на 300-400 м, временами наблюдались мощные парогазовые выбросы, слабый пепловый шлейф протянулся в сторону Тихого океана, южнее влк. Тебенькова. Ниже по склону, на высоте ~970 м, парогазовый столб был менее мощный. Вершина купола Иван Грозный покрыта свежим светло-серым пеплом.

Очередная эксплозия зафиксирована 18 августа в 15:23, эруптивная колонна поднялась на высоту более 700 м. Пепловый шлейф стал распространяться на северо-восток в сторону влк. Баранского (рис. 263, 264), спустя 45 минут в районе ГеоТЭС начался слабый пеплопад, который продолжался около часа. Средняя масса пепла по оси пеплопада составила 5.5 г/м², по химическому составу этот пепел схож с пеплами извержений 1973 г. и 1989 г. Свежевыпавшая тефра соответствует андезитам (SiO₂ 57.20 %) умереннокалиевой серии (K₂O 1.03 %). В гранулометрическом составе пеплов преобладают частицы пылеватой фракции размером <0.05 мм (38%), крупнозернистые частицы диаметром более 0.25 мм составляют всего 0.4%.

Используя пакет программ PUFF и HYSPLIT Volcanic Ash Model – для моделирования переноса пепла с учетом метеорологических условий района, было рассчитано, что при этом извержении пепловый шлейф мог распространяться на северо-восток вдоль островов Курильской гряды (рис. 265). Высота пеплового облака была не большой и угрозы для трансконтинентальных авиарейсов не было. Опасность могла быть только для самолетов, осуществляющих рейсы из г. Южно-Сахалинск: при взлете и посадке в аэропорту «Буревестник» (23 км от влк. Иван Грозный) самолеты находились в зоне повышенной вулканической опасности в случае вхождения в пепловый шлейф.

Последующие эксплозии высотой 300-1200 м отмечены 19, 21, 24 и 25 августа. 19 августа в 15:50 произошло извержение, высота пепловой колонны за несколько минут достигла более 1 км (рис. 266). Пепловый столб постепенно сносило на север, с периферийной части колонны наблюдалось выпадение пирокластики.

20 августа была сплошная низкая облачность, и вулкан не был виден. На следующее утро в 10:35 произошел мощный пепловый выброс, пепловая колонна растянулась субгоризонтально в северо-восточном направлении на 6-7 км (рис. 267).



Рис. 259. Парогазовые выбросы с примесью пепла, 15 августа 2012 года. Фото И.Л. Корбана.

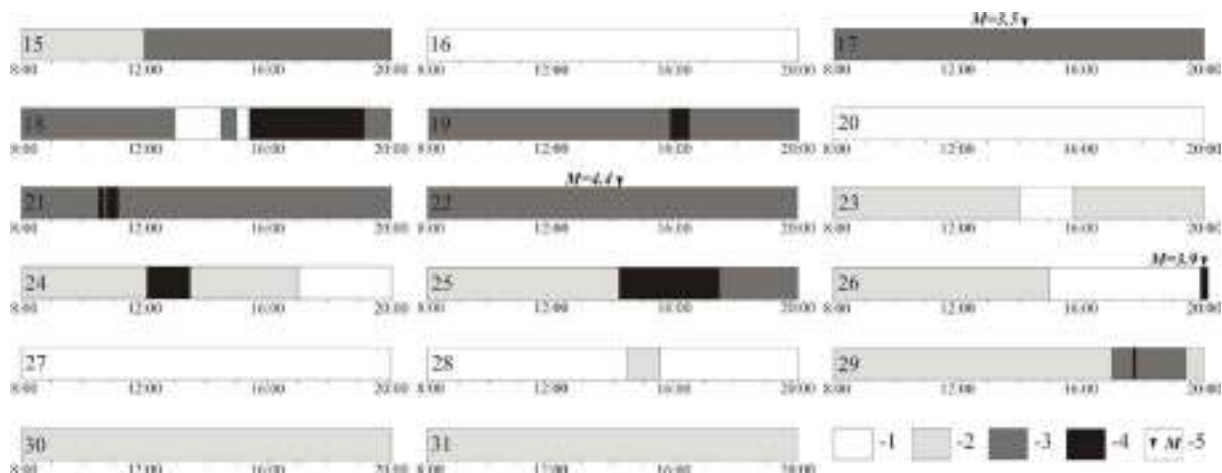


Рис. 260. Диаграммы визуальных наблюдений за активностью вулкана Иван Грозный с 15 по 31 августа 2012 года [Жарков, Козлов, 2013].

Условные обозначения: 1 – видимость вулкана отсутствует из пункта наблюдения (облачность, туман); 2 – наблюдается фумарольная деятельность; 3 – наблюдается высокая фумарольная деятельность; 4 – наблюдается пеплово-газовый выброс; 5 – сейсмические события в районе вулкана и их магнитуда, зафиксированные сейсмостанцией «Курильск» СФ ГФС РАН



Рис. 261. ГеоТЭС «Океанская», 16 августа 2012 года. Купол вулкана Иван Грозный скрыт плотной облачностью. Фото автора.



Рис. 262. Вершина купола вулкана Иван Грозный, 17 августа 2012 года. Фото А.Я. Шевко.



Рис. 263. Эксплозия 18 августа 2012 года. Пепловый шлейф распространяется в сторону вулкана Баранского. Фото С.Б. Бортниковой.



Рис. 264. Вулкан Иван Грозный, 18 августа 2012 г., время съемки – 18:20. Фото автора.

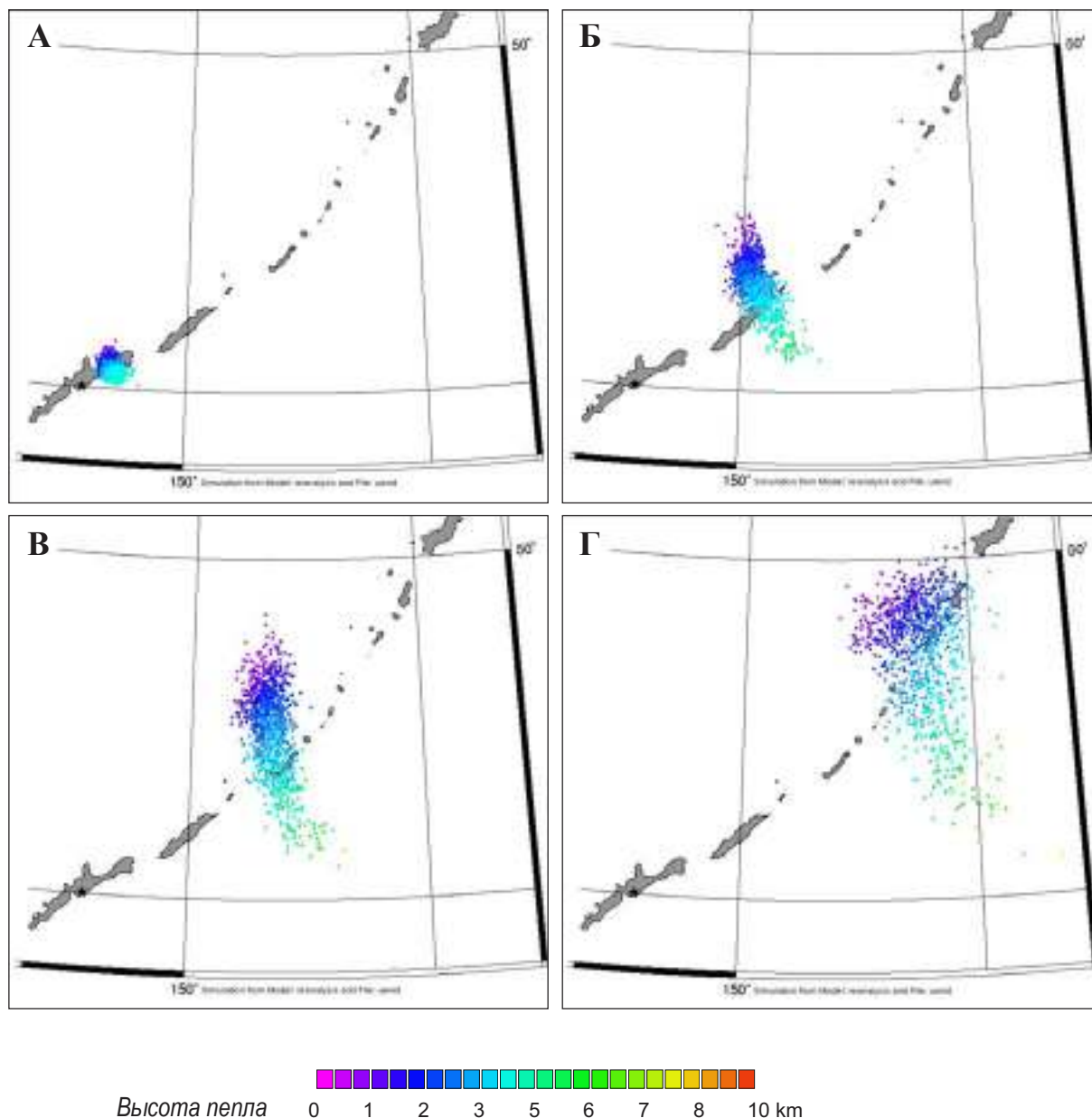


Рис. 265. Моделирование в программе PUFF переноса пепла при эксплозии 18 августа 2012 года: А - 2 часа после начала эксплозии; Б - 10 часов после начала эксплозии; В - 16 часов после начала эксплозии; Г - 23 часа после начала эксплозии. Цветом показана высота пеплового шлейфа.

Примечание: Программу PUFF - Volcanic Ash Tracking and Dispersion model разработал Peter Webley из Университета Аляски (г. Фэйрбенкс, США).



Рис. 266. Эксплозия вулкана Иван Грозный, 19 августа 2012 г., время съемки – 16:01. Фото автора.



Рис. 267. Эксплозия 21 августа, время съемки – 10:44. Фото И.Л. Корбана.

Затем, в 10:45, произошел очередной взрыв, пепловая колонна за несколько минут поднялась на высоту более 400 м и также стала сноситься в сторону вулкана Баранского (рис. 268, 269). Эти эксплозии, как и в предыдущие дни, происходили из северной трещины.



Рис. 268. Эксплозия 21 августа, время съемки – 10:45. Фото И.Л. Корбана.



Рис. 269. Эксплозия 21 августа, время съемки – 10:46. Фото И.Л. Корбана.

22 августа весь день была отличная видимость, на вулкане отмечалась повышенная парогазовая деятельность, парогазовый столб с примесью пепла в условиях антициклона поднимался на высоту 600-700 м и медленно сносился на северо-восток (рис. 270). Его светлый шлейф протягивался на десятки километров и отчетливо виден на космических снимках (рис. 271).

23 августа сильных парогазовых выбросов не наблюдалось. На следующий день над куполом влк. Иван Грозный был виден светлый парогазовый столб высотой 100-200 м. В 12:05 начался очередной пепловый выброс, парогазовый столб с примесью пепла поднялся на 200-300 м и вытянулся в направлении вулкана Тебенькова (рис. 272). В этот день группа туристов под руководством Алексея Ивановича Фифилова поднималась на вулкан Баранского, откуда наблюдала за извержением (рис. 273). По наблюдениям туристов, во время пеплового выброса периодически был слышен грохот. В 12:45 интенсивность пеплово-газовых выбросов заметно уменьшилась, продолжался грохот со стороны влк. Иван Грозный, сейсмических толчков не ощущалось, запаха газов не чувствовалось т.к. ветер дул в другую сторону.



Рис. 270. Парогазовый столб, 22 августа 2012 г., время съемки – 11:31. Фото И.Л. Корбана.



Рис. 271. Парогазовый шлейф влк. Иван Грозный, 22 августа 2012 года. Космический снимок с <https://browse.digitalglobe.com>



Рис. 272. Пепловый выброс 24 августа 2012 г., съемка в 12:15 из г. Курильск. Фото автора.



Рис. 273. Пепловый выброс 24 августа 2012 г., вид с вулкана Баранского, время съемки – 12:08.
Фото с <http://forum.iturup.info/viewtopic.php?f=3&t=15729>

25 августа в 14:17 произошел довольно мощный пепловый выброс, пепловая колонна с отметки 1030 м поднялась на 300 м и стала сноситься в сторону влк. Тебенькова (рис. 274). Постоянные пепловые выбросы продолжались более 3 часов (рис. 275), после чего на вулкане наблюдалась высокая парогазовая активность.



Рис. 274. Эксплозия 25 августа 2012 г., время съемки – 14:22. Фото автора.



Рис. 275. Эксплозия 25 августа 2012 г., время съемки – 16:53. Фото автора.

26 августа в 20:04 из г. Курильск наблюдалась мощная эруптивная колонна, которая за несколько минут поднялась на высоту более 2 км (рис. 276). По данным сейсмостанции «Курильск» СФ ГФС РАН, этой эксплозии предшествовало землетрясение М 3.9 с эпицентром в 4 км северо-западнее вулкана Иван Грозный. Землетрясение произошло в 20:00 и ощущалось в г. Курильск силой 2-3 балла.



Рис. 276. Извержение 26 августа, время съемки – 20:10. Вид из пос. Китовый. Фото А.К. Ежкина.

28 августа на о. Итуруп прибыли сотрудники ИМГиГ ДВО РАН Д.Н. Козлов и В.Б. Гурьянов с тепловизорным оборудованием для выполнения работ по дистанционному исследованию последствий извержения вулкана. В 14:05 вулканологи ИМГиГ ДВО РАН и представители МЧС, ГО и ЧС МО «Курильский ГО» на вертолете Ми-8 вылетели из г. Курильск к вулкану Иван Грозный. В ходе полета удалось несколько раз облететь вулкан, проводя при этом инфракрасную съемку тепловизором SAT SDS Hotfind-LXS, фото- и видеосъемку вулкана и прилегающей территории. Визуально купол вулкана после извержений не изменился (рис. 277), отложения пепла отмечены на вершинной части купола, ниже по склону наблюдается типичная травянистая растительность (рис. 278). На южном склоне вулкана была заметна полоса пожелтевшего кедрового стланика и травянистой растительности (рис. 279, 280), поврежденной, видимо, выпавшей высокотемпературной пирокластикой. Такая же полоса отмечена на западном склоне купола Дракон, который обращен к куполу влк. Иван Грозный. На панорамных инфракрасных снимках сильного разогрева поверхности купола не наблюдается (рис. 281-284). Основной очаг парогазовой деятельности во время облета был сосредоточен на высоте ~ 1030 м (рис. 285), размеры эруптивного жерла составили примерно 10×20 м. По данным тепловизорной съемки (рис. 286) температура парогазового столба в области всплывающего составляла 150-200 °С.



Рис. 277. Купол вулкана Иван Грозный.
Фото А.Р. Самолюка, 1989 год (слева), фото В.Б. Гурьянова, 2012 год (справа).



Рис. 278. Северный склон купола вулкана Иван Грозный. Фото В.Б. Гурьянова, 2012 год.



Рис. 279. Южный склон купола вулкана Иван Грозный. Фото И.Л. Корбана, 2012 год.



Рис. 280. Участки с пожелтевшим кедровым стлаником. Фото И.Л. Корбана, 2012 год.



Рис. 281. Северо-западный склон купола вулкана Иван Грозный. Фото В.Б. Гурьянова, 2012 год.

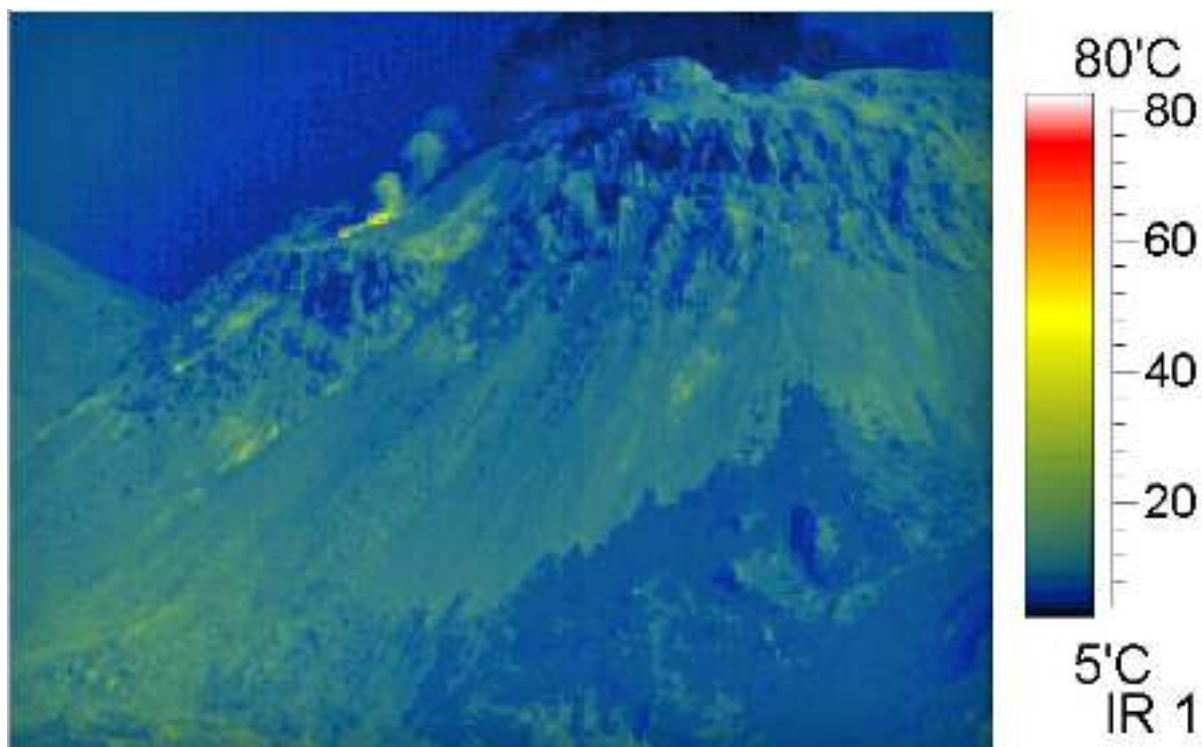


Рис. 282. Инфракрасный снимок северо-западного склона купола вулкана Иван Грозный.



Рис. 283. Вершина купола вулкана Иван Грозный. Фото И.Л. Корбана, 2012 год.

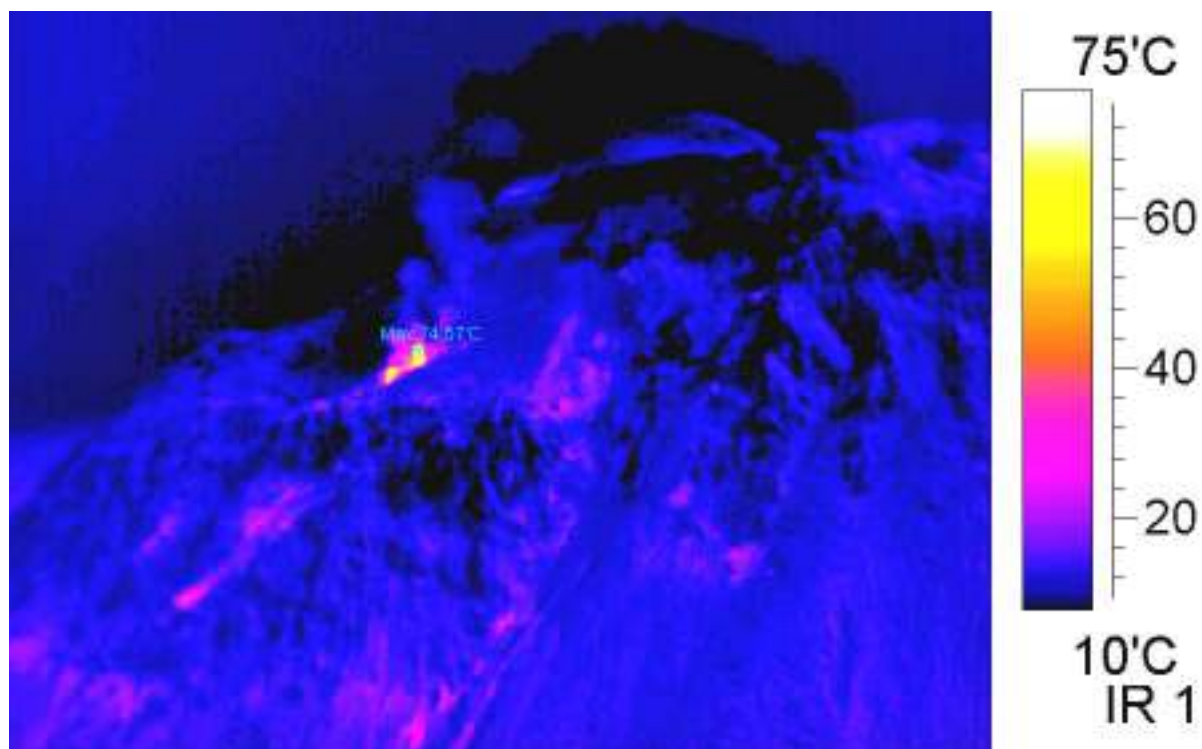


Рис. 284. Инфракрасный снимок вершины купола вулкана Иван Грозный.



Рис. 285. Основной очаг парогазовой деятельности сосредоточен на северном склоне купола, на высоте ~1030 м. Фото И.Л. Корбана, 2012 год.

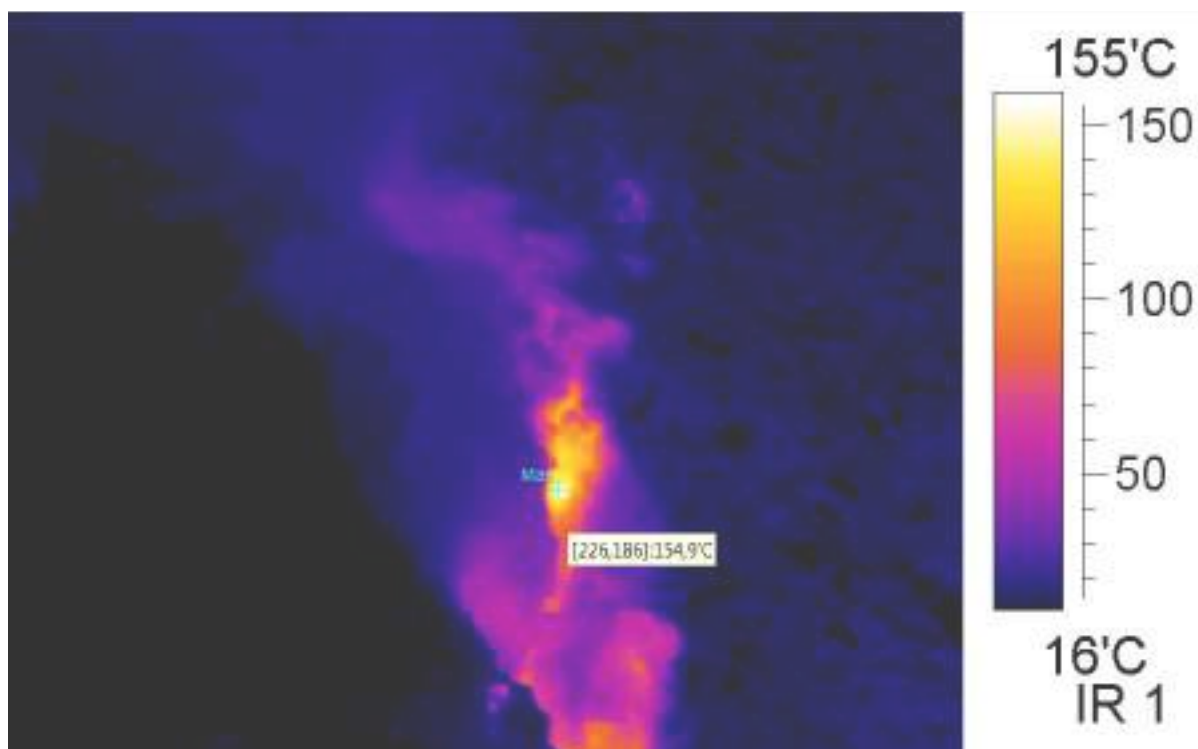


Рис. 286. Инфракрасный снимок эруптивного жерла на высоте ~1030 м, 28 августа 2012 года.

Из трещины 1989 г. выходили сольфатарные газы (рис. 287), на северо-восточном склоне с помощью тепловизора (рис. 288) удалось зафиксировать парогазовые выходы т.н. четвертого участка [Жарков, Козлов, 2013].

29 августа на вулкане наблюдалась слабая парогазовая активность, которая увеличилась к 17:00. Примерно в 18:00 произошел небольшой пепловый выброс, а над вулканом появился серый шлейф, который со временем протянулся до влк. Баранского (рис. 289).

30 и 31 августа на вулкане отмечалась постоянная парогазовая деятельность без пепловых выбросов. Подобная активность, по визуальным наблюдениям местных жителей, сотрудников ИМГиГ ДВО РАН и анализу космических снимков, сохранялась до конца сентября.

Следующая эксплозия произошла 28 сентября в 16:30, из пос. Горячие Ключи наблюдалась эруптивная колонна высотой около 1 км. С октября 2012 по март 2013 гг. был период повышенной парогазовой деятельности, мощный парогазовый столб постоянно наблюдался в ясную погоду местными жителями (рис. 290).

Последние эксплозивные выбросы влк. Иван Грозный были отмечены в апреле 2013 г. Информация о начале извержения поступила от начальника отдела ГО и ЧС МО «Курильский ГО» И.Л. Корбана. 3 апреля около 19:20 мощная эруптивная колонна поднялась на высоту более 2 км (рис. 291, 292), в пос. Горячие Ключи и г. Курильск выпало 2-3 мм пепла (рис. 293). 4 апреля в 13:30 произошел кратковременный выброс пепла на высоту более 3 км, пепловое облако перемещалось в северо-западном направлении [Жарков, Козлов, 2013].

Извержение вулкана Ивана Грозный в 2012-2013 гг. можно классифицировать как эксплозивное, фреато-магматическое. В пеплах извержения 2013 г. наряду с обломками пород старой вулканической постройки встречается свежее вулканическое стекло, свидетельствующее о поступлении небольшого количества вещества из верхней части магматической камеры. Пепел, выпавший 3 апреля в г. Курильск, представлен светло-серыми алевритистыми песками. Отмытая от пылевой части фракция 0.1-0.3 мм на 80 % представлена свежими, неподверженными вторичным изменениям, плагиоклазом, клинопироксеном, ортопироксеном, магнетитом, кварцем, полупрозрачными обломками основной массы с микролитами плагиоклазов. Это типичный минеральный состав андезитов эструзивного купола вулкана Иван Грозный. Вулканическое стекло совершенно свежее, прозрачное, угловатой формы – до 15%. Гидротермально измененные породы составляют около 2% и представлены зеленоватыми эффузивами, криптокристаллическими светло-серыми кремнистыми породами, гематитом. В пылевой части также обнаруживается сходный набор минералов, но здесь преобладает прозрачное вулканическое стекло угловатой формы. Пробы изучены только оптическими методами, но достаточно уверенно можно утверждать о присутствии в тефре ювенильного (свежего магматического) материала и классифицировать это извержение как фреато-магматическое. По сравнению с пеплами эксплозий августа 2012 г., в пробах извержения 2013 г. значительно меньше резургентных обломков и больше вулканического стекла, что может свидетельствовать о прочистке канала и начале нового этапа активизации вулкана (из устного сообщения к.г.-м.н. А.В. Рыбина).



Рис. 287. На вершине купола под плотным парогазовым столбом просматриваются сольфатары трещины 1989 года. Фото И.Л. Корбана, 2012 год.

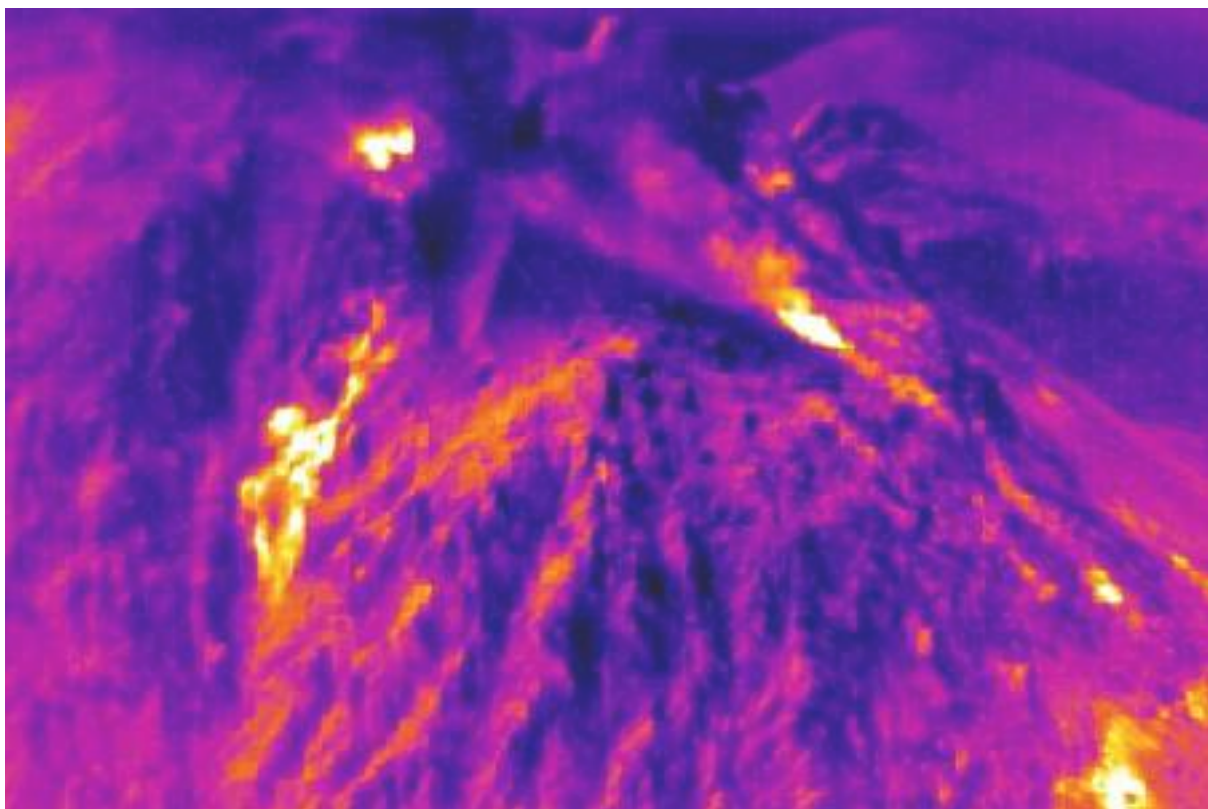


Рис. 288. Инфракрасный снимок северо-восточной части купола вулкана Иван Грозный. Термоаномалии отмечены в районе трещины 1989 г. и на т.н. четвертом участке выходов сольфатарных газов.



Рис. 289. Пепловый шлейф 29 августа 2012 г. Время съемки – 18:41. Вид из г. Курильск.
Фото автора.



Рис. 290. Повышенная парогазовая деятельность вулкана Иван Грозный в начале февраля 2013 г.
Фото А.Р. Самолюка.



а



б

Рис. 291. Эксплозия вулкана Иван Грозный 3 апреля 2013 г.: а - фото с <http://forum.iturup.info>; б - фото И.М. Федорова с <http://elementland.ucoz.com>



Рис. 292. Эксплозия вулкана Иван Грозный 3 апреля 2013 г.



Рис. 293. 3 апреля в г. Курильск выпал пепел. Фото И.Л. Корбана, 2013 год.

В августе 2013 г. на о. Итуруп была организована экспедиция для исследования термальных вод центральной части острова и описания последствий извержения влк. Иван Грозный. В состав экспедиционного отряда (рис. 294) вошли сотрудники ИМГиГ ДВО РАН (Жарков Р.В., Романюк Ф.А., Климанцов И.М.), ДВГИ ДВО РАН (Челноков Г.А., Брагин И.В.), ТОИ ДВО РАН (Югай И.Г.).

Маршрут на влк. Иван Грозный проходил по ручью Нагорный, базовый лагерь был оборудован на берегу оз. Купальное, с которого хорошо виден купол вулкана (рис. 295).



Рис. 294. Экспедиционный вулканологический отряд (слева направо): Челноков Г.А., Романюк Ф.А., Брагин И.В., Югай И.Г., Жарков Р.В. Фото И.М. Климанцова, 2013 год.



Рис. 295. Вид на вулкан Иван Грозный с базового лагеря на берегу оз. Купальное. Фото автора, 2013 год.

При подходе к куполу вулкана Иван Грозный в долине ручья Многоозерный были обнаружены единичные баллистические блоки, выброшенные на расстояние до 1.5 км от центра извержений (рис. 296-298). У северного подножия купола под отложениями обломочного материала лахара видны участки погребенного снега, что может свидетельствовать о возникновении лахара в результате эксплозий в апреле 2013 г.



Рис. 296. Обломки постройки купола, выброшенные при эксплозиях 2012-2013 гг. Фото автора, 2013 год.



Рис. 297. Баллистический блок, расстояние до купола вулкана – 1500 м. Фото автора, 2013 год.



Рис. 298. Баллистический блок, упавший в заросли кедрового стланика. Фото автора, 2013 год.

Северная часть купола практически не изменилась и визуально выглядела как в 2004 и 2012 гг. (рис. 299), за исключением появившейся крупной эксплозивной воронки на месте северной трещины (рис. 300). На склоне купола лежит множество вулканических бомб размерами до 20-30 см с пористой внутренней частью и плотной наружной поверхностью типа хлебной корки, покрытой сетью трещин (рис. 301, 302). Трещина извержения 1989 г. на вершине купола не претерпела существенных изменений (рис. 303, 304), температура сольфатарных газов в восточной части трещины достигала всего 90 °С (рис. 305). Ниже по склону, на высоте ~ 1030 м (по данным портативного GPS), на месте северной трещины образовалась эксплозивная воронка овальной формы (рис. 306). Воронка вытянута в северном направлении, стенки воронки отвесные, на дне и стенках – мощные парогазовые выходы (рис. 307, 308, 309). С северной стороны внутренний склон эксплозивной воронки более пологий т.к. засыпан крупнообломочными продуктами извержений (рис. 310, 311). На восточном краю воронки обнаружены вулканические бомбы размерами до 2-3 м с растрескавшейся поверхностью типа хлебной корки (рис. 312, 313). Спуститься в воронку для замеров температуры и отбора газов не удалось, была проведена только инфракрасная съемка. По всей видимости, воронка сформировалась в результате эксплозий в апреле 2013 г.

Термальный источник Лопастной после эксплозий 2012-2013 гг. существенно не изменился (рис. 314-316), его физико-химические параметры практически сопоставимы с данными 2004 г. Слабоминерализованная ($M = 1.2 \text{ г/дм}^3$), сульфатно-хлоридная натриевая вода с кислой реакцией среды ($\text{pH} = 2.05$) в 2013 г. имела температуру 40 °С (таблица А.13 Приложения А).



Рис. 299. Северный склон купола вулкана Иван Грозный. Фото автора, 2013 год.



Рис. 300. На месте северной трещины появилась взрывная воронка овальной формы. Фото И.В. Брагина, 2013 год.



Рис. 301. Вулканическая бомба с поверхностью типа хлебной корки.
Фото автора, 2013 год.



Рис. 302. Диаметр бомбы более 20 см. Фото автора, 2013 год.



Рис. 303. Верхняя часть трещины извержения 1989 года. Фото И.В. Брагина, 2013 год.



Рис. 304. Нижняя часть трещины извержения 1989 года. Фото И.Г. Югая, 2013 год.



Рис. 305. В этой части трещины извержения 1989 г. проводились замеры температуры в 2004 и 2013 гг.
Фото Ф.А. Романюка, 2013 год.



Рис. 306. Эксплозивная воронка на месте северной трещины купола вулкана Иван Грозный.
Фото И.В. Брагина, 2013 год.



Рис. 307. Южная стенка взрывной воронки. Фото автора, 2013 год.

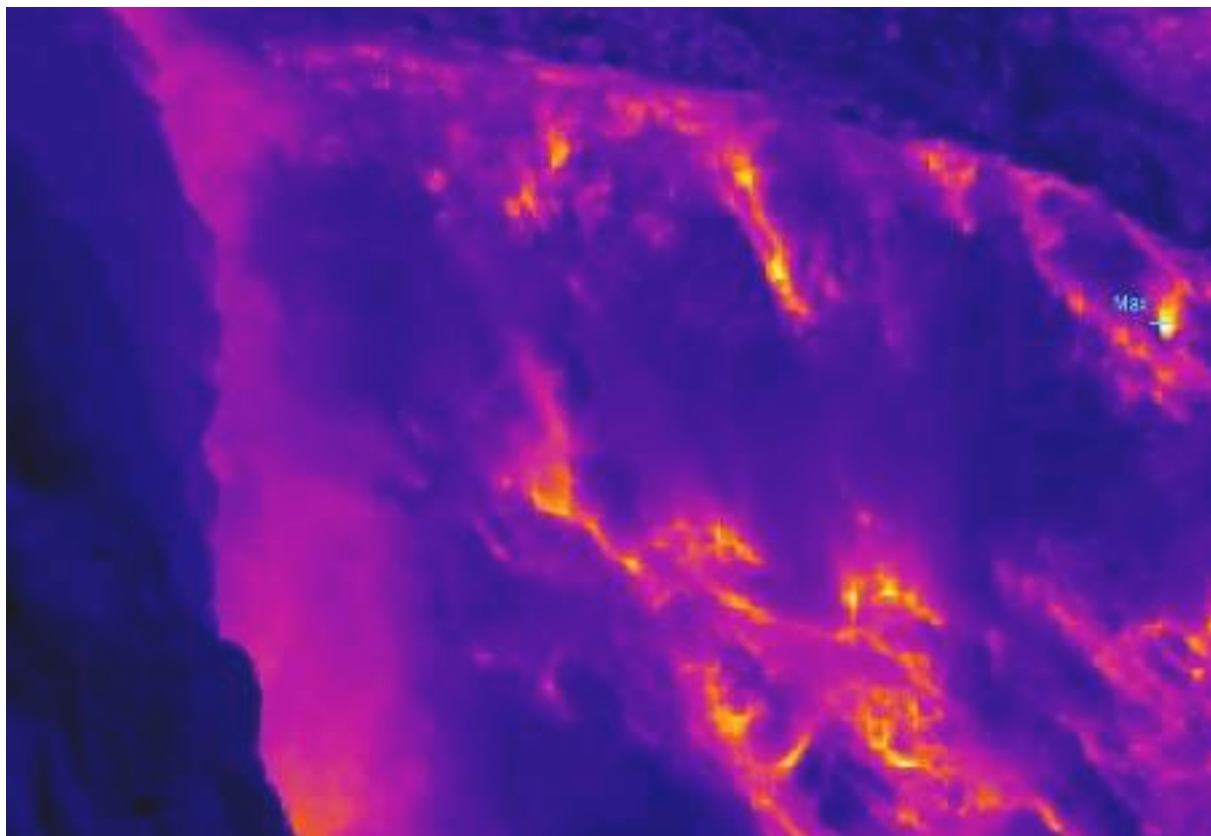


Рис. 308. Инфракрасный снимок южной части взрывной воронки.



Рис. 309. Западная стенка взрывной воронки с мощными выходами сероводородных газов.
Фото автора, 2013 год.



Рис. 310. Северная часть взрывной воронки. Фото автора, 2013 год.



Рис. 311. Северный край взрывной воронки. Фото Г.А. Челнокова, 2013 год.



Рис. 312. Вулканическая бомба с поверхностью типа хлебной корки, длина бомбы – более 2 метров.
Фото автора, 2013 год.



Рис. 313. Геолог Иосиф Георгиевич Югай в окружении вулканических бомб и баллистических блоков на
кромке взрывной воронки. Фото автора, 2013 год.



Рис. 314. После эксплозивных извержений с купола вулкана к южной части озера Лопастное сошли лахары. До термального источника лахары не дошли 10 м. Фото автора, 2013 год.



Рис. 315. Термальный источник Лопастной. Фото автора, 2013 год.



Рис. 316. Термальный источник Лопастной на фоне купола вулкана Иван Грозный.
Фото автора, 2013 год.

Термальные источники Горячие Ключи

Термальные источники расположены в пос. Горячие Ключи, западнее хребта Грозный. Гидротермы выходят на левом берегу р. Благодатная, в пределах первой и второй надпойменных террас. Выходы приурочены к породам Куйбышевской свиты неогенового возраста и представлены мелкозернистыми, слабосцементированными песчаниками серо-бурого цвета с коричневыми ожелезненными пятнами. В песчаниках встречаются неправильной формы линзы конгломератов, состоящих из окатанной гальки базальтов с песчаным цементом. Использование термальных вод для купаний началось еще японцами, здесь был организован небольшой бальнеологический санаторий [Иванов, 1955].

Изучение этой группы гидротерм отечественными учеными началось во второй половине XX в. В 1951 г. источники были обследованы Л.Е. Михайловым, в 1953-1954 гг. В.В. Ивановым, 1961-1962 гг. О.К. Калишевичем и В.Е. Бевзом [Мархинин, Стратула, 1977]. Кроме того, упоминание об этих источниках содержится в работе Г.В. Корсунской [1958].

Интересно описание термальных источников пос. Горячие Ключи, сделанное в начале 1950-х гг. В.В. Ивановым. Он выделял здесь два основных выхода гидротерм. Первый источник (рис. 317) находится на обрывистом уступе второй надпойменной террасы на высоте 1 м над первой террасой. Термальная вода выведена горизонтальной трубой из разрушенных серых тонкозернистых песчаников, слагающих вторую террасу, и далее через распределительный резервуар поступает по трубам в большой купальный бассейн «Большая фанза», в банно-прачечную воинской части, в душевую установку в купальном павильоне «Малая фанза» (рис. 318). Температура воды у выхода из трубы – 45 °С, дебит – 1 л/с [Иванов, 1955].

Второй источник расположен на первой террасе в 20 метрах северо-восточнее первого. Выход гидротерм скрыт каптажным сооружением, которое представляет собой бетонный колодец квадратного сечения, перекрытый сверху цементной плитой (рис. 318). Сечение колодца составляет 3.5×3.5 м, столб воды в нем – 1.3 м. Вода отводится самотеком по трубопроводу в купальный бассейн в «Малой фанзе». Температура воды у дна каптажа – 55 °С, дебит источника – 0.35 л/с. Источник интенсивно газирует: в составе выделяющихся газов, по результатам обследований 1953 г., преобладает метан (57.7%), содержание азота – 28.2%, углекислого газа – 13.4% [Иванов, 1955].

Для купаний в термальной воде японцами были сооружены два бетонированных водоема, которые используются жителями поселка Горячие Ключи до сих пор. В «Большой фанзе», рядом с источником № 2, располагается бассейн (рис. 319), пригодный для плавания: длина – 11.2 м, ширина – 2.6 м, глубина слоя воды – 1.0 м. В «Малой фанзе», имеющей в плане круглую форму диаметром 8 м, находится шестнадцатигранный бассейн оригинальной конструкции, разделенный на три части разного размера и глубины (рис. 320). В середине бассейна находится столб, который служит центральной опорой для крыши самого строения «фанзы». Размеры бассейнов следующие: внутренний радиус от столба до стенок бассейна – 1.40 м, глубина I-го отсека (первая четверть бассейна) – 0.4 м, глубина II-го отсека (вторая четверть бассейна) – 0.5 м, глубина III-го отсека (вторая половина бассейна) – 0.8 м.



Рис. 317. Термальные источники Горячие Ключи, источник №1 [Иванов, 1955].



Рис. 318. Купальный павильон «Малая фанза» (справа) и «Большая фанза» с бассейном (слева).
На переднем плане - бетонный колодец термального источника №2 [Иванов, 1955].



Рис. 319. Бассейн с термальной водой в «Большой фанзе».
Фото автора, 2014 год.



Рис. 320. Шестнадцатигранный бассейн в «Малой фанзе». Фото И.М. Климанцова, 2014 год.



Рис. 321. Вид с источника № 1 на «Малую фанзу» (справа) и «Большую фанзу» с современными пристройками. Фото И.М. Климанцова, 2014 год.



Рис. 322. Выход термальных вод у источника №1. Фото Ф.А. Романюка, 2014 год.

Термальная вода от источника № 2 подводится по подземной трубе к первому отсеку бассейна (температура 51-55 °С), из которого она переливается во второй, а затем в третий отсек, который и служит для купания, т.к. в нем вода значительно охлаждается и становится комфортной температуры – 40-43 °С [Иванов, 1955].

В 2013-2014 гг. сотрудниками ИМГиГ ДВО РАН исследовались выходы гидротерм в районе источника №1 (рис. 321, 322). Основной выход термальных вод имеет температуру 45 °С. Термальная вода по химическому составу (таблица А.13 Приложения А) слабоминерализованная ($M = 1.7$ г/дм³), хлоридно-гидрокарбонатная натриевая, кремнистая, нейтральная (рН – 7.3). Полученные результаты хорошо согласуются с данными предшествующих исследователей [Иванов, 1955; Мархинин, Стратула, 1977]. По изотопному составу водорода и кислорода ($\delta D = -73.6\text{‰}$, $\delta^{18}O = -10.1\text{‰}$) гидротермы близки к местным метеорным водам (таблица А.5 Приложения А).

3.2.3. Гидротермы южной части Итурупа

К южной части Итурупа в данной работе отнесена территория острова, расположенная к югу от Куйбышевского перешейка. Наиболее значительные и известные проявления гидротермальной и сольфатарной деятельности – Дачное месторождение гидротерм в районе пос. Буревестник, сольфатары и термальные источники вулкана Берутарубе на крайнем юге острова. Кроме этих объектов в научной литературе имеются сведения о Крабовых (Осочных) термальных источниках, источниках вулкана Буревестник [Мархинин, Стратула, 1977].

Крабовые гидротермы выходят в долине реки Осочная, в 3 км от ее устья. Разными исследователями здесь выделялись от 3 до 6 источников с температурой 27-40 °С. По химическому составу воды относятся к субнейтральным (рН 6.6), слабоминерализованным ($M = 2.1$ г/дм³), гидрокарбонатно-хлоридно-сульфатным со сложным катионным составом [Мархинин, Стратула, 1977].

На западном склоне влк. Буревестник, входящего в состав хребта Богатырь, в истоках левого притока р. Новая обнаружены парогазовые выходы и малodeбитные термальные источники с температурой около 94 °С [Мархинин, Стратула, 1977].

Сведений о современном состоянии Крабовых термальных источников и источников влк. Буревестник у автора нет.

Дачное месторождение термоминеральных вод

Месторождение углекислых кремнистых гидротерм расположено в долине ручья Надежда, правого притока реки Высокотравной, в 3.5 км к северо-западу от места ее впадения в залив Касатка и в 6 км к северо-западу от аэропорта «Буревестник». Термальные источники получили свое название благодаря бывшему поселку Дачный, находящемуся в 1.5 км к востоку от них.

История исследования источников Дачные отечественными учеными начинается с 1950-х гг. В 1951 г. один из источников этой группы был обследован Л.Е. Михайловым. В 1953 г. источники изучались В.В. Ивановым, в 1958 г. – О.К. Калишевичем, в 1962 г. – В.Е. Бевзом [Мархинин, Стратула, 1977]. В.В. Иванов [1955] отмечал здесь три основных термальных источника: Большой Ключ, Малый Ключ и Нижний Ключ. Расположены они в пределах надпойменных террас ручья Надежда на расстоянии 20-30 м один от другого.

Большой Ключ в начале 1950-х гг. представлял собой искусственно расширенный водоем, закрепленный несколькими стволами деревьев (рис. 323). Температура воды составляла 34-35 °С, из источника вытекал небольшой ручеек с дебитом 0.3 л/с, растекающийся по склону. Из воды ручейка отлагался травертин (рис. 324), образуя на склоне плотную желтовато-серую корку. Источник сильно газировал, в составе преобладал углекислый газ (97%). По химическому составу Дачные источники В.В. Иванов относил к углекислым, среднеминерализованным, нейтральным, хлоридно-гидрокарбонатным натриевым, и рассматривал их как весьма близкий аналог воды «Ессентуки-4». Дополнительные лечебные свойства этим водам придает очень высокое содержание метакремниевой кислоты, а также их повышенная температура, в связи с чем в начале 1950-х гг. В.В. Иванов рекомендовал организовать здесь бутылочный розлив минеральной воды [Иванов, 1955].

Учитывая перспективы использования гидротерм на участке «Дачное» в 1979 г. начаты планомерные гидрогеологические работы. К 1987 году было пробурено 8 поисковых скважин (рис. 325), которые охарактеризовали преимущественно водоносный комплекс отложений парусной свиты плиоцена. Скважины №1, 2, 5, 6, 7 вскрыли углекислые термоминеральные воды. Скважины №3, 4, 8 находятся вне зоны распространения углекислых вод. Естественные ресурсы термоминеральных вод участка «Дачное», характеризующие прогнозные ресурсы категории Р, ориентировочно оценены в количестве 14900 м³/сут, в том числе эксплуатационные запасы углекислых кремнистых терм категории С₂ на площади разгрузки термоминеральных источников Дачные в долине ручья Надежда – 2290 м³/сут [Поиски..., 1987].

В настоящее время в долине ручья Надежда имеется несколько низкотемпературных малodeбитных термальных источников (рис. 326). В районе источников, описанных еще В.В. Ивановым, действуют скважины №1 и №5. В 400 м выше по течению, на левобережной террасе руч. Надежда, находится скважина №6 с температурой гидротерм 43-44 °С (рис. 327). Вода этой скважины используется местными жителями для купаний: здесь оборудованы две чугунные ванны (рис. 328), в которые по желобу стекает вода из скважины.

Скважина №1 находится в 30 м от ручья Надежда, примерно в 1.2 км выше его впадения в реку Высокотравная. Излив воды осуществляется из обсадной трубы, которая выступает из грунта на 15 см (рис. 329). Скважина обильно изливается и интенсивно газирует (рис. 330). Температура воды составляет 33 °С, рН 6.5, дебит – около 3 л/с. От скважины отходит труба, подводящая воду в металлическую конструкцию, которую местные жители иногда приспособливают для купаний (рис. 331). Термальная вода, изливающаяся из скважины, дает начало ручейку, впадающему в руч. Надежда. По химическому составу вода относится к маломинерализованным (М – 4.9 г/дм³), хлоридно-гидрокарбонатным натриевым гидротермам с высоким содержанием метакремниевой кислоты (таблица А.13 Приложения А).

В составе выделяющихся газов преобладает углекислый газ (93%), содержание азота – 6% (таблица А.16 Приложения А). По изотопному составу водорода и кислорода ($\delta D = -58.8\text{‰}$, $\delta^{18}O = -7.5\text{‰}$) термы скважины близки к метеорным водам (таблица А.5 Приложения А).



Рис. 323. Общий вид Большого Ключа. Видны круги, расходящиеся от места выхода газовых [Иванов, 1955].



Рис. 324. Травертиновые отложения в месте растекания воды Большого Ключа [Иванов, 1955].



Рис. 325. Схема расположения скважин Дачного месторождения термоминеральных вод [Поиски..., 1987].



Рис. 326. Термальные источники на левом берегу руч. Надежда. Фото автора, 2014 год.



Рис. 327. Скважина №6 с термальной водой на левом берегу руч. Надежда.
Фото автора, 2014 год.



Рис. 328. Термальные воды скважины №6 используются для купаний в оборудованных ваннах.
Фото И.М. Климанцова, 2014 год.



Рис. 329. Скважина №1 Дачного месторождения термоминеральных вод.
Фото Ф.А. Романюка, 2014 год.



Рис. 330. Интенсивное выделение углекислого газа из скважины №1.
Фото О.В. Веселова, 2013 год.



Рис. 331. Для купаний местные жители в металлическую конструкцию опускают большой непромокаемый тент, в который набирается термальная вода. Фото автора, 2014 год.

Скважина №5 находится на первой надпойменной террасе в 15 м восточнее скважины №1 (рис. 332).



Рис. 332. Скважина №5 Дачного месторождения термоминеральных вод. Фото автора, 2014 год.

В настоящее время на месте скважины №5 находится затопленный поступающей водой котлован размером 3.5×3.5 м, который образовался из-за обвала обсадки скважины. В образовавшемся озерце наблюдается активное поступление термальной воды и выделение газов (рис. 333, 334). Температура воды составляет 23-28 °С, рН 7.0, дебит – 40-50 л/мин. Поступающая из озерца термальная вода образовала небольшой ручеек, который стекает в ручей Надежда.



Рис. 333. Озерцо на месте скважины №5.
Фото А.В. Дегтерева, 2013 год.

Вода скважины (таблица А.13 Приложения А) маломинерализованная ($M = 4.9 \text{ г/дм}^3$), хлоридно-гидрокарбонатная натриевая, кремнистая, нейтральная (рН – 7.0). По изотопному составу водорода и кислорода ($\delta D = -63.2\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O} = -8.7\text{‰}$) термы скважины №5 близки к метеорным водам (таблица А.5 Приложения А).



Рис. 334. Озерцо на месте скважины №5 в 2014 году. Фото автора.

Вулкан Берутарубе

Вулкан Берутарубе представляет собой пологий сильно усеченный конус высотой 1222 м, расчлененный барранкосами (рис. 335). На вершине вулкана расположен большой кратер диаметром около 2.5 км, открытый к западу (рис. 336). Кратер разрушен и наиболее крупные ущелья разрезают его вершину на несколько отдельных гребней и хребтиков. На склонах вулкана имеются потоки молодых лав андезитового и андезито-базальтового состава. Сведений об исторических извержениях вулкана Берутарубе не имеется. Извержения закончились здесь, по-видимому, несколько сотен лет назад, но сольфатарная деятельность продолжается до настоящего времени: в некоторых ущельях действуют сольфатары с температурой 100-104 °С (рис. 337). В газовом составе сольфатар преобладает углекислый газ (88-95%), сероводород содержится в пределах 3-8% [Вулканическое..., 2000].

С вулканом Берутарубе связаны две группы минеральных источников: Железистые и Горячие. Железистые холодные источники были впервые обследованы в 1951 г. Ю.С. Желубовским. Краткие сведения о горячих источниках имеются в работах В.И. Влодавца [1949] и Г.В. Корсунской [1958]. В 1957 г. источники обследованы и опробованы Е.К. Мархининым. Горячие источники с температурой 30 °С расположены в кратере вулкана Берутарубе, ниже г. Серная. По химическому составу эти воды относятся к кислым (рН 2.4) сульфатным гидротермам со сложным катионным составом [Мархинин, Стратула, 1977].

В русле кислых горячих и железистых источников, впадающих в ручей Филюшина, отлагается большое количество лимонита, при впадении в Охотское море от устья ручья на десятки метров тянется шлейф опалесцирующей молочно-желтой воды (рис. 338). В 1994-1996 гг. сотрудники лаборатории вулканологии и вулканопасности ИМГиГ ДВО РАН обследовали сольфатары и термальные источники вулкана, после этого достоверной информации о современной сольфатарной и гидротермальной активности в кратере вулкана Берутарубе не было. По сведениям местных жителей, в 2013 г. небольшая группа туристов попыталась подняться по ручью Филюшина в кратер вулкана, но они не смогли зайти в него из-за удушливых сольфатарных газов. Косвенно это может свидетельствовать об усилении парогазовой деятельности или же сложившихся в день подъема на вулкан местных метеорологических условиях, при которых в безветренную погоду сольфатарные газы скапливаются в понижениях рельефа.



Рис. 335. Вулкан Берутарубе. Вид с Охотского моря. Фото А.В. Рыбина.



Рис. 336. Кратер вулкана Берутарубе.
Фото А.В. Рыбина.



Рис. 337. Сольфатары в кратере вулкана Берутарубе. Фото А.Р. Самолюка.



Рис. 338. На спутниковом снимке Google Earth виден шлейф в Охотском море от воды ручья Филюшина.

3.3. Гидрохимические типы термальных вод исследуемого района и особенности окружающих их ландшафтов

Термальные воды исследуемого нами региона разнообразны по своему геохимическому облику и тепловым параметрам. Основные компоненты их газового состава – углекислый газ, азот, метан, серосодержащие и инертные газы. Среди растворенных солей доминируют галоиды, сульфаты, гидрокарбонаты. Значительно варьирует минерализация гидротерм, их pH, а также температура. Выше были описаны термы областей современного вулканизма, различающиеся по условиям формирования и геохимическим параметрам. Поэтому очень сложно свести все имеющиеся в регионе термы в единую классификацию.

Главной трудностью, возникающей при попытках систематизировать данные о химических и тепловых особенностях гидротерм современных вулканических областей, является необходимость выбора объективного критерия для их сравнения. Первостепенное значение приобретает решение центральной проблемы формирования современных гидротерм: являются ли все наблюдаемые их разновидности производными одного и того же исходного флюида или это генетически различные типы подземных растворов, возникающие в определенных геохимических и геотермических условиях [Кононов, 1983].

Примером классификаций гидротерм, основанных на гипотезе об их моногенном происхождении, могут служить типизации термальных вод областей активного вулканизма, предложенные в ранних работах Д. Уайта [White, 1957] и С.И. Набоко [1974]. В классификации С.И. Набоко все термальные воды рассматриваются как единый генетический класс. По ее мнению, основными факторами, определяющими их тепловой режим, солевой и газовый состав, являются глубинные магматические процессы, а вариации физико-химических параметров гидротерм определяются особенностями выделения летучих из тех или иных силикатных расплавов на различных глубинах. Широко известна составленная по принципу полигенного происхождения классификация В.В. Иванова [1961]. Этот исследователь внес большой вклад в изучение основных закономерностей распределения и формирования термальных вод в районах активного вулканизма. Выделенные им по составу газов основные разновидности термальных вод представляют различные генетические типы, формирующиеся независимо друг от друга в специфических для каждого типа условиях. Позже В.В. Иванов [1977] разработал универсальную генетическую классификацию минерализованных вод земной коры. В ней подземные воды делятся последовательно на аналогичные группы по газовому составу, а затем на классы (по составу анионов), подклассы (по катионам) и градации (по величине минерализации). Те же типы термальных вод, с добавлением специфической группы береговых терм, были выделены Р.И. Ткаченко [Кононов, 1983]. В основу другой группы классификаций в качестве главного признака положена кислотность-щелочность растворов, а для подразделений используются особенности их анионного или катионного составов. Примерами здесь могут послужить классификации некоторых зарубежных [Allen, Day, 1935; Barth, 1950 и др.] и отечественных исследователей [Басков, Суриков, 1975; Мархинин, Стратула, 1977; Знаменский, Никитина, 1985; Кононов, 1983 и др.]. Наиболее детально проблема классификации современных гидротерм была рассмотрена в работе В.И. Кононова [1983], в которой приведены классификации ведущих зарубежных и отечественных исследователей.

Типизация исследуемых термальных вод региона автором проведена исходя из основных идей классификаций Е.А. Баскова и С.Н. Сурикова [1975], Е.К. Мархинина [Мархинин, Стратула, 1977]. В классификацию не включены данные о температуре и минерализации термальных вод. При разделении термальных вод по температуре и минерализации классификация только усложнится и увеличится количество типов термальных вод, что приведет к затруднению ее использования. По температуре источников сложно определить границы разделения термальных вод: температура источников варьирует в пределах от 30 °С до 100 °С. По минерализации также сложно разделить термальные воды, т.к. большинство из них слабоминерализованные, только к побережью и с глубиной минерализация увеличивается, что связано со степенью разбавления метеорными водами. Кроме этого, температура и общая минерализация термальных вод не являются стабильными параметрами, изменяются как по сезонам года, так и в течение суток.

В классификацию включены следующие показатели: кислотность-щелочность раствора, преобладающие свободно выделяющиеся и растворенные в термах газы, анионный и катионный составы гидротерм. По кислотности-щелочности раствора, как главному признаку, термы разделены на две группы: ультракислые и кислые ($pH=1-4$); субнейтральные, нейтральные и слабощелочные ($pH=6-8$). По преобладающему газу термы разделены на классы: углекислые, азотные, метановые. Естественно, что газовый состав гидротерм довольно сложный и часто получаются практически одинаковые содержания двух газов, в этом случае в названии класса используется доминирующий газ. Газовый состав оказывает непосредственное влияние на анионный состав гидротерм, поэтому следующей классификационной единицей является подкласс, выделенный по анионному составу. Здесь ситуация еще сложнее. Например, в хлоридных натриевых термах преобладающий анион-хлор, в этом случае легко определить подкласс терм. Но чаще в анионном составе гидротерм либо два аниона находятся примерно в одинаковом количестве, либо один анион доминирует, но другие все же содержатся в повышенных концентрациях. Поэтому в названии подкласса допускается несколько анионов, при этом доминирующий анион стоит на первом месте. В названии подкласса даются те анионы, содержание которых выше 20% экв. от общей суммы анионов. Градация гидротерм на типы происходит по содержанию катионов, здесь также на первом месте стоит доминирующий катион. В названии типа даются те катионы, содержание которых выше 20% экв. от общей суммы катионов. В проведенной автором классификации термальных вод Южных Курильских островов выделено тринадцать гидрохимических типов (таблица 1).

Термальные воды являются неотъемлемой частью ландшафтов исследуемого региона. Ландшафт состоит из целого комплекса компонентов, но выделяется на основе геоморфологических особенностей территории. К компонентам ландшафта относятся горные породы, рельеф, климат, внутренние воды, в том числе и термальные, почвы и растительность, животный мир. Каждый ландшафт по-своему уникален и неповторим, но между различными, на первый взгляд, ландшафтами можно найти много общих особенностей. Замечено, что районам выходов термальных источников разных типов соответствуют определенные особенности ландшафтов. Автором сделана попытка выявления ландшафтных особенностей участков с разными гидрохимическими типами термальных источников (таблица 1).

Таблица №1

Ландшафтные особенности участков с разными гидрохимическими типами термальных вод.

Группа	Класс	Подкласс	Тип	Название групп источников	Ландшафтные особенности термоявления
pH	Газ	Анионы	Катионы		
Ультракислые и кислые (pH=1-4)	CO ₂	сульфатные	кальциево-натриевые, кальциево-натриево-магниевые	Источники сольфатарных полей вулканов Менделеева, Головнина, Руруй (Кунашир), Баранского, Тебенькова, Мачеха, Берутарубе (Итуруп)	Денудационные поверхности сольфатарных полей и эродированные долины верховьев ручьев с гидротермально измененными породами, с отсутствующим или маломощным почвенным покровом. Высшая растительность около сольфатар и термальных источников отсутствует, на некотором удалении находится травянистая растительность, низкорослый курильский бамбучник, кедрово-стланиковые заросли, смешанные или хвойные леса на бурых лесных почвах
		сульфатно-хлоридные	натриевые, натриево-магниевые-кальциевые	Источники влк. Головнина, влк. Тебенькова, влк. Иван Грозный, источники ручья Кипящий (влк. Баранского)	Источники расположены у основания морских террас с песчаными или галечниковыми пляжами, с полным отсутствием почвенного и растительного покрова в районе источников
			натриево-кальциевые, кальциево-натриевые	Алехинские источники (влк. Головнина)	
	N ₂	хлоридно-сульфатные, сульфатно-хлоридные	натриевые, натриево-кальциевые	Нижнеменделеевские, Нижнедокторские источники (влк. Менделеева); источники ручья Кипящий (влк. Баранского)	Поймы и надпойменные террасы долин средних течений ручьев, источники окружены травянистой растительностью, зарослями бамбука и кедрового стланика, смешанными или слово-пихтовыми лесами на бурых лесных почвах
Субнейтральные, нейтральные и слабощелочные (pH=6-8)	CO ₂	гидрокарбонатно-сульфатные, сульфатно-гидрокарбонатные	натриево-кальциевые, кальциево-натриевые	Центральное Восточное сольфатарное поле вулкана Головнина	Денудационная поверхность сольфатарного поля с гидротермально измененными породами экструзивного купола и озерными отложениями, с отсутствующим почвенным покровом и растительностью непосредственно у термальных источников.
				Нескученские источники (влк. Руруй)	Склоны морских террас и галечниковые пляжи, с отсутствием почвенного и растительного покрова в местах выходов гидротерм. В источниках – кремнистые отложения и термофильные водоросли
				Южно-Алехинские источники (влк. Головнина); Нескученские источники (влк. Руруй)	Поверхность аккумулятивных морских террас с заболоченными участками и осоково-тростниковой растительностью на маломощных почвах. В источниках - кремнистые отложения и термофильные водоросли
		хлоридно-гидрокарбонатные	натриевые	Дачные гидротермы (Итуруп)	Долина ручья, в бортах выходят термальные воды, вплотную к источникам подходят смешанные леса на бурых лесных почвах.
	N ₂	гидрокарбонатно-сульфатные	натриево-кальциевые	Озеро Теплое (влк. Меньший Брат)	Надпойменная терраса, источники окружены травянистой растительностью, зарослями бамбука и кедрового стланика, смешанными лесами на бурых лесных почвах
		сульфатно-хлоридные, сульфатные	кальциево-натриевые	Северо-Алехинские источники (влк. Головнина)	Уступ морской террасы, сложенный дельювиальными отложениями, с луговой растительностью и смешанными лесами
				Прасоловский источник (Кунашир)	Надпойменная терраса долины нижнего течения реки с разнотравной растительностью и смешанными лесами на бурых лесных почвах
		хлоридно-сульфатные	натриево-кальциевые	Рейдовские источники (Итуруп)	Аккумулятивно-денудационные прибрежные равнины, сложенные песками и суглинками, с заболоченными осоково-тростниковыми лугами на болотных почвах. Участок источников окружен бамбучником и листовыми лиственными лесами на подзолистых почвах
			натриевые	Столбовские источники (влк. Менделеева)	Долины нижних течений ручьев и рек, в пойменной части и бортах выходят термальные воды, вплотную к источникам подходят широколиственные и темнохвойные леса на бурых лесных почвах. Не редко в источниках имеются кремнистые отложения и термофильные водоросли
		хлоридно-гидрокарбонатные	натриевые	Источники ручья Кислый (влк. Менделеева); источник №1, Горячие Ключи (Итуруп)	
		хлоридные	натриевые	Третьяковские источники (влк. Менделеева)	Периферия экструзии и подошва морской террасы с песчаными пляжами, с отсутствием почвенного и растительного покрова около источников
				Источники Горячего Пляжа (влк. Менделеева), Добрый Ключ (Кунашир);	
	CH ₄	гидрокарбонатно-хлоридные	натриевые	Источник №2, Горячие Ключи (Итуруп)	Долина нижнего течения реки, в бортах выходят термальные воды, вплотную к источникам подходят смешанные леса на бурых лесных почвах.

Ландшафты Южных Курил, детально описанные в работе [Ганзей, 2010], разнообразны по своей структуре. Выходы термальных вод на островах приурочены к нескольким типам ландшафтов: ландшафты денудационных сольфатарных полей и верховьев рек и ручьев, ландшафты долин средних и нижних течений рек и ручьев, ландшафты побережья, ландшафты прибрежных аккумулятивно-денудационных равнин. Ниже приводится краткое описание особенностей компонентов ландшафтов для участков с выходами разных гидрохимических типов термальных вод, что также отражено в таблице 1.

Ландшафты денудационных сольфатарных полей и верховьев рек и ручьев. В пределах этих ландшафтов выходят разнообразные по физико-химическим параметрам гидротермы и сольфатары. Сольфатарные газы и кислые, углекислые, сульфатные со сложным катионным составом термы выходят на сольфатарных полях и в сильно эродированных долинах верховьев рек и ручьев. Породы денудационных сольфатарных полей и бортов рек и ручьев под воздействием химически агрессивных кислых термальных вод и сольфатарных газов гидротермально изменены и превращены в глину. Непосредственно около сольфатар и в местах выходов гидротерм почвенно-растительный покров отсутствует. На периферии участков гидротермально-сольфатарной деятельности находятся заросли угнетенного бамбучника курильского и кедрового стланика, на некотором удалении (50-200 м от границы участков) встречаются смешанные или хвойные леса на бурых лесных почвах.

Кислые, углекислые, сульфатно-хлоридные натриево-магниевые-кальциевые термы выходят в эродированных долинах верховьев рек и ручьев с измененными породами, с отсутствующим или маломощным почвенным покровом у источников. Высшая растительность непосредственно около сольфатар и термальных источников отсутствует, на некотором удалении находятся травянистая растительность, низкорослый бамбучник курильский, кедрово-стланиковые заросли, смешанные или хвойные леса на бурых лесных почвах.

На денудационной поверхности Центрального Восточного сольфатарного поля влк. Головинна выходят, кроме кислых терм, субнейтральные и слабощелочные, углекислые, гидрокарбонатно-сульфатные натриево-кальциевые термы. Породы подножья экстррузивного купола и берега озера Кипящего в местах выходов гидротермально изменены, на северном берегу озера почвенно-растительный покров отсутствует, на западном берегу вблизи источников встречается травянистая растительность и мхи, на удалении от поля находятся заросли кедрового стланика и бамбучника курильского.

Термальные воды различных гидрохимических типов на Южных Курилах часто выходят в руслах, поймах и надпойменных террасах рек и ручьев.

Ландшафты долин средних течений рек и ручьев. В пределах поймы и надпойменных террас средних и нижних течений рек и ручьев выходят кислые, азотные (углекислые), хлоридно-сульфатные (сульфатно-хлоридные, хлоридно-гидрокарбонатные) натриевые (натриево-кальциевые) термальные источники. Породы в местах выходов гидротерм частично изменены, травянистая растительность очень близко подходит к источникам, часто термопроявления окружены зарослями бамбучника курильского и кедрового стланика, смешанными или хвойными лесами на лесных темно-бурых почвах. В источниках имеются кремнистые отложения и термофильные водоросли.

Ландшафты долин нижних течений рек и ручьев. В пойменных частях и бортах долин нижних течений рек и ручьев выходят субнейтральные и слабощелочные, азотные (метановые), сульфатные, хлоридно-сульфатные и хлоридно-гидрокарбонатные (гидрокарбонатно-хлоридные) натриевые термальные воды. Вплотную к источникам подходит разнотравье, заросли бамбучника курильского, дубово-ольховые и елово-пихтовые леса на бурых лесных и темно-бурых почвах. Нередко в источниках имеются кремнистые отложения и термофильные водоросли.

Ландшафты побережья. В этот тип ландшафтов на Южных Курилах входят участки склонов и подножий уступов морских террас, пляжей и прибрежных экстрезий. В пределах ландшафтов побережий имеются выходы различных по физико-химическим показателям термальных вод.

Кислые, углекислые, сульфатно-хлоридные кальциево-натриевые и натриево-кальциевые Алехинские термальные источники расположены на высоте до 15 м у подножья морских террас и на песчаных или галечниковых пляжах с полным отсутствием почвенного и растительного покрова в местах выходов гидротерм.

Нейтральные, углекислые, сульфатно-гидрокарбонатные (гидрокарбонатно-сульфатные) кальциево-натриевые источники Нескученской группы выходят в небольших ручейках на склонах морских террас (абсолютная высота 10-20 м), а также у подножья уступов террас и на галечниковом пляже. В источниках на склонах уступов террас имеются кремнистые отложения и термофильные водоросли. Близко подходит разнотравье и кустарники кедрового стланика, на удалении находятся смешанные леса. «Кипящие» источники на галечниковом пляже часто находятся под глыбами андезито-базальтов, в приливы заливаются морской водой.

Субнейтральный, азотный, сульфатно-хлоридный кальциево-натриевый Банный источник (Северо-Алехинская группа) находится у подножья уступа морской террасы, сложенной туфопесчаниками. Термальные воды выходят из делювиальных отложений на высоте порядка 7-8 м, участок вокруг источника покрыт луговой растительностью и смешанными лесами на бурых лесных почвах, в составе древесной растительности – магнолия и дуб.

На периферии риолитовой экстрезии и в приливно-отливной зоне у мыса Горячий (о. Кунашир) выходят слабощелочные, азотные, хлоридные натриевые термы. В местах выходов породы экстрезии гидротермально изменены, термы разгружаются среди скалистых выступов и отложений морских песков, в приливы источники заливаются водами Тихого океана. Источник Добрый Ключ на севере Кунашира находится у подножья уступа морской террасы, переходящей в песчаный пляж, на высоте нескольких метров. Уступ террасы покрыт разнотравьем и смешанными лесами.

Ландшафты прибрежных аккумулятивно-денудационных равнин. Эти ландшафты характерны для Рейдовских термальных источников (о. Итуруп). Субнейтральные, азотные, хлоридно-сульфатные натриево-кальциевые термальные воды разгружаются на высоте до 10 м в пределах аккумулятивно-денудационной равнины, сложенной, преимущественно, песками и суглинками. Район Рейдовских термальных источников представляет собой сильно заболоченную местность, с высокими осоково-тростниковыми лугами на болотных почвах. Здесь расположено несколько котлов с глинистой термальной водой, в источниках часто развиваются термофильные водоросли. Эти участки окружены лиственничниками кустарниково-вейниковыми на подзолистых почвах.

Глава 4

**ВЛИЯНИЕ СОЛЬФАТАРНЫХ ГАЗОВ И
ТЕРМАЛЬНЫХ ВОД НА
КОМПОНЕНТЫ ЛАНДШАФТОВ**

Формирование и развитие ландшафтов вулканических районов и областей, не связанных с современными вулканическими процессами, заметно различается. Современный активный вулканизм привносит дополнительные особенности в процессы формирования геосистем, придает ландшафтам вулканических районов специфические черты, проявляющиеся в чрезвычайно интенсивном, зачастую катастрофичном воздействии вулканических процессов и явлений на рельеф, почвообразующие горные породы и почвы, климат и растительность. Уникальность вулканогенных (вулканических) ландшафтов заключается и в дополнительном поступлении, кроме солнечной энергии, эндогенной энергии недр Земли, что особенно характерно для районов гидротермальных систем [Башарина, 1974].

Специфичность вулканогенных ландшафтов определяется исключительной динамичностью и интенсивностью формирования их литогенной основы, что сказывается и на других компонентах ландшафтов, в частности, это сопровождается либо полным уничтожением биоты, либо временной ее деградацией с выпадением отдельных видов, популяций и ассоциаций. Только в случае гидротермальной деятельности, воздействие которой прослеживается на протяжении многих сотен, а иногда и тысяч лет, биота сумела приспособиться к этим весьма специфическим условиям [Быкасов, 2005]. Экосистемы районов гидротермальных систем активных вулканов отличаются, вследствие замкнутости их территорий и притока эндогенного тепла, повышенной видовой насыщенностью растительного и животного мира и заметной обособленностью своего развития от окружающих ландшафтов [Быкасов, 1987].

В ландшафтном отношении, согласно А.Г. Исаченко и А.А. Шляпникову [1989], Южные Курильские острова относятся к бореальному (подтаежному) ландшафтному поясу, дальневосточному подтаежному зональному типу ландшафтов (переходный от типичной тайги к суббореальной широколиственной зоне). В данном типе район относится к островному тихоокеанскому секторальному варианту ландшафтов. Специфика ландшафтов и их развитие в пределах рассматриваемых в данной работе вулканических построек зависит от целого ряда зональных и азональных факторов. Особое место занимает влияние вулканизма. Под влиянием вулканической деятельности происходит уничтожение ландшафтов и формирование пионерных, отличающихся от коренных, или модификация существующих ландшафтов.

Исследования ландшафтов на Южных Курилах в последние годы проводились в рамках комплексных экспедиций ТИГ ДВО РАН (г. Владивосток) и ИМГиГ ДВО РАН (г. Южно-Сахалинск). Основные результаты исследований

отражены в работах [Формирование..., 2000; Разжигаета, Мохова, 2001; Разжигаета, Ганзей, 2004; Ганзей, 2004а; 2004б; 2010]. К.С. Ганзей [2010] предложены схемы пространственной структуры ландшафтов практически всех вулканов Курильских островов.

В 2006-2014 гг. сотрудниками ИМГиГ ДВО РАН были проведены ландшафтно-геохимические наблюдения на вулканах Менделеева, Головнина, Руруй, Баранского [Жарков, Побережная, 2007; 2008а; 2008б; Копанина, 2007; Еремин, Копанина, 2007; 2012; Жарков, 2008; Побережная, 2010; Побережная, Копанина, 2011; Копанина, Еремин, 2011; Ежкин, Жарков, 2013; Ежкин, Кордюков, 2014]. Цель геохимических исследований – выявление особенностей миграции микро-элементов (МЭ) в специфических ландшафтах, формирующихся в местах выхода на поверхность сольфатарных газов и термальных вод различного состава. Целью ботанических работ являлось выявление структурных особенностей растений и лишайников, произрастающих в различных условиях, измененных сольфатарно-гидротермальной деятельностью вулканов.

Ниже рассмотрены общие закономерности влияния сольфатарных газов и разных типов термальных вод на ландшафты, в пределах которых они сосредоточены.

4.1. Влияние сольфатарных газов и термальных вод на ландшафты денудационных сольфатарных полей и верховьев рек и ручьев

Современная гидротермальная и сольфатарная деятельность, особенно в пределах сольфатарных полей, обусловила формирование особых вулканогенных ландшафтов [Быкасов, 1980]. В составе современных денудационных вулканических ландшафтов выделяют ландшафты сольфатарных полей с уничтоженной или с разреженной растительностью и погребенным почвенным покровом [Ганзей, 2004б]. На этих участках в течение длительного времени происходит постоянное воздействие агрессивных газов и растворов в условиях повышенного температурного фона, как на биотические компоненты, так и на литогенную основу, полностью меняя состав рыхлых отложений и коренных пород, что вызывает изменение направленности экзогенных процессов и преобразование форм рельефа [Разжигаета, 2005]. С геохимических позиций вулканогенные ландшафты в районах сольфатарных полей по классификации А.И. Перельмана [Перельман, Касимов, 1999] относятся к солянокислому классу. Такие ландшафты, хотя и не занимают больших площадей, широко распространены в вулканических областях. Вулканические ландшафты с сильноокислыми водами с позиций геохимии ландшафта практически не изучались. Исключительно интересны особенности организмов в этих ландшафтах, так как отбор на химической основе здесь должен быть выражен очень резко. Во многие геологические эпохи подобные ландшафты были распространены шире, чем в настоящее время, их роль в рудообразовании и развитии жизни, вероятно, была значительной [Перельман, Касимов, 1999].

Ниже, на примере вулкана Менделеева, рассмотрено влияние сольфатарных газов и кислых термальных вод на ландшафты сольфатарных полей и верховьев рек и ручьев, берущих начало с этих сольфатарных полей. Вулкан Менделеева является классическим примером для определения этого влияния, все полученные выводы могут быть применимы для сольфатарных полей других вулканов.

Ландшафты денудационных сольфатарных полей и верховьев ручьев и рек являются наиболее молодыми на влк. Менделеева, т.к. образованы на месте воронок взрывов, возраст заложения которых оценивается около 2.1-1.5 тыс. л.н. [Вулкан..., 2004]. Сольфатарные газы и кислые, сульфатные натриево-кальциево-магниевого гидротермы оказывают здесь значительное влияние на формирование и изменение всех компонентов ландшафтов: рельеф, микроклимат, поверхностные водотоки, подземные воды, коренные породы, почвы, растительность и животный мир.

Активная сольфатарно-гидротермальная деятельность влияет на рельеф местности. Сольфатарные поля образовались в результате гидротермально-фреатических взрывов, на месте которых остались воронки, впоследствии эродированные поверхностными водотоками. Современный микрорельеф сольфатарных полей постоянно меняется, образуются или разрушаются постройки сольфатар, изменяются термальные источники и грязевые котлы, меняется поверхность сольфатарных полей, т.к. гидротермально измененные породы подвержены денудации.

Микроклиматические особенности сольфатарных полей практически не изучались. Можно предположить, что в местах интенсивных выходов нагретых до 100 °С сольфатарных газов происходит небольшой, по сравнению с окружающими участками, прогрев воздуха и его увлажнение. Сольфатарные газы, содержащие, кроме паров воды, до 80-90% CO_2 , 2-40% H_2S , 4-50% N_2 и многие другие газы [Барабанов, 1976; Мархинин, Стратула, 1977], оказывают влияние на химический состав атмосферных осадков района. Сульфатно-хлоридный натриевый состав атмосферных выпадений на Курильских островах обусловлен повышенным содержанием серы в сольфатарных выходах [Юрченко, 2004]. Средний химический состав атмосферных осадков в Курило-Камчатской области активного вулканизма [Миграция..., 1974] следующий (в мг/л): Na – 16.3, K – 1.3, Ca – 2.2, Mg – 0.7, Cl – 2.3, SO_4 – 32.2, HCO_3 – 10.3, при общей минерализации 65.2 мг/л и pH – 5.2.

Высокотемпературные сольфатарные газы, проходя через горизонт грунтовых вод, изменяют их гидрохимический облик, воды становятся нагретыми, кислыми, преимущественно сульфатного состава. Сольфатарные газы и кислые термальные воды, взаимодействуя с вмещающими породами, видоизменяют вулканогенные породы с образованием опаловых, алунитовых, кварцито-алунитовых пород, прослеживающихся до глубин 100-160 м [Власов, 1971]. Эти гидротермально измененные породы часто подстилаются пропилитизированными толщами. В свою очередь, при взаимодействии с вмещающими породами, кислые термальные воды извлекают из пород многие элементы, среди макрокомпонентов стоит отметить алюминий и железо, содержание которых в поверхностных термах может достигать 47 мг/л и 77 мг/л соответственно. При выходе кислых сульфатных термальных вод на поверхность и смешивании их с пресными холодными водами рек и ручьев происходит резкое изменение pH речной воды до 2.5-3 в районе выходов терм. Кислые сульфатные термы выносят значительное количество металлов (Al, Fe, Ca, Zn, Pb, Mn и др.), исчисляемое, вероятно, десятками тонн за год, которые отлагаются в русле ручьев на совмещенном кислородно-сорбционном геохимическом барьере. Подсчитано [Geochemistry..., 2006b], что воды Кислого ручья, в долине которого происходит разгрузка кислых терм, выносят ежедневно в реку Лесную 706 кг Si, 258 кг Fe, 190 кг Al, 90 кг Zn, 42 кг Mn и другие элементы.

Вследствие метастабильности мигрирующих соединений участки геохимических барьеров служат местом развития микробных сообществ, использующих

энергию реакций перехода [Диссимиляционное..., 1999]. Проявления таких геохимических барьеров наблюдается в виде интенсивного окрашивания русловых отложений в оттенки охристого цвета. С кислыми термами и поверхностным стоком с сольфатарных полей в воды рек и ручьев поступает большое количество глинистых частиц, которые во взвешенном состоянии могут переноситься на дальние расстояния и снижать прозрачность воды. В кислых ручьях сольфатарных полей из-за повышенной кислотности и мутности воды не обитают характерные для региона речные гидробионты. Из живых организмов в них можно встретить следующие микроорганизмы: тиановые бактерии, среди которых нередко развиваются диатомовые водоросли, зеленые бактерии рода *Chlorobium*, окисляющие сероводород до молекулярной серы [Мархинин, Стратула, 1977].

Выходы газов и кислых термальных вод также влияют на геохимические особенности почвы и растительность окружающих участков. Для выяснения этого влияния нами были проведены исследования на двух разных по активности сольфатарных полях вулкана Менделеева: на «угасающем» Восточном сольфатарном поле и активном Северо-Восточном сольфатарном поле.

Восточное сольфатарное поле занимает небольшую площадь и проявляет незначительную активность. Здесь нет «классических» сольфатар с отложениями серы, имеются только кислые термальные источники и небольшие парогазовые выходы. Растительность подходит близко к источникам: по краям поле заросло бамбучником курильским, высота его уменьшается при приближении к кромки оз. Овальное, и угнетенными кустами кедрового стланика, переувлажненные участки вблизи источников заселены осоками (рис. 339), очень близко к полю подходят реликтовые леса с преобладанием пихты сахалинской.



Рис. 339. Растительность на берегу оз. Овальное. Фото автора, 2006 год.



Рис. 340. Схема Восточного сольфатарного поля (влк. Менделеева). Пояснения даны в тексте.

В районе сольфатарного поля, по сочетанию компонентов ландшафтов, можно выделить следующие участки (рис. 340): 1 – собственно гидротермальные выходы и грязевые котлы ложа воронки поля, лишенной растительности и почв на гидротермально измененных породах; 2 – склоны воронки поля со злаковой растительностью, низкорослым бамбучником курильским и редкими кустами кедрового стланика на маломощных почвах и гидротермально измененных породах; 3 – периферия поля с зарослями бамбучника курильского, кедрового стланика, каменных берез на маломощных почвах, сформированных на породах андезитового состава; 4 – периферия поля с темновойным лесом на маломощных почвах, сформированных на породах андезитового состава [Жарков, 2008].

На Восточном сольфатарном поле у кромки озера Овальное опробован полный вертикальный профиль ландшафта: коренная порода, гидротермально измененная порода, глинистый слой, формирующийся над измененной породой, покрывающая его примитивная почва и произрастающий над этим разрезом злак веероцветник китайский *Miscanthus sinensis* Anderss [Жарков, Побережная, 2008а; 2008б].

Разрез вскрыт до глубины появления воды в шурфе – около 50 см от поверхности. По окрашиванию генетических горизонтов разреза гидроокислами железа в нем четко прослеживается окислительно-восстановительная зональность. Гидротермально измененная порода имеет характерный для восстановительной среды серый цвет, что указывает на бескислородную обстановку в подступающих к поверхности термальных водах, способствующую выносу подвижного в двухвалентной форме железа.

Глинистый горизонт, залегающий на «пропаренной» гидротермально измененной породе, интенсивно окрашен гидроокислами железа в охристый цвет. Очевидно, что господствующая в нем окислительная обстановка создает условия формирования кислородного геохимического барьера в приповерхностных условиях и приводит к осаждению гидроокислов железа. Вместе с железом на этом барьере относительно гидротермально измененной породы происходит накопление меди, марганца, цинка, ванадия, олова, молибдена (рис. 341).

Сама же измененная порода (рис. 341) по сравнению с материнской породой значительно обеднена многими микроэлементами: кобальтом, молибденом, марганцем, цинком, свинцом, что говорит об их выщелачивании из пород в процессе метасоматоза.

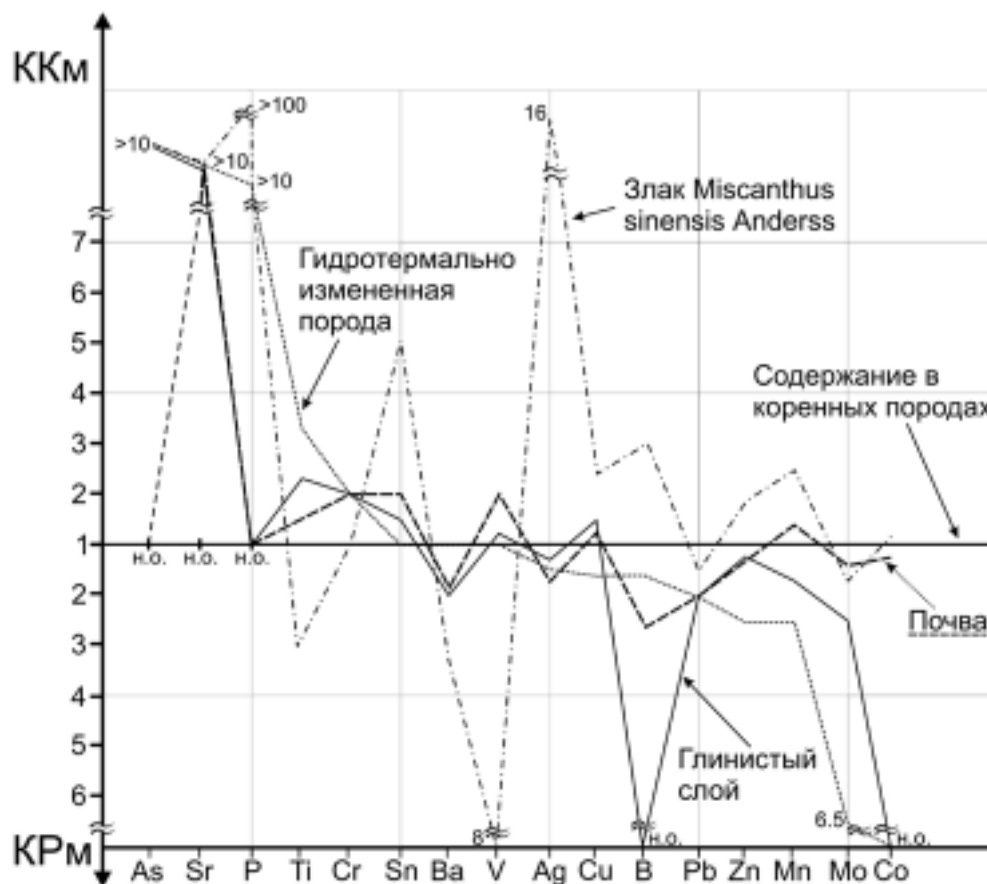


Рис. 341. Распределение микроэлементов в компонентах ландшафта Восточного сольфатарного поля [Жарков, Побережная, 2008а].

ККм – кларк концентрации местный (отношение содержания МЭ в объекте к его содержанию в материнской горной породе); КРм – кларк рассеяния местный (отношение содержания МЭ в материнской горной породе к его содержанию в объекте); н.о. – не обнаружено (содержание МЭ ниже чувствительности анализа).

Интересны результаты анализа золы веероцветника китайского *Miscanthus sinensis* Anderss, способного произрастать на прогретом и специфическом в геохимическом отношении субстрате. Это растение интенсивно накапливает фосфор, что не удивительно, так как фосфор – один из биогенных элементов. Кроме фосфора *Miscanthus sinensis* Anderss аккумулирует серебро, олово, мышьяк, стронций, лантан, бор, марганец, цинк (рис. 341). Три последних МЭ известны своей биофильностью, интенсивная же аккумуляция злаком остальных элементов связана с особыми геохимическими условиями в подстилающем субстрате.

Полученные результаты геохимических исследований специфических ландшафтов сольфатарных полей позволяют сделать следующие выводы:

1. Восходящие к поверхности кислые термальные воды имеют восстановительную среду. Содержание в них сероводорода недостаточно для связывания халькофильных элементов, о чем свидетельствует их выщелачивание из гидротермально измененных пород. Высокое содержание в таких породах As, P и Sr обусловлено высокими концентрациями этих элементов в гидротермах.
2. Для ландшафтов сольфатарных полей характерна окислительно-восстановительная зональность в приповерхностных горизонтах. Восходящие бескислородные гидротермы на расстоянии 10-30 см от поверхности попадают в кислородсодержащие условия. В местах резкой смены восстановительной

обстановки на окислительную создаются условия для осаждения химических элементов на совмещенном кислородно-сорбционном геохимическом барьере. В пределах Восточного сольфатарного поля вулкана Менделеева на таком барьере накапливаются железо, мышьяк, стронций, медь, цинк, марганец, молибден, олово.

3. В специфических ландшафтно-геохимических условиях на горячем субстрате произрастает злак *Miscanthus sinensis* Anderss и угнетенный бамбучник курильский. *Miscanthus sinensis* Anderss накапливает в больших количествах элементы, которыми обогащены термальные воды – As, Sr, P, La. Кроме этих элементов, в растении, по сравнению с подстилающим субстратом, накапливаются Ag, Sn, В, Co, в меньшей степени – Mn, Zn, Cu.

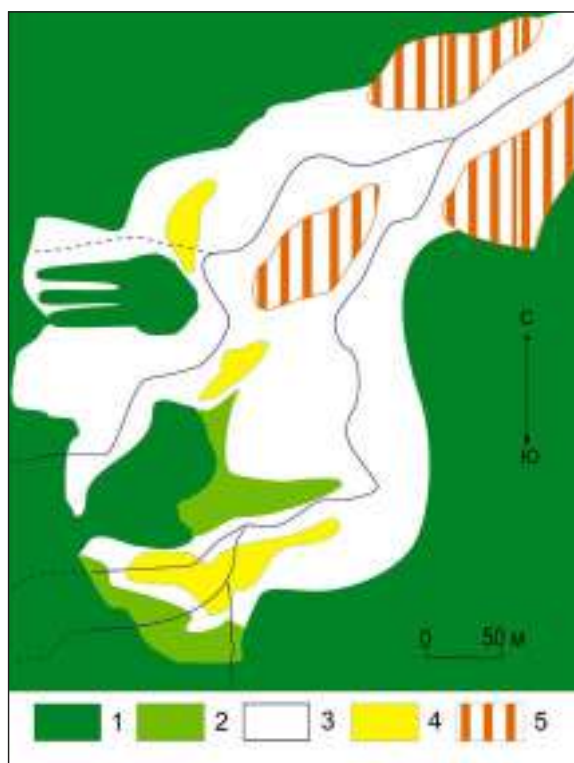


Рис. 342. Схема пространственной структуры ландшафта Северо-Восточного сольфатарного поля (влк. Менделеева). Пояснения даны в тексте.

Северо-Восточное сольфатарное поле проявляет, в отличие от Восточного поля, большую сольфатарную активность и занимает значительную площадь. На Северо-Восточном сольфатарном поле в результате гидротермально-фреатических извержений, последнее из которых было в 1880 году, происходило уничтожение близлежащих ландшафтов. Сейчас здесь наблюдается процесс развития ландшафтной структуры, изменение которой сводится к зарастанию сольфатарного поля по периферии. Район сольфатарного поля также значительно изменен под влиянием антропогенной деятельности – добычи серы японцами до 1945 года. Детальных ландшафтно-геохимических работ на этом сольфатарном поле не выполнялось, были проведены лишь визуальные описания состояния и разнообразия растительных группировок, закартирован район поля, исследованы почвенные профили на периферии поля. По полученным данным составлена схема

ландшафтной структуры сольфатарного поля, на котором выделено несколько участков (рис. 342): 1 – периферия поля с кедрово-стланиковыми зарослями и бамбучником курильским на горно-лесных маломощных или погребенных почвах; 2 – участки эрозионных склонов сольфатарного поля с редкой растительностью (осоки, низкорослая сахалинская гречиха *Polygonum sachalinense*, лишайники) на гидротермально измененных породах; 3 – крутые эрозионные склоны с отсутствием растительности и почвенного покрова на гидротермально измененных породах; 4 – участок собственно сольфатарных выходов на крутых склонах, с полным отсутствием почвенно-растительного покрова на гидротермально измененных породах; 5 – участки антропогенных отвалов переработанной серосодержащей породы, с отсутствием почвы и растительности [Жарков, 2008].

В пределах Северо-Восточного сольфатарного поля влияние кислых термальных вод на компоненты ландшафта проявляется как во взаимодействии с окружающими породами, так и в изменении химического состава вод с отложением минералов в ручейках. Интересно прослеживается влияние сольфатарных газов на растительность района активных сольфатарных полей. Проведенные на вулкане Менделеева работы [Манько, Сидельников, 1989] по изучению влияния сольфатарной активности на распределение растительности показали, что лимитирующим фактором в процессе поселения растений является высокая концентрация токсичных газов сольфатар, а не показатели pH и температуры почвы. В пределах активных сольфатарных полей, образование которых и последующие фреатические извержения уже привели к полному уничтожению прежних ландшафтов, происходит очень медленное заселение пионерными видами растений. Это связано, во-первых, с отсутствием почвенного покрова на гидротермально измененных породах, во-вторых, агрессивные сольфатарные газы оказывают разрушающее влияние на ассимиляционный аппарат растений. Наиболее близко к сольфатарным выходам из древесных растений произрастает кедровый стланик, на удалении – береза каменная, ель Глена, ель аянская, пихта сахалинская. Хвоя кедрового стланика, растущего близко от сольфатар и испытывающая токсичное действие газов, имеет меньшие морфологические параметры, характеризуется покраснением клеток и разрушением в них хлоропластов и плазмоллиз [Манько, Сидельников, 1989]. Из травянистых растений ближе всего произрастают веероцветник китайский, рейнуртия, бамбучник курильский, высота которого уменьшается до 50-60 см в 5-10 м от сольфатарных выходов. На Северо-Восточном сольфатарном поле влк. Менделеева встречаются участки с угнетенной сахалинской гречихой *Polygonum sachalinense*, высота которой достигает всего 50-60 см (рис. 343). На листьях и стеблях наиболее близко расположенных растений определяется некроз, заметен светло-серый налет соединений серы. На границе полей, в непосредственной близости от выходов сольфатарных газов, повсеместно встречаются мхи и лишайники. Проведенные в 2013 году сотрудниками ИМГиГ ДВО РАН работы на Северо-Западном сольфатарном поле по оценке влияния сольфатарной деятельности на природную среду методом лишеноиндикации показали [Ежкин, Кордюков, 2014], что эпифитные лишайники, как биоиндикаторы загрязнения окружающей среды, имели наиболее сильные отклонения в показателях встречаемости и покрытия на расстоянии 600 м от сольфатарного поля. На расстоянии более 2 км показатели эпифитного лишайникового покрова находятся в норме, что говорит о прекращении воздействия сольфатарного поля на окружающую среду на этом расстоянии.

Животный мир активных сольфатарных полей на Южных Курилах слабо изучен. По наблюдениям автора, здесь можно встретить мышевидных грызунов, лисиц, бурого медведя. Надо отметить, что для животных, как и для человека, долгое нахождение среди паров сольфатарных газов вредно для здоровья и может привести к гибели. Известны случаи [Карпов и др., 1983] на Камчатке в Долине смерти, в Йеллоустонском Национальном Парке (США), в Долине смерти на острове Ява, когда скопившийся в понижениях рельефа углекислый газ сольфатар был причиной массовой гибели от удушья грызунов, медведей и лисиц. Сольфатарные газы при конденсации образуют серную кислоту, попадание их в дыхательные пути и в легочные ткани приводит к химическому ожогу.

Для человека сольфатарные газы смертельно опасны, поэтому при работе на вулканах ученые используют противогазы (рис. 344) или современные маски со специальными патронами от разных типов газов (рис. 345).

Таким образом, сольфатарные газы и кислые термальные воды сольфатарных полей и верховьев рек и ручьев оказывают значительное влияние на ландшафты, которое проявляется в изменении всех компонентов ландшафтов. Описанные выше закономерности можно наблюдать на активных сольфатарных полях вулканов Менделеева, Головнина, Руруй, Баранского, Чирип и Богдана Хмельницкого, Берутарубе.



Рис. 343. Сахалинская гречиха, произрастающая в центральной части Северо-Восточного сольфатарного поля вулкана Менделеева. Фото автора, 2006 год.



Рис. 344. Вулканоологи в кратере вулкана Кудрявый. Фото из архива А.В. Рыбина.



Рис. 345. Вулканоологи на вершине вулкана Иван Грозный. Фото автора, 2013 год.

4.2. Влияние термальных вод на ландшафты долин средних течений рек и ручьев

В пойменной части долин средних течений рек и ручьев, расположенных на вулканах Менделеева и Баранского, выходят кислые (ультракислые), азотные (азотно-углекислые), хлоридно-сульфатные (сульфатно-хлоридные) натриевые (натриево-кальциевые) термальные источники. Глубинные термы этих участков [Никитина, 1988] являются ультракислыми ($\text{pH}=1.7$), хлоридно-сульфатными натриево-кальциевыми, с высоким содержанием Fe^{2+} (701 мг/л), но с более высокой минерализацией, чем поверхностные источники (7-7.2 г/л на глубине 45-130 м). На вулкане Менделеева, по данным И.Б. Никитиной [1988], под действием ультракислых глубинных гидротерм вмещающие пирокластические породы до глубин 90-110 м переработаны и превращены в аргиллиты. Ниже, до глубин 200-250 м, породы превращены в опалитовые и опал-алунитовые породы. Глубинные термы характеризуются очень высоким содержанием железа, значительными концентрациями Zn, Cu, Pb, As и повышенными концентрациями Mo, Pd, Sb и Cd. В целом, гидротермы подобного химического состава характеризуются значительной металлоносностью и являются [Лебедев, 1975] основным поставщиком элементов для формирующихся полиметаллических месторождений в областях активного вулканизма.

В местах выходов кислых, азотных, хлоридно-сульфатных натриевых источников породы обелены или превращены в ярко-красные глины, из термальной воды происходит отложение плитчатого или натечного ярозита, мощность которого достигает местами до 1 м. Примером таких источников являются Верхнедокторские на вулкане Менделеева. Термальные воды этих источников, попадая в пресные холодные воды Докторского ручья, несколько изменяют его химический состав и увеличивают температуру на 20-30 °С. Как и в ручьях сольфатарных полей, здесь происходит отложение на совмещенном кислородно-сорбционном геохимическом барьере металлов, в значительной мере железа, отчего русло ручья Докторский в районе источников имеет охристый цвет (рис. 346). Ультракислые термы источников приводят к уменьшению значений pH воды ручья, здесь не наблюдаются характерные для Курильских островов речные гидробионты. Из живых организмов в термальных источниках развиваются термофильные водоросли изумрудно-зеленого цвета [Мархинин, Стратула, 1977], которые, например, сплошным ковром покрывают дно озера Уста. Под воздействием гидротермальных вод на этих участках формируются «карстовые» формы микрорельефа в виде провальных воронок (например, «Воронка Мефистофеля» – источник Колодец). Подобные воронки есть и в долине р. Кипящая на вулкане Баранского. Продолжительная гидротермальная деятельность в долинах средних течений ручьев привела к образованию небольших озерных котловин и котлов термальных источников.

Геохимические особенности ландшафтов этих термопроявлений изучались в 2007-2008 гг. Т.М. Побережной [2010] на примере источника Основной (ручей Кислый, Нижнеменделеевские источники). В почвенном профиле здесь наблюдается вертикальная окислительно-восстановительная зональность, аналогичная таковой на Восточном сольфатарном поле. Отличия лишь в большей мощности рыхлых отложений и более слабом их прогреве. Окислительно-восстановительная зональность в разрезе изучаемого ландшафта хорошо выражена в смене окраски вскрытых горизонтов (рис. 347).



Рис. 346. Ручей Докторский, среднее течение. В русле ручья наблюдается отложение железа.
Фото Г.А. Челнокова, 2005 год.



Рис. 347. Разрез над источником Основной в правом борту ручья Кислый.
Фото Т.М. Побережной, 2007 год.

В нижних слоях, где выходят гидротермы, можно наблюдать серую окраску суглинков и мелких обломков породы, обусловленную соединениями железа в двухвалентной форме и выносом их подвижных форм (глеевая обстановка). На вынос железа из вмещающих пород в условиях глеевого выщелачивания термальными водами указывает их обедненность подвижными формами железа (147-158 мг/кг) по сравнению с горизонтами, окрашенными окислами и гидроокислами железа в охристый цвет (518-772 мг/кг).

Распределение микроэлементов (МЭ) по вертикали вскрытого разреза свидетельствует о резкой дифференциации вещества в ландшафте данного термопроявления (рис. 348).

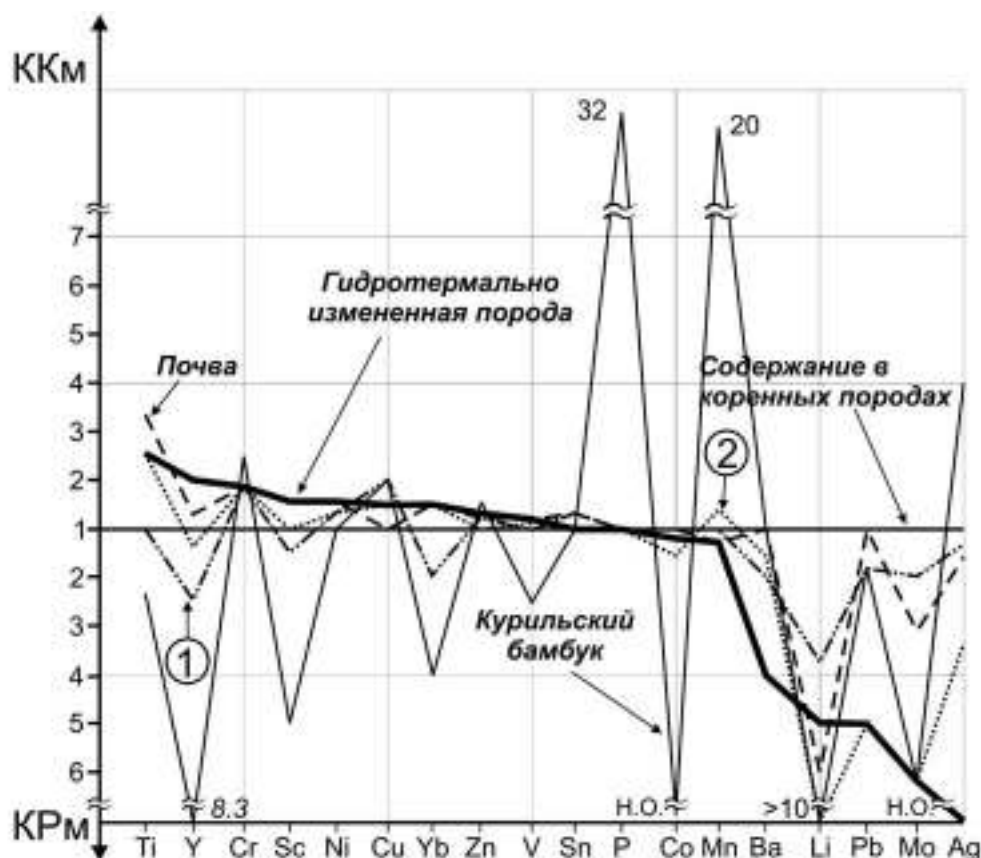


Рис. 348. Распределение микроэлементов в компонентах ландшафта Нижнеменделеевского термопроявления (по данным Т.М. Побережной [2010]). ККм – кларк концентрации местный (отношение содержания МЭ в объекте к его содержанию в материнской горной породе); КРм – кларк рассеяния местный (отношение содержания МЭ в материнской горной породе к его содержанию в объекте); н.о. – не обнаружено (содержание МЭ ниже чувствительности анализа). Цифрами обозначены:

1 – глеевый горизонт; 2 – ожелезненный суглинок с признаками оглеения на глубине 30 см.

Полученные данные позволили сделать следующие предположения о миграции МЭ в гипергенных условиях под воздействием восходящих кислых термальных вод хлоридно-сульфатного натриевого состава:

1. В результате воздействия гидротерм на корневые породы они обедняются такими элементами, как Ag, Mo, Pb, Li, Ba, и обогащаются Ti, Y, Cr, Sc, Ni, Cu, Yb.
2. Глеевый горизонт, вмещающий термальные воды, обеднен относительно материнских пород Mo, Pb, Li, а также Y, Sc, Yb. Более высокие содержания характерны для Cr и Cu.

3. Перемещение подвижного двухвалентного железа в верхние горизонты и его осаждение в окислительной обстановке в виде окислов и гидроокислов сопровождается аккумуляцией Ti, Cr, Mn, Cu.
4. В почвах накапливаются элементы, выщелачиваемые из оглеенных горизонтов и гидротермально измененных пород, – Pb, Ag, Ba, Mo.

Незначительное влияние оказывают кислые термы средних долин рек и ручьев на микроклимат участков термопроявлений, растительность и животный мир. Выделяющийся пар из трещин и с поверхности термальных источников способствует прогреву и переувлажнению атмосферного воздуха в пределах термопроявлений, поэтому здесь в растительном сообществе встречаются тепло- и влаголюбивые растения. Животный мир данных ландшафтов ничем не отличается от соседних участков. Растительность приближена к источникам, часто термальные источники окружены смешанными или хвойными лесами с зарослями бамбучника курильского и кедрового стланика. Бамбучник курильский, гортензия, папоротник, мхи и лишайники находятся непосредственно у источников, часто у них наблюдаются некрозы на листьях и стеблях, вызванные, по всей видимости, термическим и химическим поражением ультракислыми термальными водами (рис. 349). Радиус влияния выходов пара и термальных вод на растительность сравнительно невелик и составляет первые метры, в отличие, например, от гейзеров [Манько, Сидельников, 1989], выбрасывающих термальную воду и пар в радиусе нескольких метров.

Изучение распределения МЭ в золе бамбучника курильского (рис. 350), произрастающего непосредственно над термальным источником Основной, и за его пределами (фоновый участок – верхняя часть экологической тропы к Столбовским источникам), также указывает на специфические ландшафтно-геохимические условия в местах выхода на поверхность гидротерм. Зола бамбучника курильского на термопроявлениях обогащена многими химическими элементами по сравнению с фоновым образцом. Однако необходимо отметить также накопление в золе растения относительно подстилающего субстрата Р, Mn, Ag, Cr, что позволяет говорить о видовой способности *Sasa Kurilensis* к биоаккумуляции этих элементов независимо от места произрастания. Накопление же в золе бамбука, произрастающего на нижнеменделеевском термопроявлении, относительно фонового растения того же вида таких элементов, как Ba, Sc, Y, Ti, Be, Zr, Zn, V, указывает на специфические геохимические условия в ландшафтах термопроявления. Они характеризуются избыточным количеством этих элементов, по сравнению с фоновыми ландшафтами, что, вероятно, связано с их привносом гидротермами.

Возможно, что некоторые элементы, в избытке поглощаемые бамбучником курильским на термопроявлении, оказывают на него неблагоприятное, угнетающее воздействие. К ним можно отнести те элементы, которых в золе бамбучника курильского на термопроявлении содержится больше, чем в золе бамбучника курильского на фоновом участке, но меньше, чем в подстилающем субстрате, – это Y, Sc, V.

Таким образом, кислые термальные воды в долинах средних течений рек и ручьев оказывают, также как и кислые термы сольфатарных полей, значительное влияние на компоненты окружающих ландшафтов.



Рис. 349. Пораженный бамбучник курильский у ручья Кислый. Фото И.В. Брагина, 2005 год.

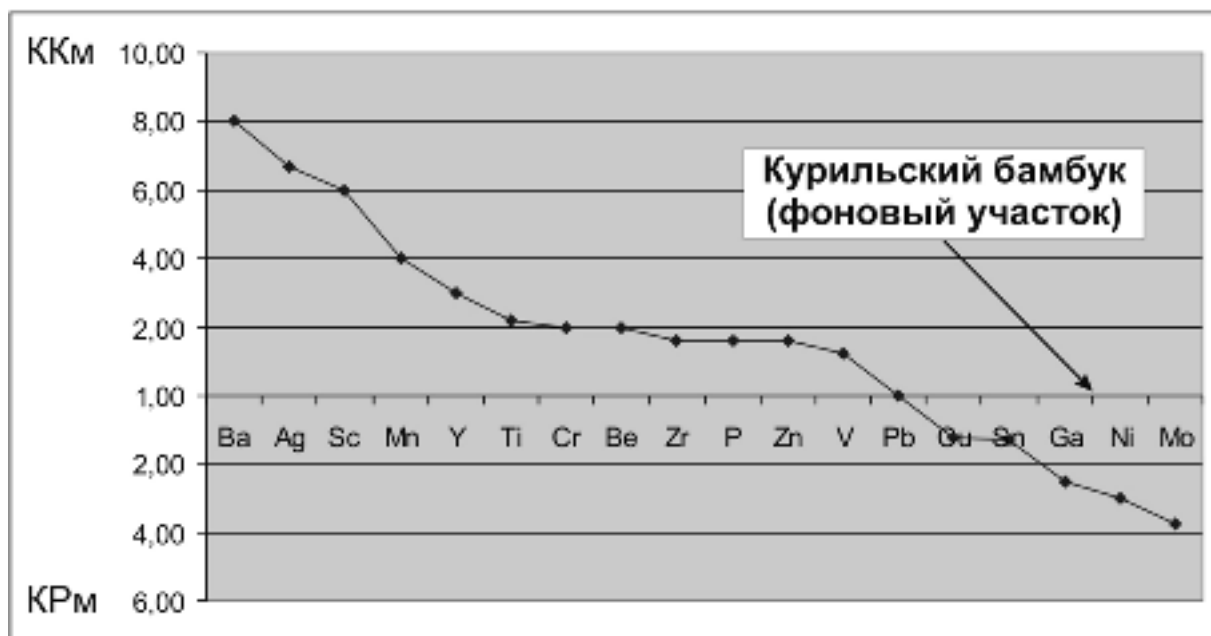


Рис. 350. Распределение микроэлементов в золе бамбучника курильского у Нижнеменделеевских термальных источников (по данным Т.М. Побережной [2010]).
 ККм – кларк концентрации местный (отношение содержания МЭ в объекте к его содержанию в растении фонового участка); КРм – кларк рассеяния местный (отношение содержания МЭ в растении фонового участка к его содержанию в объекте); н.о. – не обнаружено (содержание МЭ ниже чувствительности анализа).

4.3. Влияние термальных вод на ландшафты долин нижних течений рек и ручьев

В пределах долин нижних течений рек и ручьев выходят различные по физико-химическим характеристикам термальные воды. Преимущественно, это субнейтральные, азотные, хлоридные (хлоридно-сульфатные, хлоридно-гидрокарбонатные) или сульфатные натриевые (кальциево-натриевые) термальные источники с температурой до 70–80 °С. Общие закономерности влияния этих термальных вод на ландшафты рассмотрены на примере Столбовских источников, расположенных в пойме и надпойменной террасе ручья Змеиный (периферия влк. Менделеева, о. Кунашир).

В ландшафте Столбовских термальных источников Т.М. Побережной [2010] были изучены два вертикальных почвенных разреза над выходами парогидротерм. Температура термальных источников на выходе около 80 °С, почва над ними прогрета до 40–60 °С.

Разрез №1 расположен непосредственно над основным выходом термальных вод (рис. 351). Отличительной особенностью этого разреза является выход гидротерм через небольшие грифоны прямо в почвенные горизонты на глубине 15–20 см. Стенки грифонов покрыты белоснежным налетом серы, образующейся в результате деятельности серобактерий [Заварзин, 2003], окисляющих газообразные соединения серы (H_2S , SO_2), поступающие по грифонам (рис. 352). Согласно данным Г.А. Заварзина [1973], эти серобактерии относятся к *Thiospirillum pistiense*, развитие которых начинается при температуре 80 °С, а при температуре ниже 70 °С они покрываются снежно-белым налетом серы.



Рис. 351. Основной выход Столбовских термальных вод.
Фото Т.М. Побережной, 2007 год.



Рис. 352. Разрез у Столбовских термальных источников. В средней части разреза видны участки с налетом светлой серы, темные участки - осаждение оксидов марганца на кислородном барьере.
Фото Т.М. Побережной, 2007 год.

Восходящие гидротермы помимо серосодержащих соединений несут к поверхности восстановленные формы железа и марганца, которые, попадая в близповерхностные кислородсодержащие рыхлые горизонты, окисляются и осаждаются в виде окислов и гидроокислов, окрашивая их в охристовые (Fe) и черные (Mn) цвета. Осаждение Fe происходит в слабоокислительной обстановке, а Mn – в более окислительной [Побережная, 2010].

Изученный разрез очень показателен с точки зрения геохимической оценки микроэлементного состава Столбовских термальных источников по их аномально высокому содержанию во вмещающих отложениях (рис. 353). В омарганцованном горизонте содержание Mn достигает 10% от массы образца, кроме него осаждаются Zn (до 1%), Y (до 160 мг/кг), Pb (до 80 мг/кг), P (до 1000 мг/кг), Cu (до 200 мг/кг), As (до 100 мг/кг), Sn (до 10 мг/кг), Cd (до 5 мг/кг). Совместно с Fe осаждаются As (до 600 мг/кг), Pb (до 100 мг/кг), Ba (до 1300 мг/кг), Mo (до 2 мг/кг), Zn (до 250 мг/кг), Sn (до 3 мг/кг). Гумусированный горизонт почвы над этим разрезом обогащен Mn (до 1%), Sn (до 13 мг/кг) и Ba (до 1300 мг/кг).

Над выходом термальных источников на прогревом и геохимически аномальном субстрате растет гортензия метельчатая *Hydrangea paniculatu Siebold*. В пробу на озоление и последующий анализ были отобраны ее ветки как физиологически активного растения, в котором накапливаются химические элементы [Надеин и др., 2004]. Для сравнения, на фоновом участке выше по склону был проведен отбор веток гортензии. Полученные данные показывают, что гортензия, произрастающая в ландшафтах термальных источников, обогащена (по сравнению с фоновым образцом) элементами, содержащимися в аномальных количествах в подстилающем субстрате, – P, Pb, Mn (рис. 354).

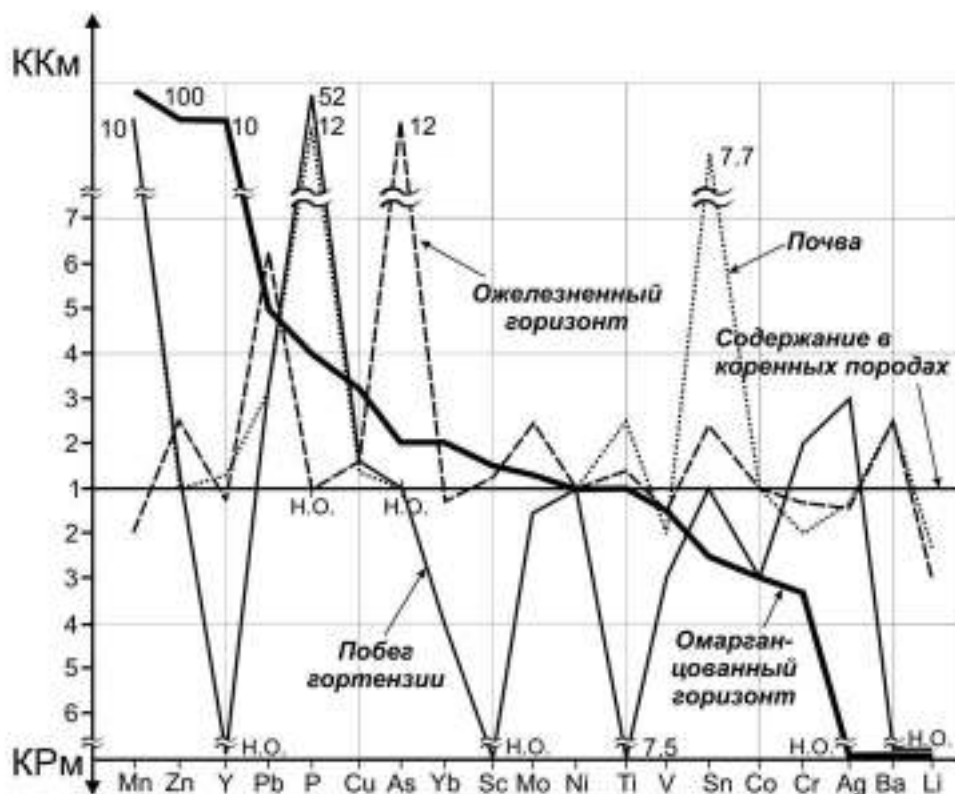


Рис. 353. Распределение микроэлементов в компонентах ландшафта Столбовских термальных источников (по данным Т.М. Побережной [2010]); ККм – кларк концентрации местный (отношение содержания МЭ в объекте к его содержанию в материнской горной породе); КРм - кларк рассеяния местный (отношение содержания МЭ в материнской горной породе к его содержанию в объекте); н.о. – не обнаружено (содержание МЭ ниже чувствительности анализа).

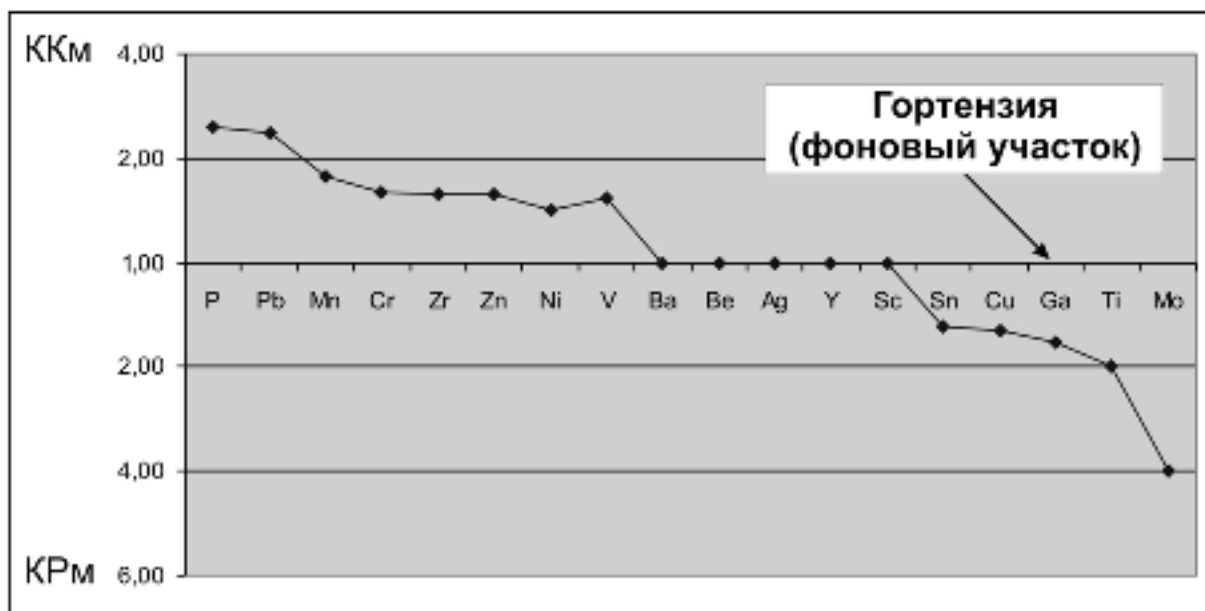


Рис. 354. Распределение микроэлементов в золе гортензии метельчатой у Столбовских термальных источников (по данным Т.М. Побережной [2010]). ККм – кларк концентрации местный (отношение содержания МЭ в объекте к его содержанию в растении фонового участка); КРм - кларк рассеяния местный (отношение содержания МЭ в растении фонового участка к его содержанию в объекте); н.о. – не обнаружено (содержание МЭ ниже чувствительности анализа).



Рис. 355. Столбовской термальный источник: в русле видны нити серобактерий, покрытые белым налетом серы. Фото Т.М. Побережной, 2007 год.

Не менее интересен в геохимическом отношении разрез №2, изученный Т.М. Побережной [2010] в нескольких метрах от первого разреза. Он расположен в месте выхода термального источника из уступа террасы. В небольшом ручейке источника видны нити серобактерий, покрытые белым налетом серы (рис. 355). Разрез вскрывает переувлажненный маломощный (около 20 см) почвенный профиль, без грифонов, равномерно окрашенный в серый цвет, с сильным запахом сероводорода. Окраска почвенных горизонтов и обломков породы, низкое содержание в них марганца, наличие свободного сероводорода свидетельствует о резко восстановительной среде. Аномально высокие концентрации микроэлементов в почвах позволяют говорить об условиях сероводородного геохимического барьера, на котором накапливаются Sn (до 50 мг/кг), Cr (до 130 мг/кг), Pb (до 110 мг/кг), Ni (до 70 мг/кг), Zn (до 400 мг/кг), P (до 3000 мг/кг), Mo (до 2 мг/кг), Cd (до 5 мг/кг) [Побережная, 2010].

Субнейтральные термы, разгружающиеся в нижних течениях рек и ручьев, мало влияют на видовой состав гидробионтов поверхностных водотоков. Химический состав и высокая температура термальных вод не становятся преградой для развития в ручьях фауны, например, по впадающим в ручей Змеиный термальным водам Столбовских источников идет на нерест лосось (рис. 356). У особей горбуши и кеты наблюдаются пораженные участки плавников и кожи, что связано, по-видимому, с термическими ожогами, полученными при прохождении через выходы гидротерм в русле ручья. В ручье также обнаружен полосатый дальневосточный бычок [Шедько, 1999], приспособившийся к жизни в воде с температурой 20-24 °С и устойчивый к кратковременному пребыванию в воде с температурой до 40 °С.



Рис. 356. Лосось на нересте в ручье Змеиный. Справа в ручей впадают термальные воды Столбовских источников. Фото автора, 2006 год.

Испарения с поверхности термальных источников и небольшие выходы низкотемпературного пара (до 50 °С около Столбовских источников) создают локальное потепление и увлажнение воздуха, что благоприятно для теплолюбивых растений. Нередко растения вплотную подходят к источникам, например, ветки гортензии нависают над парящими источниками, что приводит к некрозам на листьях растения [Еремин, Копанина, 2007]. Животный мир термопроявлений нижних долин рек и ручьев ничем не отличается от соседних ландшафтов. Часто на термальных источниках можно наблюдать бурого медведя, лисиц, грызунов, из птиц здесь можно встретить белоплечего орлана, филина, воронов и др.

Таким образом, выходы термальных вод в пределах нижних долин рек и ручьев оказывают некоторое влияние на все компоненты ландшафта, но, сравнительно с кислыми термами верхних и средних долин ручьев и рек, влияние субнейтральных терм на ландшафты менее «агрессивное» и негативное.

4.4. Влияние термальных вод на ландшафты побережий

В этот тип ландшафтов на Южных Курилах входят участки склонов и подножий морских террас, пляжей и экстрезий прибрежной зоны, в пределах которых имеются выходы различных по физико-химическим показателям термальных вод.

Субнейтральные термы источников Горячего Пляжа (влк. Менделеева),

Нескученских источников (влк. Руруй), Алехинских источников на периферии вулкана Головина оказывают незначительное влияние на компоненты ландшафтов. Здесь термальные воды и пар пробиваются из трещин на склонах морских террас или из-под отложений песчаных и галечниковых пляжей. Термальные воды образуют небольшие ручейки, в которых наблюдаются отложения кремнезема, серного осадка, окислов железа. Нередко в руслах этих ручейков и на скальных выступах, по которым стекают термальные воды, развиваются термофильные водоросли зеленого или буро-красного цвета. Впадающие в море ручейки не оказывают существенного влияния на химический состав морских вод на этих участках. Например, химический состав источников Горячего Пляжа схож с составом морских вод района, минерализация значительно меньше и дебит незначительный, поэтому они не смогут существенно влиять на состав морских вод даже в месте выхода. Выходы термальных вод в прибрежной полосе и в приливно-отливной зоне оказывают некоторое влияние на температуру морских вод, локально нагревая их на несколько градусов в местах выхода. Ни химический состав, ни температура этих термальных вод не оказывают влияния на наличие и разнообразие морских гидробионтов. В непосредственной близости от термальных источников Горячего Пляжа можно встретить множество морских ежей, моллюсков, морских звезд, в густых зарослях морской капусты водятся небольшие крабы. В период хода лососевых рыбаки выставляют сети в районе источников, в приливы к ним подходят косяки симы, горбуши, кеты.

Таким образом, термальные выходы побережий, независимо от физико-химических параметров вод, не оказывают существенного влияния на компоненты ландшафтов.

4.5. Влияние термальных вод на ландшафты прибрежных аккумулятивно-денудационных равнин

Ландшафты прибрежных аккумулятивно-денудационных равнин Южных Курил характерны для Рейдовских термальных источников (о. Итуруп). Местность в районе Рейдовских гидротерм представляет собой слабо всхолмленную равнину, источники разгружаются в долине ручья Минеральный, впадающего в оз. Рейдовое. Термальные воды выходят на поверхность через песчано-супесчаные аллювиальные отложения [Мархинин, Стратула, 1977], образуют котлы диаметром несколько метров и глубиной до 2 м. Вода в котлах глинистая, на дне отлагается глина мощностью до 0.5 м. Территория вокруг источников заболочена и окружена густыми зарослями осоки и бамбучника курильского. Множество следов бурых медведей указывают на то, что источники часто ими посещаются. Рейдовские термальные источники на Итурупе можно отнести к группе термальных вод со значительным влиянием на почвы и растительность. Влияние оказывается также на химический состав грунтовых и поверхностных вод, проявляется наличием в них представителей термофильной флоры. Влияние проявляется и на микрорельеф, т.к. образуются котлы термальных источников.

В целом, субнейтральные и слабощелочные термальные воды прибрежных аккумулятивно-денудационных равнин оказывают влияние практически на все компоненты ландшафта.

4.6. Влияние деятельности геотермальных электростанций на окружающие ландшафты

Разведка и использование парогидротермальных месторождений как у нас в стране, так и за рубежом, приводит к значительным изменениям окружающих ландшафтов, что детально описано в работе В.И. Кононова [1983].

Продолжительный период деятельности геотермальных электростанций на вулканах Менделеева (рис. 357) и Баранского (рис. 358) способствовал формированию особого типа антропогенного (техногенного) ландшафта парогидротермальных месторождений.

По масштабам влияния на окружающие природные ландшафты геотермальные электростанции явно выигрывают перед дизельными электростанциями, так как негативное влияние ГеоТЭС ограничено. При условии обратной закачки в недра отработанных парогидротерм (реинжекция) геотермальная энергетика признана одной из самой безопасной для окружающей среды. Однако, на Южных Курилах геотермальные электростанции работают без реинжекции, поэтому оказывают на ландшафты специфическое негативное воздействие. Общее воздействие геотермальной электростанции на окружающую среду рассмотрено на примере ГеоТЭС «Менделеевская». Прежде всего, при выбросе высокотемпературного пара в атмосферу резко увеличивается уровень шума. Водяная пыль, оседая на деревьях и травянистой растительности, покрывает окружающую территорию слоем светлых отложений кремнезема и солей, поэтому растительность вокруг ГеоТЭС погибает (рис. 359). В 2005 году погибшие деревья в районе ГеоТЭС «Менделеевская» были срублены (рис. 360, 361), часть из них была вывезена за пределы станции.



Рис. 357. ГеоТЭС «Менделеевская», энергоблок «Туман-2». Вулкан Менделеева, остров Кунашир.
Фото И.Н. Ельцова, 2011 год.



Рис. 358. Геотермальная электростанция на Океанском месторождении парогидротерм (влк. Баранского, о.Итуруп). Фото Т.И. Ньюшко, 2008 год.



Рис. 359. Гибель леса вокруг ГеоТЭС «Менделеевская». Фото В.Б. Гурьянова, 2000 год.



Рис. 360. Погибшие в районе ГеоТЭС «Менделеевская» деревья срубили перед приездом «экологической комиссии». Фото Г.А. Челнокова, 2005 год.



Рис. 361. Типичный техногенный ландшафт в районе ГеоТЭС «Менделеевская». Фото Г.А. Челнокова, 2005 год.

Сброс отработанной горячей воды с ГеоТЭС «Менделеевская» в ручей Докторский и в устье ручья Холодный приводит к изменению их температурного режима и химическому загрязнению вод. В местах сброса происходит значительное накопление кремнезема. Используемые на ГеоТЭС гидротермы имеют относительно высокую минерализацию (таблица 2), содержат большое количество солей, тяжелых металлов и элементов, вредных для здоровья человека, сельского хозяйства и рыболовства.

Таблица №2

Химический состав терм глубинной циркуляции месторождения «Горячий Пляж», ГеоТЭС «Менделеевская» (в мг/л).

Проба	Пароконденсат скв. №103	Гидротермы скв. №101	Гидротермы скв. №201
T °C	150	140	145
pH	5.8	7.7	6.4
Na ⁺	2.0	1950.0	1960.0
K ⁺	0.3	280.0	280.0
NH ₄ ⁺	2.5	1.2	1.4
Ca ²⁺	1.0	90.2	93.2
Mg ²⁺	-	4.3	12.2
Fe ²⁺	16.1	0.1	0.002
Fe ³⁺	7.0	0.11	12.6
Σ катионов	28.9	2325.9	2359.4
Cl ⁻	9.9	3407.0	3478.0
SO ₄ ²⁻	2.5	36.2	46.5
NO ₃ ⁻	0.05	0.05	0.05
NO ₂ ⁻	0.005	0.005	0.005
HCO ₃ ⁻	54.9	31.7	21.4
Σ анионов	67.3	3474.9	3545.9
SiO ₂	2.0	559.0	580.0
TDS	98.2	6359.81	6485.3

Для выяснения степени загрязнения отработанных на ГеоТЭС «Менделеевская» парогидротерм были отобраны пробы со скважин №103 (пароконденсат), №201, №201-№101 (смесь парогидротерм скважин) и пробы сбросовых вод в устье Холодного ручья на содержание микроэлементов. Результаты анализов показали (таблицы А.7, А.8, А.12 Приложения А), что содержание бора в сбрасываемых ГеоТЭС гидротермах выше максимальной нормы для питьевых вод в 1.5-2 раза (норма – до 20 мг/л). Содержание As в гидротермах (2.6-2.8 мг/л) значительно превышает допустимые нормы содержания его в воде (норма – до 0.05 мг/л), что может привести к отравлению гидробионтов в районе устья руч. Холодный у мыса Горячий.

Вокруг ГеоТЭС происходит также загрязнение воздуха отработанным паром, который содержит вредные для здоровья человека и животных газы: CO_2 , H_2S , CH_4 , H_2 и NH_3 .

ГеоТЭС «Океанская», расположенная на Старозаводском сольфатарном поле вулкана Баранского (о. Итуруп), в совокупности с газогидротермами сольфатарного поля оказывает существенное влияние на окружающие ландшафты. В 2012 г. в этом районе впервые были проведены исследования воздействия парогазовых выбросов с ГеоТЭС и естественных газогидротерм на природную среду при использовании лишайников [Ежкин, Жарков, 2013]. Лишайники являются наиболее надежными биоиндикаторами для оценки фоновое состояние окружающей среды благодаря своим физиологическим особенностям [Бязров, 2002; Скирина и др., 2010]. Условия, создаваемые на сольфатарных полях и при работе ГеоТЭС, довольно схожи с условиями в сильно загрязненных промышленных районах городской среды, где основными загрязняющими веществами являются соединения серы. Лишайниковые сообщества в таких местообитаниях имеют схожие проблемы адаптации. Известно, что сульфиты снижают фотосинтезирующую способность водорослевых клеток в лишайнике, при этом, каждый отдельный вид лишайника имеет различный уровень толерантности к этим веществам. Объектом исследований в районе ГеоТЭС «Океанская» послужили естественные биоиндикаторы – эпифитные лишайники, обитающие на стволах деревьев. Основные лесобразующие породы данного района – лиственница курильская и береза каменная, рябина смешанная в подлеске, травяной ярус представлен бамбучником курильским. В ходе исследований было заложено 18 площадок со всех сторон от ГеоТЭС на различном расстоянии от центра. На каждой площадке исследовано не менее 5 деревьев, учитывались все лишайники на стволах деревьев до 2 м, включая проективное покрытие, коэффициент частоты встречаемости, жизненное состояние и степень повреждения слоевищ. Также были выделены устойчивые и неустойчивые виды лишайников к данному типу загрязнения в окружающей среде, которые могут в дальнейшем быть использованы как виды-индикаторы для данного района.

Для каждой площадки был подсчитан индекс атмосферной чистоты (I.A.P.), разработанный Деслувером и Лебланком в 1968 г., характеризующий степень загрязнения и применяемый для установления градиента воздействия загрязнителей. На основе полученных данных по оценке состояния эпифитных лишайников было выделено 5 изотоксичных зон [Ежкин, Жарков, 2013], отражающих степень и масштабы воздействия деятельности геотермальной электростанции и сольфатарного поля на окружающую среду.

I – зона сильного загрязнения. Здесь доминируют наиболее устойчивые виды к данному воздействию: *Biatora vernalis*, *Graphis scripta*, *Parmelia fertilis*, *Parmelia saxatilis*, *Melanelia olivacea*, *Ramalina roesleri*. Общее проективное покрытие лишайников на стволах деревьев составляет не более 10-20%, слоевища лишайников часто со следами некроза и другими отклонениями развития. Границы этой зоны доходят до 280-320 м от источника загрязнения. В этой зоне отмечается довольно сильный запах серы.

II – зона среднего загрязнения. Здесь доминируют те же устойчивые виды, что и в зоне сильного загрязнения, и добавляется небольшое количество

умеренно устойчивых видов – *Buellia disciformis*, *Vulpicida pinastri*, *Lecanora allophana*, *Ochrolechia parella*, *Pertusaria pertusa*, *Hypogymnia physodes*, *Caloplaca flavorubescens*, *Ramalina roesleri*, *Anaptychia isidiata*, *Pertusaria sp.* и др. Общее проективное покрытие лишайников увеличивается в среднем до 40%, слоевища лишайников со следами некроза встречаются значительно реже. Границы этой зоны находятся в пределах 300-400 м от источника загрязнения. В этой зоне все еще отмечается явный запах серы.

III – зона умеренного загрязнения. Здесь уже встречаются чувствительные виды, характерные для лесного сообщества данного района – *Parmelia squarrosa*, *Bryocaulon pseudosatoanum*, *Hypogymnia sachalinensis*, *Hypogymnia subduplicata*, *Mycoblastus sanguinarius*, *Platismatia interrupta*, *Alectoria lata*, *Ochrolechia pallescens*, *Bryoria sp.*, *Parmelia adaugescens*, *Hypogymnia arcuata*, *Bryoria furcellata*, *Lopadium disciforme*, *Nephroma belum*, *Leptogium cyanescens*, *Collema flaccidum*, однако устойчивые и умеренно устойчивые виды все еще имеют высокий процент частоты встречаемости, общее проективное покрытие лишайников довольно высокое (30-60%), следы угнетения и некроза на лишайниках встречаются редко. Границы этой зоны находятся в пределах 400-500 м от источника загрязнения. Запах серы очень слабый.

IV – зона слабого загрязнения. В этой зоне доминируют чувствительные виды, общее проективное покрытие лишайников доходит до 80%. Могут встречаться следы угнетения на лишайниках. Устойчивые виды встречаются довольно редко. Границы этой зоны несколько смазаны и растянуты от 450 м до 1-2 км от геотермальной электростанции. Запах серы не чувствуется.

V – зона свободная от загрязнения. В этой зоне доминируют исключительно чувствительные виды, общее проективное покрытие лишайников очень часто достигает 100%. Следы угнетения на лишайниках не отмечены. Устойчивые виды практически не встречаются. Границы этой зоны проходят на расстоянии 1-2 км от источника загрязнения. Запах серы не чувствуется.

Таким образом, значительное воздействие на окружающую среду по суммарным показателям эпифитных лишайников распространяется на расстояние 300-400 м от источника загрязнения, следы влияния полностью пропадают примерно на расстоянии 1-2 км. С приближением к источнику загрязнения и усилением интенсивности воздействия происходит более широкое распространение некрозов и других повреждений слоевищ лишайников, а также заселение наиболее устойчивых видов и отсутствие лишайников из чувствительных групп, уменьшается процент проективного покрытия лишайников на стволах и ветвях деревьев [Ежкин, Жарков, 2013].

Выводы:

1. Различные типы термальных вод по-разному оказывают влияние на окружающие ландшафты. Условно, по характеру и степени влияния, термы можно разделить на три группы. Кислые сульфатные термы и сольфатары оказывают значительное влияние на все без исключения компоненты ландшафтов. Нейтральные хлоридные натриевые термы периферии вулканов незначительно влияют на окружающие ландшафты, а в прибрежной зоне практически не оказывают влияния.

2. Устаревшие методы использования парогидротерм в энергетике, которые до сих пор используются на Южных Курильских островах, крайне неблагоприятно влияют на окружающие ландшафты, изменяя основные экологические факторы: температурные условия, влажность, содержание токсичных газов и т.д. В результате эксплуатации наблюдается гибель и угнетение растительности в окрестностях ГеоТЭС, изменение температурного режима ручьев и т.д. Для рационального и более безопасного для окружающей среды использования парогидротерм необходимо производить обратную закачку отработанных парогидротерм или создавать систему бассейнов-отстойников. Предотвратить шумовое загрязнение, загрязнение воздуха и окружающей территории от выбросов пара пока не представляется возможным, для этого необходимо искать современные инженерные решения при строительстве и эксплуатации ГеоТЭС.

Глава 5

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕРМАЛЬНЫХ ВОД В ХОЗЯЙСТВЕ РЕГИОНА

Социально-экономическое развитие Курильских островов – одно из приоритетных направлений в стратегии развития Сахалинской области, поддерживаемое на федеральном уровне. В 1993 году была принята Федеральная целевая программа «Социально-экономическое развитие Курильских островов Сахалинской области (1994-2005 годы)», одной из основных задач которой являлось ускоренное создания на островах собственной энергетической базы на основе местных геотермальных месторождений в каждом административном районе и снижение доли энергетических затрат в стоимости электроэнергии. В рамках ФЦП были введены в действие опытно-промышленная геотермальная электростанция «Омега-500» на вулкане Менделеева (о. Кунашир) мощностью 500 кВт, система геотермального теплоснабжения в пос. Горячий Пляж, которая состояла из скважины глубиной 450 м, геотермальной станции теплоснабжения мощностью 17 Гкал, магистральных тепловых сетей протяженностью 2 км и трубопровода пароводяной смеси протяженностью 0.2 км. Большой объем работ был выполнен на строительстве геотермальной электростанции «Океанская» (влк. Баранского, о. Итуруп). На геотермальное месторождение доставлены 2 энергоблока «Туман-2» мощностью 1.7 МВт каждый, оборудование и материалы для прокладки кабельной линии электропередачи до г. Курильск. В целом, выполнение этой ФЦП можно оценить как неудовлетворительное: из 153 запланированных мероприятий реализовано лишь 40.

В 2006 году была принята Федеральная целевая программа «Социально-экономическое развитие Курильских островов (Сахалинская область) на 2007-2015 годы». В эту программу вошли как мероприятия, не выполненные в предыдущей программе, так и новые мероприятия, направленные на социально-экономическое развитие региона. Одной из главных задач по-прежнему является геотермальная энергетика, развитие которой способно решить проблему энергообеспечения Курильских островов. Также в программе уделено внимание развитию туристского комплекса, связанного, в том числе, с использованием термальных вод региона. Отмечено, что туристский комплекс при условии своевременного решения вопросов безопасного транспортного сообщения, сооружения необходимой инженерной и туристской инфраструктуры может стать экономически значимым сектором экономики островов. Одной из задач в программе стоит проведение комплексных исследований минерально-сырьевой базы Курильских островов, в том числе, связанных с современным вулканизмом, что позволит подготовить технико-экономические обоснования для промышленной разработки выявленных месторождений. Стратегический интерес для экономики региона, по мнению разработчиков программы, представляет наличие на Курильских островах рения

(влк. Кудрявый), золота, серебра, ильменитовых песков, самородной серы, торфа и разнообразных строительных материалов. К сожалению, эта программа также оказалась малоэффективной для социально-экономического развития Курильских островов, несмотря на то, что расходы на реализацию программы только за 2007-2012 гг. составили 27.9 млрд. рублей. Проведенный Счетной палатой РФ в начале 2014 г. аудит эффективности использования финансовых средств, направленных в 2007-2012 годах на реализацию мероприятий ФЦП, показал, что стратегические задачи программы не были решены (www.ach.gov.ru). На 1 октября 2013 года было завершено только 21 из 38 мероприятий программы. В эксплуатацию сдано 32 объекта. При этом качество отдельных готовых объектов не соответствует требованиям проектной документации и другим нормативным документам.

Ниже, при рассмотрении способов использования продуктов сольфатарной и гидротермальной деятельности на Южных Курилах, будут описаны некоторые объекты и мероприятия, включенные в упомянутые Федеральные целевые программы.

5.1. Применение гидротерм в промышленности и сельском хозяйстве

В мировой практике термальные воды давно используются для выработки электроэнергии, теплофикации жилых и производственных комплексов и т.п. Передовыми странами в этом направлении являются Исландия, США, Япония, Италия, Новая Зеландия и др. В России использование геотермальной энергии началось в 1960-х гг. на Камчатке. На Курильских островах, несмотря на большой потенциал, работы по комплексному использованию гидротерм и продуктов сольфатарно-гидротермальной деятельности развиваются сравнительно слабо.

5.1.1. Использование парогидротерм в электроэнергетике и теплофикации

В мире промышленное освоение геотермальных ресурсов началось после создания и пуска в Италии в 1916 г. геотермальной электростанции мощностью 7.5 МВт с тремя турбинами фирмы «Франко Този». Однако широкое промышленное строительство геотермальных электростанций было развернуто только в 1960-х гг. в США, Италии, Новой Зеландии, Японии, Исландии, Филиппинах, Мексике, России и других странах. К 2005 году 71 страна мира использует геотермальные ресурсы: 33% - для обеспечения работы тепловых насосов, 29% - в плавательных бассейнах, 20% - для обогрева помещений. Общая установленная мощность геотермальных электростанций в 2005 году составляла 8912 МВт. При современном состоянии техники и технологиях разработки геотермальных месторождений и использования природных теплоносителей наиболее перспективными в России являются районы самоизливающихся вод с температурой более 50 °С и минерализацией до 10 г/л (Предкавказье, п-ова Камчатка, Чукотка, Приморье, о. Сахалин) и парогидротермы (п-ов Камчатка и Курильские о-ва). На территории Российской Федерации разведано 62 месторождения геотермальных вод с общим запасом 298 тыс. м³/сут, 4

месторождения парогидротерм на Камчатке и Курильских островах с запасами пароводяной смеси 56 тыс. т/сут. [Сугробов и др., 2005].

Рассматриваемые в работе месторождения парогидротерм Горячий Пляж (о. Кунашир) и Океанское (о. Итуруп) являются наиболее перспективными на Южных Курильских островах. В целом, прогнозные запасы парогидротерм на островах Итуруп и Кунашир намного превышают существующую потребность: для о. Кунашир они составляют 52 МВт, для о. Итуруп – 15 МВт. Геотермальная тепловая электростанция (ГеоТЭС) острова Кунашир является первой тепловой электростанцией в Сахалинской области, использующей пар глубинных термальных вод. ГеоТЭС расположена у юго-восточного подножия вулкана Менделеева. Прогнозные запасы пароводяной смеси по месторождению Горячий Пляж составляют 283 кг/сек, что эквивалентно запасам тепла 165 тыс. ккал/сек. По размерности месторождение является крупным. В его пределах выделено 7 участков. С целью строительства в районе первой очереди ГеоТЭС мощностью 15-20 МВт, в 1993 г. лицензирован участок «Менделеевский», а в 2000 г. выделен участок «Менделеевский-1» для ЗАО «Энергия Южно-Курильская». С 1993 года здесь эксплуатируется скважина №101 и возведен модульный энергоблок ГеоТЭС «Омега-500» мощностью 0.5 МВт. Энергоблок разработан в ОАО «Калужский турбинный завод» (www.aoaktz.ru), в нем используется противодавленческая паровая турбина. Применение этих турбин в геотермальной энергетике является простейшим способом получения электроэнергии. Общая схема работы таких энергоблоков следующая. Поступающая из геотермального резервуара по скважине пароводяная смесь направляется в сепаратор, где происходит разделение на жидкую (вода с растворенными солями и газами) и газовую (водяной пар и пластовые неконденсирующиеся газы) фазы. Затем парогазовая смесь поступает на противодавленческую паровую турбину с генератором, отработанный пар с неконденсирующимися газами сбрасывается в атмосферу, а отсепарированная вода после возможного использования для теплоснабжения возвращается в геотермальный резервуар по нагнетательной (реинжекционной) скважине. При низком солесодержании возможен сброс отработанной воды в открытые водоемы. В случае с ГеоТЭС на месторождении Горячий Пляж, отработанные воды сбрасываются в руч. Докторский, руч. Холодный, и в Тихий океан в районе котельной №5 пгт. Южно-Курильск.

Одновременно с использованием энергоблока «Омега-500» велось строительство модульного энергоблока ГеоТЭС «Туман-2», который был введен в эксплуатацию в 2002 г. Энергоблок с противодавленческой паровой турбиной, разработанный в ОАО «Калужский турбинный завод», имеет проектную мощность 1.7 МВт. ГеоТЭС «Туман-2» использует парогидротермы скважин №201, №202, №101 и №103 (рис. 362) и является основным поставщиком электроэнергии и горячей воды для теплоснабжения. Выработанная электроэнергия по ЛЭП мощностью 10 кВт передается в пос. Горячий Пляж, а с 2006 года по ЛЭП мощностью 35 кВт подается в пгт. Южно-Курильск. С 2008 года по трубопроводу отработанная пароводяная смесь поступает в котельную №5 в пгт. Южно-Курильск. В последнее время станция вырабатывает менее 3.6 МВт. В 2013 году началась модернизация станции, в результате которой она будет работать в бинарном цикле (www.sakhalin.info/search/85863). На новой станции парогидротермы будут нагревать жидкий углеводород пентан, температура кипения которого составляет всего +36.07 °С. Его пар и будет вращать

турбины генератора, а потом пентан охлаждается до жидкого состояния. Процесс кипения и охлаждения будет происходить по замкнутому циклу без какого-либо контакта с окружающей средой.

По проекту, модернизация объекта при имеющемся ресурсе скважин позволит нарастить мощность до 7.4 МВт. В августе 2013 г. из Израиля было доставлено оборудование бинарной энергетической установки для геотермальной станции «Менделеевская». Как уверял заказчик работ, перевод станции на бинарный цикл идет с опережением графика и станция может быть сдана в первом квартале 2014 года (www.sakhalin.info/search/85863). По факту, в конце февраля 2014 года работы по возведению объекта были на начальной стадии (рис. 363), в середине 2014 г. анонсировано (www.sakhalin.info/search/93972), что все работы завершатся в 2014 году.



Рис. 362. Скважина №103 на месторождении парогидротерм Горячий Пляж.
Фото И.М. Климанцова, 2014 год.



Рис. 363. Строительство на ГеоТЭС «Менделеевская». Фото И.М. Климанцова, февраль 2014 года.

Если говорить об экономической выгоде использования геотермальной энергетики для нужд местного населения и промышленности, то она во всем мире, безусловно, имеет место. На Южных Курилах ситуация с геотермальной энергетикой обратная. Согласно расчетам разработчиков ФЦП «Социально-экономическое развитие Курильских островов (Сахалинская область) на 2007-2015 годы», с введением ГеоТЭС «Менделеевская» в эксплуатацию экономия угля должна составить 7-10 тыс. тонн в год, а дизельного топлива – более 4 тыс. тонн в год. При комплексном использовании геотермальной энергии для отопления и электроснабжения тариф на электроэнергию должен составить около 1.7 рубля за 1 кВт/ч, на тепло – 400 рублей за 1 Гкал. К концу 2015 г. результатом развития источников нетрадиционной энергетики на Курильских островах, на что планируется потратить 1146.66 млн. руб., должен стать отказ от дорогостоящей электроэнергии, вырабатываемой дизель-генераторами. По факту, отпускной тариф за электроэнергию для местного населения, после череды практически ежегодных изменений, составил с 1 июля 2014 года 3.51 руб. за кВт/ч. Такой тариф утвержден для всех жителей Сахалинской области, вне зависимости от типа используемой энергетики, поэтому об экономической эффективности использования «бесплатного» энергоносителя на ГеоТЭС «Менделеевская» в современных реалиях говорить не приходится.

При продуманном и рациональном подходе месторождение парогидротерм Горячий Пляж имеет большие перспективы, что обусловлено возможностью его комплексного использования: для выработки электроэнергии, теплофикации, для получения поваренной соли путем выпаривания морской воды, организации тепличного хозяйства и т.п. В 1997 г. на участок недр «Источник», выделенный из площади горного отвода участка «Прибрежный» (юго-западнее м. Горячий), была выдана лицензия ЗАО «Источник» с целью добычи пароводяной смеси для теплоснабжения цеха по изготовлению пемзоблоков. Запасы пароводяной смеси не утверждались и по расчетной производительности скважин составляли около 20 кг/с. Цех непродолжительное время работал, из местного сырья производились пемзоблоки. В начале 2000-х гг. пар со скважин применялся для сушки в цехе небольшого количества морепродуктов, на сегодняшний день скважины и цех не функционируют.

Гидрогеотермический потенциал гидротермальной системы вулкана Баранского (месторождение Океанское, о. Итуруп) значительно выше, чем у вулкана Менделеева. Согласно геологическим и гидрогеологическим данным, гидротермальная система вулкана Баранского характеризуется высокими температурами теплоносителя (300-320 °С на глубине 1000-1100 м, а в отдельных блоках – 200 °С на глубине 50 м), большим градиентом температур (до 60 °С/100 м) и значительным выносом тепла на ограниченной площади двух участков: до 71000 ккал/с суммарной мощности. Гидротермальная система разбурена ПГО «Сахалингеология», изучена широким комплексом методов производственными и научными организациями. Наиболее перспективный участок «Кипящий» Океанского месторождения характеризуется естественной видимой разгрузкой – 1800 ккал/с (26.9 кг/с насыщенного пара), общими прогнозными и разведанными эксплуатационными запасами по пару – 260 кг/с при площади участка 14.7 км² и коэффициентом увеличения мощности при разведке – 9.6. Модуль эксплуатационных запасов пара – 17.7 кг/с на 1 км² [Таран и др., 1991]. Месторождение оцени-

вается как двухфазное вододоминирующее с пароконденсатной зоной. К этому же типу относятся такие известные разведанные месторождения как Мутновское, Ахуачапан (Сальвадор), Лос-Азуфрес (Мексика), Крафла (Исландия), Бродленз (Новая Зеландия) и другие, имеющие температуру в резервуаре 200-350 °С, производительность скважин по пару – 3.5-3.8 кг/с, энтальпию – 250-475 ккал/кг, модуль эксплуатационных запасов 12.6-29.4 кг/с 1 км² [Отман, 1989].

В середине 1990-х гг. на базе Океанского месторождения было намечено строительство ГеоТЭС мощностью 32 МВт, завезены два энергоблока «Туман-2». К 2005 году до месторождения Океанское была сделана грунтовая дорога, а в июле 2006 года ООО «Электросахмонтаж» приступило к строительству первой очереди ГеоТЭС. Согласно ФЦП на 2007-2015 годы, введение объекта в эксплуатацию позволит сэкономить в год около 4 тыс. тонн дизельного топлива, себестоимость электроэнергии снизится в 3 раза, повысится качество и надежность электроснабжения. К началу 2007 года ГеоТЭС была построена. ГеоТЭС «Океанская», расположенная от г. Курильск более чем в 20 км, ориентирована только на выработку электроэнергии. Тариф за электроэнергию для жителей о. Итуруп, как и по всей Сахалинской области, составил в 2014 году 3.51 руб. за кВт/ч.

Для ГеоТЭС «Океанская» характерны те же технические проблемы, что и для ГеоТЭС «Менделеевская». Геотермальная электростанция работала с перебоями, часто происходили поломки турбин энергоблоков, а с января 2014 года станция окончательно перестала действовать, многих работников уволили. На территории ГеоТЭС планируется построить станцию бинарного цикла, использование имеющихся здесь скважин позволит увеличить мощность новой станции до 14.8 МВт. В 2013 году этот проект уже прошел государственную строительную экспертизу, на 2015 год намечены строительные работы.

Какое-либо другое промышленное использование термальных вод на о. Итуруп не намечается, несмотря на возможность организации на базе гидротерм тепличного хозяйства в г. Курильск, пос. Рейдово, пос. Горячие Ключи. Также можно обеспечить теплом населенные пункты, используя глубинные высокотемпературные термы. На берегу оз. Лебедино, в нескольких километрах от г. Курильск, была пробурена самая глубокая скважина на Южных Курильских островах. Скважина №50 глубиной около 1600 м выводила парогазовую смесь с температурой около 130 °С, но из-за плохой обсадки в ствол скважины проникали холодные грунтовые воды и ее законсервировали. В перспективе этот участок можно разбурить и обеспечить горячей водой районный центр.

5.1.2. Перспективы извлечения химических элементов из продуктов сольфатарно-гидротермальной деятельности вулканов

В термальных водах содержатся более 20 химических элементов, извлечение которых могло бы иметь промышленное значение. Извлечение химических элементов и их соединений чаще всего проводится дополнительно к получению тепловой и электрической энергии и способствует, тем самым, повышению эффективности использования теплоносителя. Известно множество примеров

использования глубинных или отработанных термальных вод для извлечения ценных компонентов. В Исландии, например, с 1977 г. на п-ве Рейкьянес ведется производство NaCl. В Италии (месторождение Лардерелло), Турции и других странах известны работы по производству борной кислоты, йода и других элементов. Значительных успехов в извлечении и использовании геотермального кремнезема достигли Новая Зеландия, Исландии, США, Мексика. Уникальными возможностями по извлечению элементов обладает геотермальное месторождение Солтон-Си (США). Из этих высокоминерализованных (более 400 г/л) гидротерм можно в больших количествах добывать калий, литий, серебро, золото, медь и многие другие элементы [Извлечение..., 2005].

Гидротермальные воды месторождений парогидротерм на Южных Курилах также содержат целый ряд элементов, которые возможно извлекать для нужд промышленности. А.Ф. Прядко [Курильские..., 2004] указывал на возможность добычи из отработанных парогидротерм месторождения Горячий Пляж калия, рубидия, цезия. Для этого А.Ф. Прядко предлагал использовать модульный центробежный экстрактор в виде набираемых батарей из ступеней типа ЭЦ 320 или ЭЦ 420, выпускаемый НПО «НИКМИТ» (г. Москва), доля извлечения компонентов в котором составляет 95%. Проведенные автором в 2003 году работы на ГеоТЭС «Менделеевская» (по заказу ЗАО «Энергия Южно-Курильская») показали, что для извлечения этих и других элементов наиболее рентабельны не отработанные на ГеоТЭС парогидротермы, а морские воды района, так как в них концентрации элементов на порядок выше. Интересующие предприятие элементы, такие как золото, рений, серебро, содержатся в незначительных количествах (таблицы А.7, А.8, А.12 Приложения А). Из таблицы 3 видно, что парогидротермы и сбрасываемые с ГеоТЭС «Менделеевская» отработанные воды по содержанию в них элементов не относятся ни к одному из типов промышленных вод. Извлечение этих и многих других элементов из парогидротерм, в целом, нерентабельно, и в ближайшей перспективе не планируется.

Таблица №3

Концентрации элементов, представляющих промышленный интерес, в парогидротермах ГеоТЭС «Менделеевская» и промышленных водах (в мкг/л).

	скв. №103	сброс с ГеоТЭС	скв. №101-201	скв. №201	минимальная концентрация элементов в промышленных водах [Курбанов, 2001]
Li	2.1	1843.0	1947.0	1882.0	10000.0
B	11553.0	37745.0	38958.0	40303.0	65000.0
Mg	89.0	260.0	220.0	170.0	1000000.0
K	441.0	261819.0	278801.0	274013.0	350000.0
Ge	0.1	13.3	12.9	12.3	50.0
Br	0.1	8716.0	8736.0	8766.0	250000.0
Rb	1.1	669.0	647.0	667.0	3000.0
Cs	0.27	193.0	176.0	185.0	500.0

Одним из ценных продуктов сольфатарно-гидротермальной деятельности вулканов является сера. В первой половине XX века, во времена правления Японии на Курильских островах, на Южных и Северных Курилах велась интенсивная добыча серы для нужд химической промышленности. На Кунашире наибольшие запасы серы находятся в кальдере вулкана Головнина, на сольфатарных полях вулканов Менделеева и Руруй. В кальдере влк. Головнина японцами была подведена грунтовая дорога, искусственной протокой понизили уровень Кипящего озера для более удобной добычи серосодержащих пород и обнажившихся серных илов, был построен мини-завод по переработке серосодержащих пород в серу. В настоящее время районы гидротермальных систем вулканов Головнина и Руруй на Кунашире являются природоохранной территорией заповедника «Курильский», поэтому использование гидротерм этих вулканов в каких-либо хозяйственных целях запрещено.

Наиболее перспективными для добычи серы на острове Кунашир в настоящее время являются сольфатарные поля влк. Менделеева. Отложения серы имеются на трех сольфатарных полях: Юго-Восточном, Северо-Восточном и Северо-Западном. Сера на Юго-Восточном сольфатарном поле раньше добывалась японцами. Общие запасы серы на сольфатарном поле определены разведками 1948 г. около 9000 тонн, и это без учета серы, удаляющейся в атмосферу сольфатарами. Значительные серные залежи обнаружены на Северо-Восточном сольфатарном поле, но наиболее богатые серой участки поля уже выработаны японцами. Оставшиеся запасы серы разведкой определены в количестве более 8000 тонн [Власов, 1971]. Здесь же обнаружены небольшие запасы киновари, селена [Лебедев и др., 1977; Лебедев, 1988]. Запасы серы на Северо-Западном сольфатарном поле не менее 10000 тонн. Кроме этого, при постройке несложных конденсаторов сольфатарных газов только с одной крупной сольфатары можно получить около 3000 тонн серы в год [Власов, 1971].

На Итуруп японцами велись разработки серы на вулкане Мачеха, сюда от тихоокеанского побережья была подведена дорога и проложена небольшая узкоколейная железная дорога. На вулкане Кудрявый также разрабатывались участки с отложениями серы, с вершинных фумарольных полей вулкана была оборудована канатная дорога. В советский период на Итуруп велась оценка запасов серы на месторождении Новое [Власов, 1971], обнаруженном в 1948 г. Н.И. Массеровым на охотском склоне вулканического хребта Богатырь. На сегодняшний день, по всей видимости, проблема добычи серы не актуальна, и возобновление этих работ не намечается.

В тоже время существуют идеи по добыче рения на вулкане Кудрявый, в парогазовых выходах которого обнаружен этот элемент. Способы извлечения рения из газа были запатентованы (www.findpatent.ru), для более «эффективного» извлечения предлагается на вершине влк. Кудрявый построить купол размером 800-900 м². По информации Г.С. Штейнберга, активно распространяемой в сети Интернет, парогазовыми струями влк. Кудрявый ежегодно выбрасывается порядка 36,7 тонн рения. В тоже время, вся мировая промышленность добывает ежегодно не больше 40 тонн рения, а цена одного килограмма металла колеблется в районе от 1 до 4 тысяч долларов. По словам Г.С. Штейнберга (www.mk.ru) «все технологические трудности по извлечению рения преодолимы, а финансовые риски незначительны: проект потребует инвестиций в

20 миллионов долларов в течение нескольких лет и окупится уже через два года после выхода проекта на заданную мощность».

В реальности, экономического эффекта от извлечения рения может не получиться: по многолетним данным ученых [Чаплыгин, 2009] фумарольными газами вулкана Кудрявый в атмосферу выносятся всего 30-60 кг рения, что в сотни раз меньше заявленных Г.С. Штейнбергом значений. При максимальной цене рения на бирже металлов (в 2014 г. – около 1650 \$ за кг) и при условии максимально возможной добычи его из фумарольных газов (60 кг), несложно подсчитать «доходы» такого мероприятия. Несмотря на очевидную экономическую нецелесообразность проекта по извлечению рения, эта тема постоянно поднимается в СМИ и сети Интернет, поддерживается чиновниками на федеральном и региональном уровне. Многолетнее настойчивое лоббирование узкой группой лиц этого проекта привело к включению его в Федеральную целевую программу по социально-экономическому развитию Курильских островов на 2016-2025 гг.: предполагается, что на создание производства по выпуску рениевого, индиевого и германиевого концентратов из газов на вулкане Кудрявый в рамках ФЦП в 2020 году будет вложено 200 млн. руб., а в 2021-2022 гг. – 1900 млн. рублей (www.regnum.ru/news/1881255).

На влк. Кудрявый, по мнению автора, необходимо провести полномасштабную комплексную оценку выноса ценных элементов фумарольными газами с привлечением авторитетных отечественных и зарубежных специалистов в этой области наук. Полученные разными методами и в разных аналитических лабораториях результаты коллегиально обобщить и сделать выводы о возможности и экономической эффективности извлечения элементов из газов. Затраты на такие исследования составят всего несколько миллионов рублей, что несоизмеримо мало с теми убытками, которые может понести государство при финансировании авантюрного проекта по добычи рения на влк. Кудрявый.

Вулкан Кудрявый с его высокотемпературными фумарольными полями – уникальный природный объект, поэтому целесообразно придать ему статус геологического памятника природы регионального или федерального значения. Несмотря на труднодоступность, он может стать одним из ключевых туристских объектов на Южных Курилах, особенно при развитии малой авиации на Итуруп. Примером развития туризма на труднодоступных объектах в нашей стране может служить Долина Гейзеров на Камчатке, в которую ежегодно прилетают тысячи российских и зарубежных туристов. При относительно небольших государственных вложениях в инфраструктуру туристского объекта «Вулкан Кудрявый» можно в короткие сроки окупить все затраты. Развитие туризма привлечет в регион дополнительные частные инвестиции, будет способствовать улучшению инфраструктуры, создаст новые рабочие места для местных жителей.

5.2. Перспективы развития рекреации и туризма на базе термальных проявлений

Рекреационные ресурсы Южных Курил довольно разнообразны. Южные Курильские острова для туристов интересны тем, что на малой площади сосредоточено множество природных достопримечательностей: вулканы,

термальные источники, водопады, береговые скалы и т.д. К природным рекреационным ресурсам исследуемого района можно отнести следующие виды: геологические ресурсы (выходы магматических пород, месторождения полезных ископаемых и пр.), геоморфологические (вулканогенный рельеф), климатические ресурсы (уникальный морской климат), гидрогеологические рекреационные ресурсы (внутрикальдерные озера, термальные источники, минеральные воды, водопады, лечебные грязи и пр.), биологические ресурсы (уникальные вулканогенные почвы, эндемики флоры Южных Курил и т.д.).

Туризм – сложный вид человеческой деятельности, охватывающий различные сферы жизни общества и его экономики. Без планирования он может вызвать неожиданные и нежелательные воздействия на природу и ее компоненты. Большой ущерб природным ландшафтам наносит неорганизованные посещения «дикими» туристами наиболее привлекательных и доступных районов. Эта проблема особенно остро стоит на Курилах, так как зачастую многие районы кроме «диких» туристов никем не посещаются.

При развитии рекреации и туризма на базе термальных проявлений Южных Курил можно выделить несколько направлений (видов):

- 1) лечебно-оздоровительный туризм;
- 2) спортивно-экстремальный туризм;
- 3) экологический туризм;
- 4) научный туризм.

В настоящее время на островах туризм как массовый, так и индивидуальный, практически не развит. Это связано с несколькими основными причинами [Жарков, 2013в]: 1) низкая транспортная доступность островов; 2) высокие транспортные тарифы; 3) острова относятся к пограничной зоне, въезд в которую возможен только по пропускам; 4) неразвитая туристская инфраструктура: недостаток комфортабельного транспорта, неудовлетворительное состояние дорог, недостаточное количество оборудованных мест отдыха на туристских маршрутах, небольшое количество гостиниц и высокая стоимость проживания; 5) не соответствующая требованиям и ожиданиям туристов квалификация персонала сферы туризма и гостеприимства, недостаточный уровень развития сферы дополнительных услуг; 6) частные инвестиции в этот сектор экономики практически отсутствуют, а государственная поддержка носит символический характер; 7) слабая маркетинговая политика по продвижению турпродукта на российский и международный туристские рынки.

Решить проблемы с инфраструктурой должна была Федеральная целевая программа «Социально-экономическое развитие Курильских островов (Сахалинская область) на 2007-2015 годы». В рамках ФЦП на строительство туристской инфраструктуры, гостиничных комплексов и лечебных комплексов с использованием бальнеологических ресурсов планировалось привлечь более 600 млн. рублей из внебюджетных источников. Срок ввода этих объектов должен был быть 2011 год, но даже к 2014 г. ни одно из заявленных мероприятий не состоялось. В этой программе также предусмотрено решение проблем с транспортной доступностью. За годы реализации программы на о. Итуруп и о. Кунашир были построены причальные комплексы (рис. 364, 365), прошла реконструкция аэропорта «Менделеево» и строительство нового аэропорта «Итуруп» в районе г. Курильск.



Рис. 364. Строительство причального комплекса на о. Кунашир. Фото И.А. Неведомской, 2010 год.



Рис. 365. Причальный комплекс в портовом пункте Китовый. Фото С.Б. Бортниковой, 2012 год.

Кроме теплохода «Игорь Фархутдинов» (рис. 366) на регулярные рейсы между островом Сахалин и Южными Курилами вышел теплоход «Поларис» (рис. 367), купленный из средств областного бюджета для ЗАО «Морская компания Сахалин – Курилы».



Рис. 366. Теплоход «Игорь Фархутдинов» в бухте Южно-Курильская, о. Кунашир.
Фото И.Н. Ельцова, 2011 год.



Рис. 367. Теплоход «Поларис». Фото с www.citysakh.ru.

Развитие рекреационно-туристской деятельности на Южных Курилах обозначено также в региональных программах: Долгосрочная целевая программа «Развитие внутреннего и въездного туризма в Сахалинской области на 2013-2018 годы» и Подпрограмма государственной программы Сахалинской области «Развитие физической культуры, спорта, туризма и повышение эффективности молодежной политики в Сахалинской области на 2014-2020 годы». В списке мероприятий этих программ значится благоустройство водолечебницы «Кислый Ключ» (о. Кунашир), строительство туристского комплекса в районе Рейдовских термальных источников (о. Итуруп), оборудование экологических троп на островах.

Ниже рассмотрим, как в настоящее время в регионе развиты виды туризма и каковы перспективы их развития в ближайшем будущем.

5.2.1. Перспективы развития лечебно-оздоровительного туризма

Для развития санаторно-курортного лечения и стационарного круглогодичного отдыха можно использовать термальные источники и территории вблизи них. Лечебно-оздоровительный туризм должен включать в себя отдых в санаториях и профилакториях, получение лечебно-оздоровительных процедур с использованием термальных вод и грязей. Для летнего периода должны быть разработаны маршруты здоровья, кратковременные экскурсии и оздоровительные походы с элементами отдыха на источниках [Природные..., 2003].

На Южных Курилах в настоящее время работает только одна водолечебница «Кислый Ключ» в пос. Горячий Пляж (о. Кунашир). Мероприятия по ее реконструкции и развитию включены в Долгосрочную целевую программу «Развитие внутреннего и въездного туризма в Сахалинской области на 2013-2018 годы». Программой предлагается произвести обустройство инфраструктуры туристско-бальнеологического комплекса, основным кластером которого станет водолечебница. В результате первого этапа мероприятий проведен ремонт корпуса водолечебницы, осуществлен демонтаж старой кафельной плитки в бассейне и ванночках и выполнена укладка новой кафельной плитки, произведено строительство тротуаров, раздевалок, проведено наружное освещение и ограждение территории (рис. 368-373). Всего на реализацию этих мероприятий планируется направить в 2014-2018 годах 39.6 млн. рублей. Кроме этого, будет разработана проектно-сметная документация на выполнение работ по строительству объездной дороги (от 9 км автодороги Южно-Курильск - Головинино) и линии электропередачи до водолечебницы «Кислый Ключ». В настоящее время единственная дорога до водолечебницы проходит через территорию воинской части, въезд на которую осуществляется строго по пропускам. Действующее положение создает трудности для местных жителей и российских туристов, а заезд туристов из других стран делает практически невозможным. Программой предусмотрено строительство объездной дороги со щебеночным покрытием, мостового перехода через реку Лесная и линии электропередачи для снабжения объектов туристской инфраструктуры. Постановлением администрации МО «Южно-Курильский городской округ» от 27.09.2011 г. № 530 согласовано место размещения для проектирования и строительства объекта, утверждены акт выбора земельного участка площадью 27.43 га и план границ. На реализацию мероприятия планируется направить в 2015 году 15 млн. рублей.



Рис. 368. Крытый павильон и открытый купальный бассейн на территории водолечебницы «Кислый Ключ», о. Кунашир. Фото Д.Н. Козлова, 2013 год.



Рис. 369. Корпус водолечебницы. Фото Д.Н. Козлова, 2013 год.



Рис. 370. Комната отдыха в водолечебнице. Фото Д.Н. Козлова, 2013 год.



Рис. 371. Столовая водолечебницы «Кислый Ключ». Фото И.М. Климанцова, 2013 год.



Рис. 372. Обновленная ванночка у скважины Дракон. Фото И.М. Климанцова, 2013 год.



Рис. 373. Ванночки источника Раковина. Фото А.К. Ежкина, 2014 год.

На острове Кунашир есть несколько мест, где можно разместить современные санаторные комплексы. Наиболее благоприятным по климатическим условиям является охотоморское побережье. Еще в 1960-х гг. А.С. Хоментовский [1964] предлагал организовать на базе Алехинских термальных источников санаторий. Действительно, здесь самые лучшие для этого условия: мягкий климат резко отличается от климата тихоокеанского побережья, удаленность от поселков, прекрасная природа с нерестовыми реками, рощами дуба и магнолии, скалистые мысы со столбчатой отдельностью, разнообразные по составу термальные источники. Самая, пожалуй, главная проблема всех санаторно-курортных комплексов – это отсутствие организации интересного досуга для рекреантов. Алехинские источники находятся на территории заповедника, поэтому охота, рыболовство и сбор ягод здесь запрещены. Но можно разнообразить отдых рекреантов прогулками на лодках по Кунаширскому проливу, пешими экскурсиями по реке Алехина, к озеру Песчаному, в кальдере вулкана Головнина и пр. Еще одно отличное место для санаторно-курортного комплекса на Кунашире – район Третьяковских источников. Здесь также более мягкий климат, красивые пейзажи, недалеко – мыс Столбчатый, являющийся «визитной карточкой» Кунашира.

На Итуруп до начала 1990-х гг. работала бальнеолечебница «Жаркие Воды» (рис. 374), рассчитанная на 40 рекреантов. Сейчас Рейдовские источники посещают немногочисленные «дикие» туристы и местные жители. Если на базе Рейдовских термальных источников заново построить санаторий, то это привлечет большое количество рекреантов на остров. Дебит термальных источников позволяет организовать бассейны, при организации разнообразных видов отдыха в санаторно-курортном комплексе будут комфортно себя чувствовать сотни рекреантов. Кроме приема процедур рекреанты могут участвовать в прогулках по окрестностям источников, например, пройти по побережью в районе т.н. Белых Скал, порыбачить на море и пр. Также можно организовывать выезды отдыхающих, например, на источники р. Кипящая, провести восхождение на влк. Баранского и т.д.



Рис. 374. Территория бывшей бальнеолечебницы «Жаркие Воды». Фото автора, 2013 год.

Применение термальных вод и грязей в бальнеотерапии

Основными бальнеологическими показателями лечебной значимости минеральных вод являются общая минерализация, ионный состав, наличие растворенных и спонтанных газов, содержание органических веществ и микроэлементов, обладающих биологической активностью, радиоактивность, рН, температура. Выделяют восемь основных бальнеологических групп минеральных вод, используемых для наружного применения: 1) углекислые; 2) сероводородные; 3) радоновые; 4) кремнистые термальные; 5) бромные, йодные и йодобромные; 6) мышьяксодержащие; 7) кислые воды с высоким содержанием металлов (Fe, Al, Cu и др.); 8) минеральные воды, лечебное действие которых определяется преимущественно величиной минерализации [ГОСТ..., 1988].

Лечебные грязи, используемые в Российской Федерации, подразделяются на 4 группы [ГОСТ..., 1988]: торфяные, сапропелевые, сульфидно-иловые и сопочные. Бальнеологическая ценность лечебных грязей определяется влагоемкостью (естественной влажностью), консистенцией (сопротивлением сдвигу), степенью засоренности крупными фракциями, теплоемкостью и теплоудерживающей способностью, соотношением органической и минеральной частей, минерализацией грязевого раствора, наличием сероводорода и сульфидов железа, окислительно-восстановительным потенциалом и реакцией среды (показателями Eh и pH).

Работы по изучению терапевтических свойств термальных вод на Южных Курилах начались отечественными учеными с 1950-х гг. [Иванов, 1955; Сидоров, 1962]. По их рекомендациям впоследствии были созданы и успешно функционировали водолечебницы (бальнеолечебницы) всесоюзного значения. Вплоть до начала 1990-х на Кунашире и Итурупe можно было встретить туристов с Прибалтики, Германии, из многих регионов России, которые успешно лечились здесь.

В 2013-2014 гг. в рамках государственных контрактов ИМГиГ ДВО РАН с Министерством здравоохранения Сахалинской области были проведены комплексные исследования бальнеологических ресурсов Сахалинской области [Оказание..., 2014]. На Южных Курилах исследованы практически все известные термальные проявления, для которых впервые были получены бальнеологические заключения с рекомендациями по наружному и внутреннему применению. Ниже коротко рассмотрено современное использование лечебных свойств гидротерм и грязей на островах, а в Приложении Б (таблица Б.1, таблица Б.2) приведены рекомендации по их применению.

На севере острова Кунашир местными жителями и немногочисленными туристами используются термальные воды источника «Добрый Ключ» (местные жители называют это место «Чайка»). Нескученские термальные источники имеют широкий спектр применения в бальнеотерапии, но расположены на территории заповедника «Курильский» (таблица Б.1 Приложения Б). Из-за труднодоступности эти источники не посещают даже туристы, поэтому говорить о применении их вод в лечебно-оздоровительных целях в ближайшем будущем не приходится.

На базе Нижнедокторских источников действует водолечебница «Кислый Ключ». По свидетельствам врачей [Сидоров, 1962; Комиссаренко, 1964], особенно эффективный бальнеотерапевтический результат получен при лечении кожных заболеваний (экзема, лишай и т.п.), многие из больных, вылечившихся в водолечебнице «Кислый Ключ», ранее безуспешно лечились на курортах Закавказья и Крыма. Очень ценный в бальнеотерапевтическом отношении состав термальных

вод в районе мыса Горячий (пос. Горячий Пляж). Термальные воды насыщены железом, алюминием, мышьяком, кальцием, натрием, бором, фтором и другими терапевтически активными компонентами. Опыт практического применения вод источников свидетельствует об их высоких бальнеотерапевтических свойствах при лечении хронических заболеваний опорно-двигательного аппарата, периферической нервной системы, желудочно-кишечного тракта и целого ряда других заболеваний. С 1983 года до начала 1990-х гг. здесь, в районе устья Лечебного ручья, функционировала небольшая водолечебница «Тятя». Под медицинским контролем осуществлялось лечение больных с патологией периферической нервной системы, костно-мышечной системы, некоторых кожных и гинекологических болезней [Анкудинов, Ведмицкий, 1992].

В южной части Кунашира в пределах постройки вулкана Головнина имеются различные по физико-химическим и бальнеотерапевтическим характеристикам термальные вод и грязи. Но их использование ограничено, т.к. они находятся на территории заповедника «Курильский».

На острове Итуруп на сегодняшний день бальнеолечебниц нет. До 1990-х на базе термальных вод и грязи работал санаторий «Жаркие Воды» в районе пос. Рейдово. Здесь был комплекс зданий, рассчитанный на проживание 40 больных, библиотека, бильярдная [Анкудинов, Ведмицкий, 1992]. Термы Рейдовских источников имеют повышенное содержание биологически активных компонентов (сероводород, бор, фтор, кремнекислота и др.) и относятся к минеральным фтористо-кремниевым водам. Эти воды до сих пор иногда используются местными жителями и немногочисленными приезжими для бальнео- и грязелечения, а после охлаждения – как лечебно-столовые воды. Лечебная грязь используется посетителями для самолечения при заболеваниях опорно-двигательного аппарата, радикулитов.

Наиболее перспективные для бальнеотерапии объекты на о. Итуруп: вулкан Баранского, гидротермы в поселке Горячие Ключи, Дачное месторождение гидротерм (таблица Б.2 Приложения Б).

5.2.2. Возможности развития спортивно-экстремального туризма

Под экстремальным туризмом понимают путешествия и экскурсии, совершаемые в сложных условиях, часто на пределе физических возможностей человека [Косолапов, Мизь, 2002].

Спортивно-экстремальный туризм на Южных Курилах практически отсутствует. Маршруты повышенной сложности, связанные с посещением мест активной сольфатарно-гидротермальной деятельности вулканов возможны, пожалуй, только на острове Итуруп. На Кунашире добраться до термопроявлений не составляет никакой сложности. Единственное труднодоступное место – Нескученские термальные источники – находится на побережье, попасть туда можно на лодке.

Для туристов-экстремалов можно предложить множество маршрутов на о. Итуруп с посещением мест сольфатарной и гидротермальной активности. Наиболее интересный, сложный и экстремальный маршрут можно проложить по вулканическому хребту Грозный. Маршрут на вулкан Иван Грозный (рис. 375) займет, при благоприятных погодных условиях, 5 дней.



Рис. 375. Схема маршрута на вулкан Иван Грозный.

Маршрут рассчитан на хорошо подготовленных туристов в возрасте не моложе 14 лет и без проблем со здоровьем. Наиболее оптимально начать путь со Старозаводского поля, куда можно добраться из г. Курильск на автомобиле по хорошей грунтовой дороге за 40-50 минут. Само поле – очень красивое место, несмотря на то, что первозданные ландшафты нарушены деятельностью человека. Тем не менее, термальные источники и ручейки с изумрудными отложениями термофильных водорослей, грязевые котлы, грифоны и озерца создают прекрасное впечатление. От Старозаводского поля по дороге надо пройти до р. Кипящая. Если позволяет время, можно немного подняться к верховью реки. Здесь есть небольшое сольфатарное поле с множеством сольфатар и кислых термальных источников. Чуть ниже – Голубые Озера, одни из самых красивых на Южных Курилах термальных источников. Вода в них, в зависимости от освещения, голубая с желто-зеленым оттенком по краям. В среднем течении реки, куда подходит дорога от Старозаводского поля, есть красивый водопад зеленоватого цвета от термофилов, температура воды в этом месте около 35-40 °С. Далее по р. Кипящая надо спуститься до р. Серной и далее по течению до устья ручья Нагорный, по которому начать подъем. Подъем очень сложный, практически все время надо идти по ручью, местами обходить небольшие водопады по зарослям бамбучника и кедрового стланика. По пути важно не пройти группу Нагорных термальных источников. Они образуют небольшой ручей в правом борту, узнать который можно по слегка мутной воде с кисловатым вкусом. Эта группа

источников очень интересна, источники практически не изучены и мало кто знает об их существовании, окружающие ландшафты не тронуты человеком, здесь прекрасное место для фото-, видеосъемки термальных источников в естественном виде. В верхнем течении Нагорного ручья можно организовать ночевку. На следующий день, пройдя по зарослям кедрового стланика, можно выйти к озеру Купальное, обойти его с северной стороны и по ручью Многоозерный дойти до озера Лопастное. Палаточный лагерь лучше всего поставить на южном берегу озера у термального источника Лопастной. На следующий день отсюда можно начать подъем на вершину экструзивного купола вулкана Иван Грозный. Подъем очень сложен и опасен, особенно на самом верху, когда приходится преодолевать скалистые выступы и осыпи. На вершине надо стараться не подходить близко к сольфатарным выходам и следить за преобладающим ветром, ведь за несколько минут, проведенных под смесью горячего пара, углекислого газа и серосодержащих газов, можно погибнуть. При хорошей безоблачной погоде с вершины купола откроется восхитительный вид на всю северную часть острова Итуруп. Отсюда можно увидеть вулканы Чирипи и Б. Хмельницкий, Баранского, вдали видна кальдера Медвежья. Вулканы хребта Грозный – как на ладони: конус влк. Тебенькова, часть разрушенной постройки вулкана Мачеха со сверкающими белизной внутренними стенками кратера, скалистые купола вулканов Дракон (рис. 376) и Ермак. Озеро Лопастное завораживает своей красотой: голубовато-зеленые переливы воды на фоне окружающей зелени лесов и зарослей стланика напоминают экзотические пейзажи тропических джунглей. Спуститься с купола лучше всего к влк. Ермак, встать лагерем на северном берегу Чистого озера. На следующий день по зарослям стланика можно выйти в исток ручья Трущобного и по нему спуститься в долину реки Благодатной, которая выведет в пос. Горячие Ключи. Надо отметить, что поселок является воинской частью, вход на территорию которой разрешен только по пропускам, поэтому необходимо заранее согласовать возможность прибытия в поселок с командиром части.



Рис. 376. Панорама с вершины вулкана Иван Грозный. Фото автора, 2013 год.

5.2.3. Перспективы экологического туризма на базе термопроявлений

Термин «экологический туризм» был предложен в 1980 г. мексиканским экономистом Гектором Цебаллос-Ласкурья. По его мнению, экотуризм означает сочетание путешествия с бережным отношением к природе. Иными словами, экотуризм – это устойчивый и природно-ориентированный туризм и рекреация [Теория..., 2003].

Основные объекты экологического туризма – уникальные природные комплексы, в том числе особо охраняемые природные территории (ООПТ): национальные и природные парки, заказники, памятники природы. Заповедники не относятся к основным объектам экотуризма, хотя в охранных зонах заповедников возможна организация, например, экологических троп. Основные цели экотуризма – углубление экологического образования и воспитания различных групп населения. Основные задачи экотуризма – соблюдение в максимально возможной степени строгих экологических норм и ограничений [Косолапов, Мизь, 2002].

Экологический туризм очень популярен в зарубежных странах и в России, т.к. проходит на экологически чистых территориях и не наносит существенного вреда окружающей среде. С учетом крайне ранимой природы территорий термопроявлений и с учетом интересов туристов необходимо разработать конкретные туристские маршруты, в том числе и универсальные, включающие в себя сразу несколько направлений туризма. Нельзя забывать и о неблагоприятном воздействии туристских троп на уникальные ландшафты. Примером тому могут служить тропы в Долине гейзеров на Камчатке, где до недавнего времени ежегодное посещение туристов составляло несколько тысяч человек. С первых же лет эксплуатации тропы в Долине гейзеров появились признаки отрицательного воздействия туристов на природу. В результате на склонах была повреждена не только травянистая растительность, но и грунты, поэтому началась эрозия почвенного покрова [Природные..., 2003; Завадская, 2012]. Такие же последствия могут быть и на Южных Курилах, особенно на сольфатарных полях и на участках с выходами кислых термальных вод. Горные породы в этих местах изменены до глин и подвержены эрозионным процессам.

Перспективы развития экологического туризма на Курилах прописаны в Долгосрочной целевой программе «Развитие внутреннего и въездного туризма в Сахалинской области на 2013 – 2018 годы». Программой предусмотрено оборудование экологических троп на территории острова Кунашир, в том числе:

- маршрут до мыса Столбчатый;
- маршрут по экологической тропе «Столбовская» с посещением Столбовских термальных источников в долине ручья Змеиный;
- маршрут на вулкан Менделеева с посещением сольфатарных полей и вершины экструзивного купола вулкана;
- маршрут на вулкан Тятя;
- маршрут «Кальдера вулкана Головнина» с посещением внутрикальдерных сольфатарных полей.

На реализацию этих мероприятий планируется направить в 2014-2018 годах 2.4 млн. рублей в виде субсидий из областного бюджета.

Заповедник «Курильский» на данный момент является единственной организацией на Южных Курилах, развивающей здесь экологический туризм. На офици-

альном сайте заповедника (рис. 377) можно найти любую интересующую информацию по маршрутам на о. Кунашир. К сожалению, разработанных сотрудниками заповедника «Курильский» специальных маршрутов по термальным источникам нет. Единственная на острове обустроенная экологическая тропа «Столбовская» проходит через Столбовские источники, но главной ее задачей является знакомство посетителей с уникальной флорой острова. Термальные источники здесь как «бесплатное приложение». Сотрудники заповедника и проводники иногда сопровождают сюда группы японских жителей, приехавших на Кунашир по безвизовому обмену. Японским туристам очень нравится естественная красота термальных источников, они делают много фотографий, но принимать ванны отказываются. Надо отметить, что территория источников, несмотря на предупреждающие стенды, часто загрязнена бытовым мусором, который оставляют посетители.

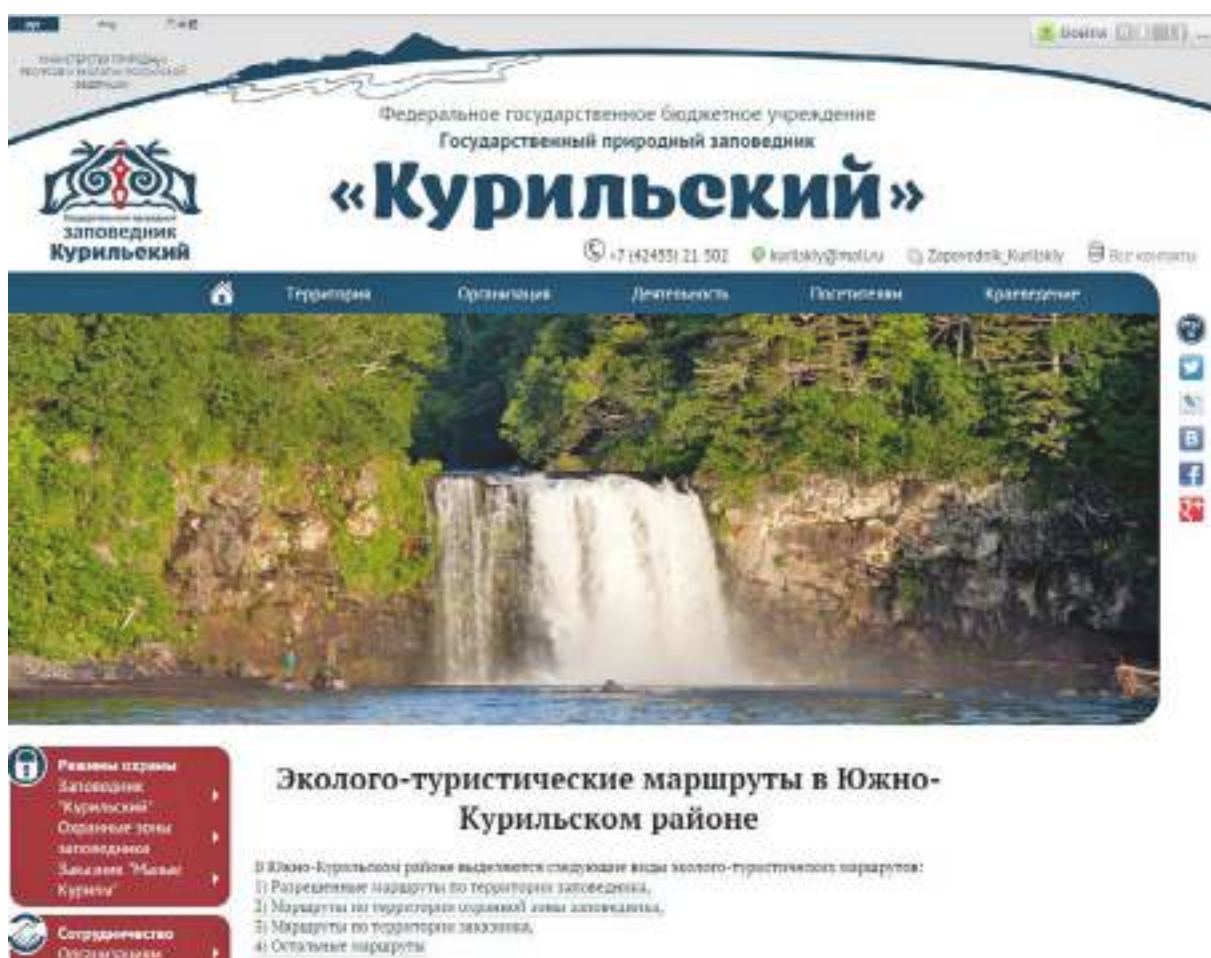


Рис. 377. Сайт заповедника «Курильский» (<http://kurilskiy.ru>).

В некоторой степени развитием коммерческого экологического туризма на островах Итуруп и Кунашир занимается сахалинская туристическая фирма «Омега-Плюс» (www.omega-plus.ru). В теплый сезон ежегодно несколько групп туристов по 5-15 человек отправляются на острова в путешествие.

На Кунашире туристы с компанией «Омега-Плюс» проходят несколько маршрутов: маршрут «Северо-Западное сольфатарное поле вулкана Менделеева», маршрут по экологической тропе через Столбовские источники к мысу Столбчатый, маршрут в кальдере вулкана Головнина. На влк. Менделеева к данным маршрутам

На Итуруппе компания «Омега-Плюс» организует для туристов выезды на влк. Баранского, где они купаются в термальной воде р. Кипящая и посещают Голубые Озера.

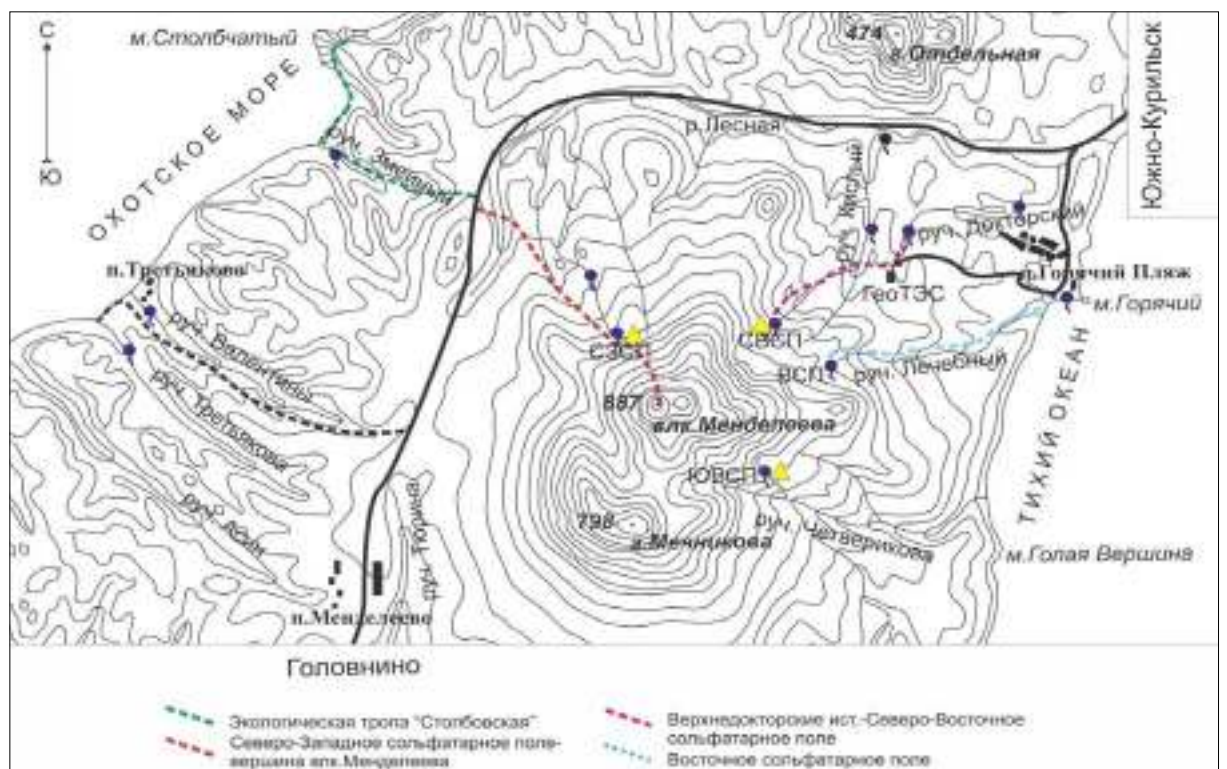


Рис. 378. Схема туристических маршрутов по термопроявлениям влк. Менделеева.

Кроме туристической фирмы, на островах частными проводниками работают местные жители, которые сопровождают группы и индивидуальных туристов по разным маршрутам, в том числе и по термопроявлениям.

5.2.4. Перспективы развития научного туризма

В связи с уникальностью природы исследуемого региона особое развитие должно уделяться научному туризму. К сожалению, до недавнего времени этот вид туризма крайне слабо развивался на островах. В последние годы все больше отечественных ученых посещают Южные Курильские острова. Из иностранных коллег в рамках безвизовых обменов приезжают японские биологи, вулканологи, сейсмологи, палеогеографы и т.д.

Научный туризм на Кунашире развивает заповедник «Курильский», обеспечивая выезды ученых на необходимые объекты. На Итурупe доставку и сопровождение научных экспедиций обеспечивают частные проводники.

5.2.5. Оценка приоритетности использования термопроявлений Южных Курильских островов в рекреационно-туристской деятельности

Чтобы определить перспективы развития рекреационно-туристской деятельности для конкретных термопроявлений исследуемого региона, автор провел общую оценку этих территорий по нескольким показателям. В первую очередь необходимо определить, какие направления туризма подходят к тем или иным термопроявлениям. Для наглядности составлена таблица, в которой показаны возможные направления туризма для конкретных групп источников. Из таблицы 4 видно, что для всех исследуемых на Южных Курилах групп источников перспективно развитие экологического и научного направлений туризма. Лечебно-оздоровительный вид туризма предполагает несложные «маршруты здоровья», поэтому неуместно будет для этого вида туризма использовать труднодоступные территории. Для лечебно-оздоровительного туризма не рекомендуется использовать районы вершинных групп источников и сольфатарных полей вулканов Руруй, Менделеева, Меньший Брат, Чирип и Б. Хмельницкий, Баранского, Тебенкова, Иван Грозный и Берутарубе. Спортивно-экстремальный туризм, наоборот, требует маршруты повышенной сложности с экстремальными условиями. Для этого подходят сольфатарные поля вулканов и труднодоступные группы источников.

В целом, районы термопроявлений Южных Курил перспективны для разных направлений туризма, на базе практически всех термопроявлений можно развивать экологический и научный туризм.

Если говорить о массовом потоке рекреантов и туристов, то его можно ожидать с развитием только лечебно-оздоровительного и экологического видов туризма. Туристов, желающих пройти сложные и экстремальные маршруты по термопроявлениям вулканов, на порядок меньше. Группы туристов-экстремалов небольшие, обычно до 5-7 человек, а инструкторов, готовых повести такие группы, на Южных Курилах очень мало. Научный туризм также не может быть массовым на островах, т.к. российские ученые организуют полевые научно-исследовательские работы самостоятельно, не прибегая к помощи коммерческих туристских фирм. Научный туризм рентабельно развивать для иностранных ученых, они очень заинтересованы в исследовании малоизученных Курильских островов, но основной преградой становится статус островов как пограничной зоны, пропуск иностранных граждан в которую ограничен. Чтобы оценить степень привлекательности районов термопроявлений для массового туризма, используя методические рекомендации сотрудников Тихоокеанского института географии ДВО РАН (г. Владивосток) С.А. Лозовской и М.С. Лящевской, была проведена сравнительная характеристика термопроявлений, результаты которой приведены в таблицах 5-9. Оценка проведена по трехбалльной системе, в каждом показателе максимальные три балла ставятся той группе источников, которая обладает наибольшими количественными параметрами или большей привлекательностью

для туристов. Минимальный один балл поставлен в тех случаях, когда группа источников имеет низкую привлекательность, а также, когда вообще не обладает теми или иными показателями. Баллы не ставились вершинным сольфатарным выходам на вулканах в тех случаях, когда они в принципе не могли соответствовать определенным характеристикам. Например, при характеристике бальнеологических свойств и состава окружающей древесной растительности, сольфатары вершины купола влк. Иван Грозный не могут быть оценены, т.к. не обладают бальнеологическими свойствами и находятся значительно выше пояса древесной растительности. Поэтому в сравнительных таблицах поставлены прочерки в данных пунктах.

Оценка отдельных показателей рекреационно-эстетических условий термопроявлений региона (табл. 5) проведена по основным характеристикам источников и по эстетическому восприятию окружающих ландшафтов. Наибольшее количество баллов получилось у групп термальных источников побережья: источники прибрежной части Нескученской группы, источники Горячего Пляжа, Алехинские источники, источники Старозаводского поля влк. Баранского и Дачные источники. Наименьшей привлекательностью по данным показателям обладают сольфатарные поля и вершинные группы источников.

При оценке дополнительных туристско-экскурсионных объектов (табл. 6), которые встречаются в маршруте к термопроявлениям, учитывалось, является ли данная территория заповедником или охранной зоной заповедника, встречаются ли по пути панорамные вершины, скалы, водопады, которые могут быть интересны туристам. Также характеризовались культурно-исторические объекты, т.к. это может быть дополнительным стимулом для участия туристов в данном маршруте. Одним из главных аргументов для участия туристов в массовых маршрутах является возможность пройтись по красивым морским берегам, искупаться в море, половить рыбу и т.д., поэтому важно оценить и близость морского побережья при движении к термопроявлениям. По вышеперечисленным пунктам наиболее привлекательными оказались Нескученские термальные источники, Алехинские источники и термопроявления вулканов Чирип и Богдан Хмельницкий. Наименее привлекательными являются Нижнеменделеевские, Нижнедокторские термальные источники и Рейдовские источники.

Оценка безопасности посещения термопроявлений (табл. 7) также необходима при организации маршрутов. Безопасность – один из самых важных критериев при выборе маршрута для массового туризма. Опасными в маршрутах могут оказаться переходы вброд через реки и проходы по морю, особенно в приливы и в условиях сильного шторма (рис. 379), обходы скал и прохождение по осыпям, значительно увеличивается опасность при крутом подъеме или спуске. В маршрутах к термальным источникам могут встречаться ядовитые растения, например, ипритка (лат. *Toxicodendron*), ожог которой может привести к серьезным последствиям. Большинство змей на островах не являются ядовитыми, но укус их может доставить неприятности и омрачить отдых туристов. В 2013 году в районе Нескученских источников на побережье Кунашира сотрудниками заповедника «Курильский» были обнаружены особи ядовитого восточного щитомордника, нового вида змей для фауны Курил. Вероятнее всего, найденные щитомордники представляют собой реликтовую популяцию, живущую только в районе Нескученских источников (по материалам сайта www.kurilskiy.ru).



Рис. 379. Штормовые нагоны способны выбросить судно на берег: РС «Счастливый» – выброшен в сентябре 2002 г. (Охотоморское побережье на севере о. Кунашир). Фото автора, 2003 год.

Таблица №4

Рекомендуемые виды туризма для термоявлений Южных Курил.

Район маршрута к группам термальных источников	Лечебно-оздоровительный	Спортивно-экстремальный	Экологический	Научный
<i>Нескученская группа:</i> 1 - сольфатарные поля; 2 - источники побережья	- +	+ +	+ +	+ +
<i>Прасоловский источник</i>	+	+	+	+
<i>Источник Добрый Ключ</i>	+	-	-	+
<i>Вулкан Менделеева:</i> 1 - сольфатарные поля; 2 - Верхнеменделеевские ист.; 3 - Нижнеменделеевские ист.; 4 - Нижнедокторская группа; 5 - Ист. Горячего Пляжа; 6 - Столбовские, Третьяковские ист.	- - + + + +	+ - - - - -	+ + + - - +	+ + + + + +
<i>Вулкан Головнина:</i> 1 - внутрикальдерные ист.; 2 - Алехинская группа	+ +	- +	+ +	+ +
<i>Озеро Теплое (кальдера Медвежья)</i>	-	+	+	+
<i>Источники и сольфатары влк. Чирип и Б. Хмельницкий</i>	-	+	+	+
<i>Рейдовские источники</i>	+	-	+	+
<i>Влк. Баранского:</i> 1 - Верхнее поле; 2 - Старозаводское поле; 3 - река Кипящая	- + +	+ - -	+ - +	+ + +
<i>Нагорные источники</i>	-	+	+	+
<i>Влк. Иван Грозный:</i> 1 - Вершинные сольфатары; 2 - Лопастной ист.	- -	+ +	+ +	+ +
<i>Источники пос. Горячие Ключи</i>	+	-	-	+
<i>Дачные источники</i>	+	-	+	+
<i>Источники и сольфатары влк. Берутарубе</i>	-	+	+	+

Примечание: (+) рекомендуемый вид туризма; (-) не рекомендуемый вид туризма.

Оценка отдельных показателей рекреационно-эстетических условий термоявлений (в баллах).

Группы термальных источников	Основные характеристики источников группы				Основные характеристики живописности ландшафтов					Общая средняя оценка
	Расход воды	Температура	Кислотность воды	Бальнеотерапевтические свойства	Абс. высота местности	Занимаемая площадь группы	Состав окружающей древесной растительности	Число видимых урочищ	Глубина видимой перспективы	
<i>Нескученская группа:</i>										
1 - сольфатарные поля;	1	1	1	1	2	2	3	1	3	15
2 - источники побережья	2	1-2	3	2	1	3	2	2	3	20
<i>Прасоловский источник</i>	1	3	3	2	1	1	2	1	1	15
<i>Источник Добрый Ключ</i>	1	2	3	2	1	1	2	3	3	18
<i>Вулкан Менделеева:</i>										
1 - сольфатарные поля;	1	1	1	1	3	2	3	1	3	16
2 - Верхнеменделеевские ист.;	2	1	1	1	2	3	3	1	3	17
3 - Нижнеменделеевские ист.;	2	2	1	1	2	3	3	1	1-2	16
4 - Нижнедокторская группа;	2	2	1-3	3	1	2	3	1	2	17
5 - Ист. Горячего Пляжа;	2	2-3	3	2	1	3	2	1	3	20
6 - Столбовские, Третьяковские ист.	2	3	3	2	1	1	2	1	2	17
<i>Вулкан Головнина:</i>										
1 - внутрикальдерные ист.;	3	1	1	2	2	3	2	3	2	19
2 - Алехинская группа	3	2-3	1-2	3	1	3	2	2	3	21
<i>Озеро Теплое (кальдера Медвежья)</i>	1	3	3	2	1	1	2	2	2	17
<i>Источники и сольфатары влк. Чирип и Б. Хмельницкий</i>	1	1	1	-	3	2	1	2	3	14
<i>Рейдовские источники</i>	2	3	3	3	1	1	3	1	1	18

Группы термальных источников	Основные характеристики источников группы				Основные характеристики живописности ландшафтов					Общая средняя оценка
	Расход воды	Температура	Кислотность воды	Бальнеотерапевтические свойства	Абс. высота местности	Занимаемая площадь группы	Состав окружающей древесной растительности	Число видимых урочищ	Глубина видимой перспективы	
<i>Влк. Баранского:</i>										
1 - Верхнее поле;	1	1	1	-	3	2	-	2	3	13
2 - Старозаводское поле;	3	2	1-2	2	3	3	2	2	3	21
3 - река Кипящая	3	2	1-2	2	2-3	3	2	2	2	19
<i>Нагорные источники</i>	1	2	1	1	3	1	2	2	2	15
<i>Влк. Иван Грозный:</i>										
1 - Вершинные сольфатары;	-	-	-	-	3	1	-	1	3	8
2 - Лопастной ист.	1	3	1	1	3	1	2	2	2	14
<i>Источники пос. Горячие Ключи</i>	1	3	3	2	1	1	2	2	2	17
<i>Дачные источники</i>	3	3	3	3	1	3	2	2	2	22
<i>Источники и сольфатары влк. Берутарубе</i>	1	2	1	-	3	3	-	3	3	16

Примечание:

Расход воды: 1 – до 10 л/с; 2 – 10-50 л/с; 3 – выше 50 л/с.

Температура: 1 – выше 90 °С; 2 – от 55 °С до 90 °С; 3 – до 55 °С.

Кислотность воды: 1 – pH=1-4; 2 – pH=4-6; 3 – pH более 6.

Бальнеотерапевтические свойства: 1 – наружное применение для отдельных заболеваний; 2 – наружное применение для широкого спектра заболеваний; 3 – комплексное наружное и внутреннее использование.

Абсолютная высота местности: 1 – до 50 м; 2 – 50-200 м; 3 – выше 200 м.

Занимаемая площадь группы: 1 – до 500 м²; 2 – 500-1000 м²; 3 – выше 1000 м².

Состав окружающей древесной растительности: 1 – широколиственные леса; 2 – смешанные леса; 3 – хвойные леса.

Число видимых урочищ: 1 – одно урочище; 2 – два урочища; 3 – более двух.

Видимая перспектива: 1 – закрытая рельефом и растительностью территория; 2 – долина рек и ручьев с небольшой перспективой; 3 – открытые пространства (берег моря, склон вулкана и пр.).

Оценка дополнительных туристско-экскурсионных объектов на маршрутах к термоявлениям (в баллах).

Район маршрута к группам термальных источников	Охранная территория	Панорамные вершины	Останцы	Водопады	Культурно-исторические объекты	Близость морского побережья	Общая средняя оценка
<i>Нескученская группа:</i>							
1 - сольфатарные поля;	3	2	2	2-3	1	2	12
2 - источники побережья	3	1	2	3	1	3	13
<i>Прасоловский источник</i>	2	1	1	1	1	2	8
<i>Источник Добрый Ключ</i>	1	1	2	1	3	3	11
<i>Вулкан Менделеева:</i>							
1 - сольфатарные поля;	1	2-3	2-3	1	3	1	10
2 - Верхнеменделеевские ист.;	1	1	2	2	1	1	8
3 - Нижнеменделеевские ист.;	1	1	1	2	1	1	7
4 - Нижнедокторская группа;	1	1	1	1	1	2	7
5 - Ист. Горячего Пляжа;	1	2	2-3	1	1	3	10
6 - Столбовские, Третьяковские ист.	2	1	2-3	1	2	2	10
<i>Вулкан Головнина:</i>							
1 - внутрикальдерные ист.;	3	3	1	1	3	1	12
2 - Алехинская группа	3	2	2-3	2	2	3	14
Озеро Теплое (кальдера Медвежья)	1	3	2	1	1	3	11
<i>Источники и сольфатары влк. Чирип и Б. Хмельницкий</i>	1	3	3	2	3	3	15
Рейдовские источники	1	1	1	1	1	2	7
<i>Влк. Баранского:</i>							
1 - Верхнее поле;	1	3	3	2	1	1	11
2 - Старозаводское поле;	1	2	2	2	1	1	9
3 - река Кипящая	1	1	2	3	1	1	9

Район маршрута к группам термальных источников	Охранная территория	Панорамные вершины	Останцы	Водопады	Культурно-исторические объекты	Близость морского побережья	Общая средняя оценка
<i>Нагорные источники</i>	1	2	2	2	1	1	9
<i>Влк. Иван Грозный:</i>							
1 - Вершинные сольфатары;	1	3	3	-	1	1	9
2 - Лопастной ист.	1	2	3	1	1	1	9
<i>Источники пос. Горячие Ключи</i>	1	1	1	1	3	2	9
<i>Дачные источники</i>	1	1	1	2	1	2	8
<i>Источники и сольфатары влк. Берутарубе</i>	1	3	3	2	1	2	12

Примечание:

Заповедник: 1 – нет; 2 – территория охранной зоны заповедника; 3 – территория заповедника.

Панорамные вершины: 1 – нет; 2 – небольшие вершины; 3 – вершины вулканов и куполов.

Останцы: 1 – нет; 2 – небольшие скалы и останцы; 3 – высокие красивые останцы.

Водопады: 1 – нет; 2 – небольшие водопады; 3 – водопады термальной воды с термофильными водорослями.

Культурно-исторические объекты: 1 – нет; 2 – места, связанные с легендами и пр.; 3 – стоянки древнего человека, остатки поселений японцев и пр.

Близость морского побережья: 1 – далеко до моря; 2 – недалеко до моря; 3 – на берегу моря.

Оценка безопасности посещения термоявлений (в баллах).

Район маршрута к группам термальных источников	Наличие бродов и переходов по морю	Наличие скальных выступов, каменных осыпей	Крутизна подъемов и спусков	Опасность получения ожогов и отравлений от сольфатар и термальных источников	Биологические факторы среды			Общая средняя оценка
					Ядовитые растения	Змеи	Медведи	
<i>Нескученская группа:</i>								
1 - сольфатарные поля;	3	2	1	2	2	2-3	2	14
2 - источники побережья	3	2	2	2	2	2-3	2	15
<i>Прасоловский источник</i>	3	3	3	2	2	2-3	2	17
<i>Источник Добрый Ключ</i>	3	3	3	2	3	2	2	18
<i>Вулкан Менделеева:</i>								
1 - сольфатарные поля;	2	2-3	1-2	1	2-3	2-3	2-3	12
2 - Верхнеменделеевские ист.;	2	3	2	1-2	2	2	2-3	14
3 - Нижнеменделеевские ист.;	2	3	2-3	2	1-2	2	2	14
4 - Нижнедокторская группа;	3	3	3	1	2	2	2	16
5 - Ист. Горячего Пляжа;	3	2	3	1	3	2	2-3	16
6 - Столбовские, Третьяковские ист.	3	2	2-3	1	2	1-2	1-2	12
<i>Вулкан Головнина:</i>								
1 - внутрикальдерные ист.;	1-3	3	1-3	1	3	1	1-2	11
2 - Алехинская группа	2	1-2	1-2	3	2-3	2	2	13
<i>Озеро Теплое (кальдера Медвежья)</i>	3	2	1-2	3	2	2	1	14
<i>Источники и сольфатары влк. Чирип и Б. Хмельницкий</i>	1	1	1	1	2	2	2	10
<i>Рейдовские источники</i>	3	3	3	3	3	2	2	19

Район маршрута к группам термальных источников	Наличие бродов и переходов по морю	Наличие скальных выступов, каменных осыпей	Крутизна подъемов и спусков	Опасность получения ожогов и отравлений от сольфатар и термальных источников	Биологические факторы среды			Общая средняя оценка
					Ядовитые растения	Змеи	Медведи	
Влк. Баранского:								
1 - Верхнее поле;	3	1-2	1	1	3	2	2	13
2 - Старозаводское поле;	3	3	2	2	3	2	2	17
3 - река Кипящая	2	3	2	1	3	2	2	15
<i>Нагорные источники</i>	2	1-2	1	2	3	2	3	14
Влк. Иван Грозный:								
1 - Вершинные сольфатары;	2	1-2	1	1	3	3	2	13
2 - Лопастной ист.	2	1-2	1-2	3	3	2	3	15
<i>Источники пос. Горячие Ключи</i>	3	3	3	3	3	2	3	20
<i>Дачные источники</i>	3	3	2	3	3	2	1	17
<i>Источники и сольфатары влк. Берутарубе</i>	1	1	1	1	2	2	1	9

Примечание:

Наличие бродов: 3 – нет; 2 – небольшие переходы через горные речки; 1 – переходы крупных рек, озер и по морю.

Наличие скальных выступов, каменных осыпей: 3 – нет; 2 – небольшие выступы и осыпи; 1 – обходы по скалистым мысам и вершинам, крупные осыпи.

Крутизна подъемов и спусков: 3 – пологая местность; 2 – крутизна небольшая; 1 – очень крутые.

Опасность получения ожогов, отравлений и травм от сольфатар и термальных источников: 3 – нет; 2 – низкая; 1 – высокая.

Биологические факторы среды: 3 – практически нет; 2 – в небольшом количестве, вероятность встречи минимальная; 1 – большая вероятность встречи.

Отдельно стоит остановиться на диких животных. На островах самым опасным для человека животным является бурый медведь, который нередко достигает внушительных размеров и может иметь вес более 500 кг. Медведи часто посещают термопроявления, поэтому встреча с ними возможна на всем протяжении маршрута (рис. 380, 381).



Рис. 380. Молодой медведь в районе Третьяковских источников. Дачный поселок Третьяково, о. Кунашир. Фото Д.Н. Козлова, октябрь 2013 года.



Рис. 381. Медведь в районе пос. Рыбаки на о. Итуруп. Фото И.Л. Корбана, 2012 год.

Опасными могут оказаться и сами термальные источники и сольфатары. Можно получить ожоги от сольфатарных газов и термальных вод с температурой от 55 °С до 100 °С. При посещении активных сольфатарных полей надо быть особенно осторожным, близко не подходить к сольфатарам, чтобы не получить ожоги и не вдыхать удушливые сольфатарные газы. Для защиты дыхательных путей от газов на вулканах необходимо пользоваться противогазами (рис. 382, 383), масками или полумасками со сменными фильтрами. Одна из главных опасностей на сольфатарных полях заключается в возможности гидротермально-фреатического извержения. Подобные извержения нередко происходят на вулканах Южных Курил, и их очень сложно прогнозировать. Достоверных сведений о гидротермально-фреатических извержениях очень мало, поэтому в таблице 7 они не рассматриваются в качестве показателя. Самыми безопасными термопроявлениями для массового туризма являются источники пос. Горячие Ключи, Рейдовские источники, источник Добрый Ключ. Наиболее опасными являются сольфатарные поля и труднодоступные группы термальных источников, удаленные от населенных пунктов.

Рекреационно-туристская инфраструктура довольно низкая для всех термопроявлений исследуемого региона. Оценка рекреационно-туристской инфраструктуры районов термопроявлений проведена исходя из их транспортной доступности, наличия баз отдыха, бальнеолечебниц и т.п. (таблица 8). Для массового туризма оптимальным вариантом является небольшая удаленность от населенных пунктов, продолжительность пути к термопроявлениям не более 3-4 часов и наличие в районах термопроявлений кемпингов, бальнеолечебниц и т.п. По вышеперечисленным характеристикам наиболее приоритетными для массового туризма являются Нижнедокторские источники, источники Горячего Пляжа, Рейдовские источники и пос. Горячие Ключи. Наименее приоритетными являются труднодоступные Нескученские термальные источники и источники вулканов Меньший Брат, Берутарубе, Тебенькова и Иван Грозный.

Общую оценку приоритетности использования термопроявлений в рекреационно-туристской деятельности (табл. 9) автор провел, суммировав полученные по всем вышеперечисленным показателям баллы. Получилось, что наиболее приоритетными для развития массового туризма являются источники Горячего Пляжа и пос. Горячие Ключи, Рейдовские и Алехинские источники, источники Старозаводского поля. Наименее приоритетными для развития массового туризма являются Нагорные источники, источник Лопастной и сольфатары вулкана Иван Грозный, источники влк. Берутарубе. Эти районы труднодоступны и маршруты к термопроявлениям сложные и опасные.

Рекреационные ресурсы на Южных Курилах огромны, но используются неэффективно. Поток туристов и рекреантов очень низкий. По данным сотрудников заповедника «Курильский», число туристов, прошедших по территории заповедника, составляет всего несколько сотен человек в год. Из них меньше половины своей целью ставили посещение мест сольфатарно-гидротермальной деятельности вулканов. Туристы, посещающие Южные Курилы, большей частью граждане Российской Федерации. Из зарубежных туристов – небольшие группы из Японии, Германии, Канады, Испании, США, Китая, стран Прибалтики. При умелой организации рекреационно-туристской деятельности на островах можно за короткий период развить все направления индивидуального и массового туризма как для российских, так и для зарубежных рекреантов и туристов.



Рис. 382. Вулкан Кудрявый: находиться в парогазовых потоках без противогаза или специальной маски – смертельно опасно. Фото А.В. Рыбина, 1998 год.



Рис. 383. Вулкан Кудрявый: вулканологи работают в противогазах. Фото В.Б. Гурьянова, 2014 год.

Оценка рекреационно-туристской инфраструктуры районов термоявлений (в баллах).

Район маршрута к группам термальных источников	Транспортная доступность			Наличие баз отдыха, бальнео-лечебниц, гостиниц	Общая средняя оценка
	Удаленность от административного центра района	Удаленность от ближайшего населенного пункта	Продолжительность пешеходной части пути		
Нескученская группа:					
1 - сольфатарные поля;	1	1	1	1	4
2 - источники побережья	1	1	1-3	1	4
Прасоловский источник	1	1	1-3	2	5
Источник Добрый Ключ	1	2	1-3	2	6
Вулкан Менделеева:					
1 - сольфатарные поля;	3	3	3	1	10
2 - Верхнеменделеевские ист.;	3	3	3	1	10
3 - Нижнеменделеевские ист.;	3	3	3	1	10
4 - Нижнедокторская группа;	3	3	3	3	12
5 - ист. Горячего Пляжа;	3	3	3	2	11
6 - Столбовские, Третьяковские ист.	2	3	3	2	10
Вулкан Головнина:					
1 - внутрикальдерные ист.;	1	3	3	2	9
2 - Алехинская группа	1	2	2	2	7
Озеро Теплое (кальдера Медвежья)	1	1	1	1	4
Источники и сольфатары влк. Чирип и Б. Хмельницкий	3	3	1	1	8
Рейдовские источники	3	3	3	2	11

Продолжение таблицы №8

Район маршрута к группам термальных источников	Транспортная доступность			Наличие баз отдыха, бальнео-лечебниц, гостиниц	Общая средняя оценка
	Удаленность от административного центра района	Удаленность от ближайшего населенного пункта	Продолжительность пешеходной части пути		
Влк. Баранского: 1 - Верхнее поле; 2 - Старозаводское поле; 3 - река Кипящая	2 2 2	1 1 1	3 3 3	1 2 1	7 8 7
Нагорные источники	1	1	1	1	4
Влк. Иван Грозный: 1 - Вершинные сольфатары; 2 - Лопастной ист.	1 1	2 2	1 1	1 1	5 5
Источники пос. Горячие Ключи	2	3	3	3	11
Дачные источники	1	2	3	1	7
Источники и сольфатары влк. Берутарубе	1	1	1	1	4

Примечание:

Удаленность от административного центра района: 1 – более 50 км; 2 – 20-50 км; 3 – до 20 км.

Удаленность от ближайшего населенного пункта: 1 – более 30 км; 2 – 25-30 км; 3 – менее 15 км.

Продолжительность пешеходной части пути: 1 – более 8 часов; 2 – от 4 до 8 часов; 3 – до 4 часов.

Наличие баз отдыха, бальнеолечебниц, гостиниц: 1 – нет; 2 – есть только кордоны, каптированные источники; 3 – есть водолечебницы, гостиницы и пр.

Таблица №9

Общая оценка приоритетности использования термоявлений в рекреационно-туристской деятельности.

Район термальных источников	Оценка рекреационно- эстетических условий	Оценка дополнительных туристско-экскурсионных объектов	Оценка безопасности посещения	Оценка рекреационно- туристской инфраструктуры	Общая средняя оценка
<i>Нескученская группа:</i>					
1 - сольфатарные поля;	15	12	14	4	45
2 - источники побережья	20	13	15	4	52
<i>Прасоловский источник</i>	15	8	17	5	45
<i>Источник Добрый Ключ</i>	18	11	18	6	53
<i>Вулкан Менделеева:</i>					
1 - сольфатарные поля;	16	10	12	10	48
2 - Верхнемнделеевские ист.;	17	8	14	10	49
3 - Нижнемнделеевские ист.;	16	7	14	10	47
4 - Нижнедокторская группа;	17	7	16	12	52
5 - Ист. Горячего Пляжа;	20	10	16	11	57
6 - Столбовские, Третьяковские ист.	17	10	12	10	49
<i>Вулкан Головнина:</i>					
1 - внутрикальдерные ист.;	19	12	11	9	51
2 - Алехинская группа	21	14	13	7	55
<i>Озеро Теплое (кальдера Медвежья)</i>	17	11	14	4	46
<i>Источники и сольфатары влк. Чирип и Б. Хмельницкий</i>	14	15	10	8	47
<i>Рейдовские источники</i>	18	7	19	11	56
<i>Влк. Баранского:</i>					
1 - Верхнее поле;	13	11	13	7	44
2 - Старозаводское поле;	21	9	17	8	55
3 - река Кипящая	19	9	15	7	50
<i>Нагорные источники</i>	15	9	14	4	42
<i>Влк. Иван Грозный:</i>					
1 - Вершинные сольфатары;	8	9	13	5	35
2 - Лопастной ист.	14	9	15	5	43
<i>Источники пос. Горячие Ключи</i>	17	9	20	11	57
<i>Дачные источники</i>	22	8	17	7	54
<i>Источники и сольфатары влк. Берутарубе</i>	16	12	9	4	41

Выводы:

1. На исследуемых островах имеются все необходимые условия для использования термальных вод и парогидротерм в промышленности и сельском хозяйстве: для создания небольших по мощности ГеоТЭС, для отопления жилых и производственных помещений, для развития круглогодичных тепличных хозяйств и т.д.
2. Разнообразие бальнеологических типов термальных вод позволяет широко использовать их в бальнеотерапии. На базе термальных источников можно создать современные санаторно-курортные комплексы, что привлечет на острова множество российских и зарубежных рекреантов.
3. Районы термальных источников в настоящее время мало используются в рекреации и туризме. На Южных Курилах есть перспективы для развития лечебно-оздоровительного, спортивно-экстремального, экологического и научного видов туризма.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выходы термальных вод и сольфатарных газов, расположенные в пределах вулканических построек, определены системами радиальных и кольцевых разломов, либо приурочены к тектоническим разломам. Термальные воды разогреваются как за счет тепла остывающих интрузивных тел или при контакте с остывающей подземной частью экстрוזий, так и за счет высоконагретых газов. Исследованные автором термальные источники Южных Курил можно разделить на тринадцать гидрохимических типов по кислотности, газовому и химическому составам. На вулканических постройках происходит классическая смена типов терм с удалением от центра вулканической постройки: от кислых, углекислых, сульфатных терм на сольфатарных полях до нейтральных, азотных, хлоридных натриевых на периферии вулкана. Основным «поставщиком» воды для гидротерм являются инфильтрационные воды. Катионный состав термальных вод формируется, в основном, за счет вмещающих пород. В газовом составе преобладающая роль принадлежит атмосферным и вулканогенным газам.

Гидротермальные системы областей активного вулканизма являются уникальными геосистемами локального уровня, в формировании которых, наряду с солнечной энергией, участвует поток эндогенной энергии. В пределах гидротермальных систем породы сильно изменены, создаются новые формы мезо- и микрорельефа, образуются своеобразные почвы, растительный мир приспособился к экстремальным условиям жизни. Разные типы термальных вод по-разному влияют на компоненты ландшафтов. Повышенное влияние на все компоненты ландшафтов оказывают сольфатарные газы и кислые сульфатные термы сольфатарных полей и долин ручьев в верхнем и среднем течениях. Незначительное влияние на компоненты ландшафта оказывают субнейтральные, слабоминерализованные, хлоридные (хлоридно-сульфатные) натриевые термы периферии вулканов. Не оказывают существенного влияния на ландшафты термальные источники и выходы пара приливно-отливной зоны.

Продолжительный период деятельности геотермальных электростанций на вулканах Менделеева (о. Кунашир) и Баранского (о. Итуруп) способствовал формированию особого типа антропогенного ландшафта: техногенный ландшафт парогидротермальных месторождений. По масштабам влияния на окружающие природные ландшафты ГеоТЭС явно выигрывает перед дизельными электростанциями, так как негативное влияние ограничивается только районом ее местонахождения. Однако ГеоТЭС оказывает на ландшафты специфическое негативное воздействие, выраженное в шумовом загрязнении, сбросе отработанных вод в ручьи и Тихий океан; при выбросе пара растительность окружающих ландшафтов гибнет.

Современное использование термальных вод в хозяйстве региона незначительно. Несмотря на благоприятные условия для развития бальнеотерапии и туризма, эти виды хозяйственной деятельности практически не развиты. На базе парогидротерм можно развивать тепличные комплексы, предприятия по сушке морепродуктов, производству строительных материалов и пр.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абдурахманов, А.И. О вулканической активности на Курильских островах в 1973 г. и о некоторых незафиксированных ранее извержениях / А.И. Абдурахманов, В.И. Федорченко // Вулканизм Курило-Камчатского региона и острова Сахалин. – Владивосток, 1976а. – С. 114-118.
2. Абдурахманов, А.И. Особенности механизма извержения вулкана Тятя в июле 1973 г. / А.И. Абдурахманов, В.И. Федорченко // Труды СахКНИИ ДВНЦ АН СССР. – Владивосток, 1976б. – Вып. №48. – 170 с.
3. Абдурахманов, А.И. Современная вулканическая и сейсмическая активность вулкана Менделеева (о. Кунашир, Курильские острова) / А.И. Абдурахманов, Н.Г. Разжигасева, А.В. Рыбин // Природа Сахалина и Курил. – 2003. – № 10. – С. 277-283.
4. Аверьев, В.В. Гидротермальный процесс в вулканических областях и его связь с магматической деятельностью / В.В. Аверьев // Современный вулканизм. – М., 1966. – Т. 1. – С. 118-128.
5. Аверьев, В.В. Условия разгрузки Паужетских гидротерм на юге Камчатки / В.В. Аверьев // Труды лаборатории вулканологии АН СССР. – Петропавловск-Камчатский, 1961. – Вып. 19. – С. 80-89.
6. Аверьянов, И.П. Новые данные по изотопным соотношениям серы в гидротермах вулкана Менделеева на о. Кунашир / И.П. Аверьянов, Л.И. Божкова // Геохимия. – 1985. – №2. – С. 258-261.
7. Алексеева, Л.М. Флора острова Кунашир / Л.М. Алексеева. – Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1983. – 130 с.
8. Анкудинов, Ф.С. Сахалин – Курилы: природа, здоровье, жизнь / Ф.С. Анкудинов, В.А. Ведмицкий. – Южно-Сахалинск, 1992. – 175 с.
9. Антогина, Т.М. Гидротермальные ресурсы Сахалина и Курильских островов за 1977-1978 гг. (тема: 064/77-78) : отчет / Т.М. Антогина; Сахалинское ГУ. – Южно-Сахалинск, 1978. – С. 100-115. – Инв. №369216 (Росгеолфонд. Центральное фондохранилище).
10. Арсанова, Г.И. Редкие щелочи в термальных водах вулканических областей / Г.И. Арсанова. – Новосибирск, 1974. – 112 с.
11. Атлас Сахалинской области / под ред.: Г.В. Комсомольский, И.М. Сирик. – М.: Главное управление геодезии и картографии при Совете Министров СССР, 1967. – 135 с.
12. Атлас Сахалинской области. Курильские острова. – Южно-Сахалинск.: Ср ВКФ, 1994. – 49 с.
13. Барабанов, Л.Н. Гидротермы Курильской вулканической области / Л.Н. Барабанов. – Петропавловск-Камчатский: Институт вулканологии РАН, 1976. – 460 с.
14. Баркалов, В.Ю. Очерк растительности / В.Ю. Баркалов // Растительный и животный мир Курильских островов. – Владивосток: Дальнаука, 2002. – С. 35-66.
15. Басков, Е.А. Гидротермы Земли / Е.А. Басков, С.Н. Суриков. – Л.: Недра, 1989. – 243 с.
16. Басков, Е.А. Гидротермы Тихоокеанского сегмента Земли / Е.А. Басков, С.Н. Суриков. – М.: Недра, 1975. – 172 с.
17. Башарина, Л.А. Влияние вулканической деятельности на химический состав атмосферных осадков и воздух Камчатки / Л.А. Башарина // Бюллетень вулканологических станций. – № 50. – М.: Наука, 1974. – С. 104-111.
18. Бевз, В.Е. О геологическом строении островов Большой Курильской гряды / В.Е. Бевз, И.Г. Смирнов, Т.П. Королева // Известия Сахалинского отделения Географического общества СССР. – Южно-Сахалинск, 1971. – Вып. 2. – С. 83-101.
19. Белоусов, В.И. Геологическая и гидрогеологическая обстановка геотермальных районов и гидротермальных систем Камчатки / В.И. Белоусов, В.М. Сугробов // Гидротермальные системы и термальные поля Камчатки. – Владивосток, 1976. – С. 5-22.
20. Божкова, Л.И. Проблема гидрохимических предвестников землетрясений и некоторые результаты режимных наблюдений над термальным источником вулкана Менделеева (остров Кунашир) /

- Л.И. Божкова, В.И. Федорченко // Геология и магматизм западного обрамления Тихого Океана. – Владивосток, 1979. – С.57-67.
21. Быкасов, В.Е. Вулканогенные парагенетические ландшафтные комплексы / В.Е. Быкасов // Известия АН СССР. Серия географическая. – 1980. – Вып. 5. – С. 97-105.
22. Быкасов, В.Е. Вулканогенные экосистемы, предпосылки и возможности обособления / В.Е. Быкасов // Известия АН СССР. Серия географическая. – 1987. – Вып. 4. – С. 62-68.
23. Быкасов, В.Е. Вулканогенные экосистемы: предпосылки и возможности обособления / В.Е. Быкасов // Вестник ДВО РАН. – 2005. – С. 91-98.
24. Бязров, Л.Г. Лишайники в экологическом мониторинге / Л.Г. Бязров. – М.: Научный мир, 2002. – 336 с.
25. Вакин, Е.А. Гидротермы Карымского озера после подводного извержения 1996 г. / Е.А. Вакин, Г.Ф. Пилипенко // Вулканология и сейсмология. – 1998. – № 2. – С. 3-27.
26. Вакин, Е.А. Катастрофическая деформация и последующая эволюция высокотемпературной геотермальной системы как результат фреато-магматического извержения в Карымском кальдерном озере / Е.А. Вакин, Г.Ф. Пилипенко // Геодинамика и вулканизм Курило-Камчатской островодужной системы. – Петропавловск-Камчатский, 2001. – С. 274-298.
27. Вакин, Е.А. Мутновский геотермальный район на камчатке / Е.А. Вакин, Г.Ф. Пилипенко // Изучение и использование геотермальных ресурсов в вулканических областях. – М.: Наука, 1979. – С. 36-45.
28. Вакин, Е.А. Основные проблемы геотермии вулканических областей / Е.А. Вакин, Б.Г. Поляк, В.М. Сугробов // Вулканизм и глубины Земли. – М., 1971. – С. 197-202.
29. Вакин, Е.А. Термальные поля и горячие источники Мутновского вулканического района / Е.А. Вакин, И.Т. Кирсанов, Т.П. Кирсанова // Гидротермальные системы и термальные поля Камчатки. – Владивосток: Дальнаука, 1976. – С. 85-114.
30. Вакин, Е.А. Условия обводнения некоторых вулканических сооружений юго-восточной Камчатки / Е.А. Вакин // Современный вулканизм. – М., 1966. – Т. 1. – С. 161-167.
31. Взаимодействие щелочных вод газогидротерм и слабокислых растворов озера: поведение элементов и изменение форм их нахождения (газогидротермы Академии Наук – озеро Карымское, Камчатка) / С.Б. Бортникова, Г.А. Карпов, Е.П. Бессонова, А.А. Смышляева // Гидрогеология и геохимия вод складчатых областей Сибири и Дальнего Востока. – Владивосток: Дальнаука, 2003. – С. 144-155.
32. Виноградов, В.И. Изотопный состав серы в термопроявлениях Камчатки и Курильских островов и его генетическое значение / В.И. Виноградов // Очерки геохимии ртути, молибдена, серы в гидротермальном процессе. – М., 1970. – С. 258-271.
33. Власов, Г.М. Вулканические серные месторождения и некоторые проблемы гидротермального рудообразования / Г.М. Власов. – М.: Наука, 1971. – 360 с.
34. Влодавец, В.И. Вулканы Советского Союза / В.И. Влодавец. – М.: Гос. изд-во геогр. литературы, 1949. – 163 с.
35. Влодавец, В.И. Справочник по вулканологии / В.И. Влодавец. – М.: Наука, 1984. – 340 с.
36. Воробьев, Д.П. Растительность Курильских островов / Д.П. Воробьев. – М., Л.: Изд-во АН СССР, 1963. – 92 с.
37. Воронов, В.Г. Млекопитающие Курильских островов / В.Г. Воронов. – Л.: Наука, 1974. – 162 с.
38. Вулкан Менделеева – история и современное состояние (о. Кунашир, Курильские острова) / А.И. Абдурахманов, Н.Г. Разжигаяева, А.В. Рыбин, В.Б. Гурьянов, Р.В. Жарков // Взаимосвязь между тектоникой, сейсмичностью, магмообразованием и извержениями вулканов в вулканических дугах: мат-лы IV Междунар. совещания. – Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2004. – С. 45-47.
39. Вулканизм и гидротермы Узон-Семячинского геотермального района на Камчатке / В.В. Аверьев, Г.Е. Богоявленская, О.А. Брайцева, Е.А. Вакин, Г.Ф. Пилипенко // Вулканизм и глубины Земли. – М., 1971. – С. 207-211.
40. Вулканическое районирование и контроль состояния вулканов Курильской островной дуги: отчет о НИР / ИМГиГ ДВО РАН; рук. Г.С. Штейнберг; исполн.: В.П. Семакин, А.В. Рыбин, А.Н. Кораблев, Р.Ф. Булгаков, В.Б. Гурьянов – Южно-Сахалинск, 2000. – 97 с. – Инв. № 3166 (Фонды ИМГиГ ДВО РАН).
41. Гавриленко, Г.М. Гидрологическая модель кратерного озера вулкана Малый Семячик (Камчатка) / Г.М. Гавриленко // Вулканология и сейсмология. – 2000. – № 6. – С. 21-31.
42. Гавриленко, Г.М. Гидрохимические исследования активных островодужных вулканов, находящихся в различных гидрологических обстановках / Г.М. Гавриленко // Гидрогеология и геохимия вод складчатых областей Сибири и Дальнего Востока. – Владивосток: Дальнаука, 2003. – С. 133-143.

43. Гавриленко, Г.М. Кратерное озеро вулкана Малый Семьячик (Камчатка): гидролого-гидрохимическая модель / Г.М. Гавриленко // Закономерности строения и эволюции геосфер: мат-лы IV Междунар. междисциплин. науч. симпозиума. – Хабаровск, 1998. – С. 146-149.
44. Газогидротермы активных вулканов Камчатки и Курильских островов: состав, строение, генезис / С.Б. Бортникова, Е.П. Бессонова, М.П. Гора и др.; отв. ред.: О.Л. Гаськова, А.К. Манштейн. – Новосибирск : ИНГГ СО РАН, 2013. – 282 с.
45. Ганзей, К.С. Асимметрия ландшафтных поясов на острове Кунашир (Южные Курилы) / К.С. Ганзей // Мат-лы XII Сессии географов Сибири и Дальнего Востока. – Владивосток. – 2004а. – С. 105-107.
46. Ганзей, К.С. Ландшафтная дифференциация вулкана Менделеева (о. Кунашир, Южные Курилы) / К.С. Ганзей // Геоэкология и проблемы рационального природопользования на Дальнем Востоке: мат-лы конф. Владивосток. – 2004б. – С. 74-77.
47. Ганзей, К.С. Ландшафты и физико-географическое районирование Курильских островов / К.С. Ганзей. – Владивосток: Дальнаука, 2010. – 214 с.
48. Геологическое строение и динамика теплового поля гидротермального участка Кипящий (влк. Баранский, о. Итуруп) / О.В. Веселов, В.П. Семакин, В.В. Соинов, Л.М. Лютая // Геофизика тектоносферы зоны сочленения Тихого Океана с Евразией. – Южно-Сахалинск, 1997. – Том III: Геофизические поля и моделирование тектоносферы. – С.191-234.
49. Геохимические исследования в кратере вулкана Мутновский / Ю.А. Таран, Е.А. Вакин, В.П. Пилипенко и др. // Вулканология и сейсмология. – 1991. – № 5. – С. 37-55.
50. Геохимия вод основных геотермальных районов Камчатки / О.В. Чудаев, В.А. Чудаева, Г.А. Карпов, У.М. Эдмундс. – Владивосток: Дальнаука, 2000. – 157 с.
51. Геохимия гидротерм кальдеры Академии Наук (Камчатка) / Г.А. Карпов, С.Б. Бортникова, Д.Ю. Кузьмин, В.И. Андреев, А.Г. Николаева // Гидрогеология и геохимия вод складчатых областей Сибири и Дальнего Востока. – Владивосток: Дальнаука, 2003. – С. 98-108.
52. Голоценовые отложения и палеогеография острова Кунашир (Курильские острова) / А.М. Короткий, Н.Г. Разжигаева, Т.А. Гребенникова и др. // Тихоокеанская геология. – 1999. – Т. 18, № 1. – С. 25-40.
53. Горшков, Г.С. Вулканы Курильской островной дуги / Г.С. Горшков. – М.: Наука, 1967. – 287 с.
54. Горшков, Г.С. Действующие вулканы Курильской островной дуги / Г.С. Горшков // Труды лаборатории вулканологии АН СССР. – Петропавловск-Камчатский, 1958. – Вып.13. – С. 5-70.
55. Горшков, Г.С. Каталог действующих вулканов Курильских островов / Г.С. Горшков // Бюллетень вулканологических станций АН СССР. – М.: Наука, 1957. – №25. – С. 3-18.
56. ГОСТ 13273-88. Воды минеральные питьевые лечебные и лечебно-столовые: технические условия. – М.: Недра, 1988. – 15 с.
57. Государственная геологическая карта Российской Федерации / под ред. В.К. Ротмана. 1:200 000. – Изд. 2-е. – Серия Курильская. Листы К-55, L-55. Объяснительная записка. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2002. – 269 с. + 6 вкл.
58. Гуменный, Ю.К. Новые данные о проявлениях активного вулканизма на о-ве. Кунашир / Ю.К. Гуменный, Ю.Л. Неверов // Труды СахКНИИ. – Южно-Сахалинск, 1961. – Вып. 10. – С.171-174.
59. Данченко, В.Я. Неогеновые структуры центрального типа и рудная минерализация Большой Курильской гряды / В.Я. Данченко // Геология, металлогения и гидрогеология Сахалина и Курильских островов: сб. науч. трудов. – Владивосток: Изд-во ДВО РАН, 1991. – С. 116-123.
60. Диссимиляционное восстановление неорганических акцепторов электронов термофильными анаэробными прокариотами / А.И. Слободкин, Д.Г. Заварзина, Т.Г. Соколова и др. // Микробиология. – 1999. – Т. 68, №5. – С. 600-622.
61. Дуничев, В.М. Вопросы генезиса гидротерм вулкана Менделеева на о. Кунашир (Курильские острова) / В.М. Дуничев // Гидротермальные минералообразующие растворы областей активного вулканизма. – Новосибирск: Наука, 1974. – С. 19-25
62. Дуничев, В.М. Вулканизм Большой Курильской дуги / В.М. Дуничев. – М.: Недра, 1983. – 120 с.
63. Дуничев, В.М. Кислые туфы в недрах гидротермальной системы Горячий Пляж / В.М. Дуничев // Вулканизм и глубины Земли. – М., 1971. – С. 276-280.
64. Дуничев, В.М. Новые данные о месторождении парагидротерм «Горячий пляж» (о. Кунашир) / В.М. Дуничев, И.И. Ризнич // Известия ВУЗов. Геология и разведка. – 1969. – №1. – С. 80-81.

65. Дуничев, В.М. Парогидротермы Горячего пляжа (новые данные по результатам буровых работ 1966 г.) / В.М. Дуничев, И.И. Ризнич // Бюллетень вулканологических станций. – М.: Наука, 1968. – №44. – С. 51-53.
66. Ежкин, А.К. Оценка влияния фумарольной активности вулкана Менделеева на природную среду методом лишеноиндикации / А.К. Ежкин, А.В. Кордюков // Географические и геоэкологические исследования на Дальнем Востоке: мат-лы XII Молодежной конф. с элементами науч. шк., г. Владивосток, 15-16 октября 2014). – Владивосток: Дальнаука, 2014. – Вып. 10. – С. 46-48.
67. Ежкин, А.К. Оценка воздействия Старозаводского сольфатарного поля и ГеоТЭС «Океанская» на природную среду вулкана Баранского методом лишеноиндикации / А.К. Ежкин, Р.В. Жарков // Вулканизм, биосфера и экологические проблемы: сб. мат-лов Седьмой междунар. науч. конф., г. Майкоп. – Майкоп: Изд-во АГУ, 2013. – С. 218-221.
68. Еремин, В.М. Атлас анатомии коры деревьев, кустарников и лиан Сахалина и Курильских островов / В.М. Еремин, А.В. Копанина; отв. ред. д.б.н. Е.С. Чавчавадзе. – Брест: «Полиграфика», 2012. – 896 с.
69. Еремин, В.М. Особенности анатомической структуры стебля *Hydrangea paniculata* в условиях гидротерм и сольфатар вулкана Менделеева (о-в Кунашир) / В.М. Еремин, А.В. Копанина // Проблемы и достижения в геологических и геофизических исследованиях в зоне Курильских островов и о. Хоккайдо: сильные землетрясения, цунами и извержения вулканов: тез. докл. Междунар. науч. симпозиума, г. Южно-Курильск, 6-11 октября 2007 г. – Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2007. – С. 46-49.
70. Ермаков, В.А. Вулкан Кудрявый и эволюция кальдеры Медвежья (о. Итуруп, Курильские острова) / В.А. Ермаков, Г.С. Штейнберг // Вулканология и сейсмология. – 1999. – № 3. – С. 19-40.
71. Ермаков, В.А. Геология кальдеры Медвежья (о. Итуруп, Курильские острова) / В.А. Ермаков, В.П. Семакин // ДАН. – 1996. – Т. 351, № 3. – С. 361-365.
72. Ерошев-Шак, В.А. Глинистые минералы в современных вулcano-гидротермальных системах / В.А. Ерошев-Шак, Б.П. Золотарев, Г.А. Карпов // Вулканология и сейсмология. – 2005. – № 4. – С. 11-24.
73. Есиков, А.Д. Изотопно-гидрохимическое изучение современной гидротермальной деятельности в кальдере Узон (Камчатка). Гидроизотопная модель гидротермальной системы кальдеры Узон / А.Д. Есиков, Г.А. Карпов, А.Л. Чешко // Вулканология и сейсмология. – 1989. – № 4. – С. 43-58.
74. Жарков, Р.В. Влияние современной гидротермально-сольфатарной деятельности на компоненты ландшафтов вулкана Менделеева (остров Кунашир, Курильские острова) / Р.В. Жарков // Географические и геоэкологические исследования на Дальнем Востоке: сб. науч. статей молодых ученых. – Вып. 4. – Владивосток: Дальнаука, 2008. – С. 20-27.
75. Жарков, Р.В. Влияние сольфатарно-гидротермальной деятельности вулканов на компоненты ландшафтов (влк. Менделеева, о-в Кунашир, Курильские острова) / Р.В. Жарков, Т.М. Побережная // Вестник ДВО РАН. – 2008а. – №1. – С. 53-58.
76. Жарков, Р.В. Вулканические формы рельефа хребта Грозный (остров Итуруп, Курильские острова) / Р.В. Жарков // Геоморфология и картография: мат-лы XXXIII Пленума Геоморфологической комиссии РАН, г. Саратов, 17-20 сентября 2013 г. – Саратов: Изд-во СарГУ, 2013а. – С. 383-386.
77. Жарков, Р.В. Геохимия термальных вод вулканов Менделеева и Руруй / Р.В. Жарков // Проблемы геологии и освоения недр: тр. VIII Междунар. симпозиума студентов и молодых ученых им. акад. М.А. Усова. – Томск: ТПУ, 2004а. – С. 232-234.
78. Жарков, Р.В. Гидротермальные воды вулкана Менделеева (о. Кунашир, Курильские острова) / Р.В. Жарков // Изучение природных катастроф на Сахалине и Курильских островах: тез. докл. I (XIX) Междунар. конф. молодых ученых, г. Южно-Сахалинск, 15-20 июня 2006 г. – Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2006. – С. 103-105.
79. Жарков, Р.В. Гидротермы вулкана Головнина (о. Кунашир, Курильские острова) / Р.В. Жарков // Природные катастрофы: изучение, мониторинг, прогноз: тез. докл. V Сахалинской молодеж. науч. шк., г. Южно-Сахалинск, 8-11 июня 2010 г. – Южно-Сахалинск: Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, 2010а. – С. 98-99.
80. Жарков, Р.В. Ландшафтно-геохимические особенности термопроявлений вулкана Менделеева (о. Кунашир, Курильские о-ва) / Р.В. Жарков, Т.М. Побережная // Мат-лы XIII науч. совещания географов Сибири и Дальнего Востока, г. Иркутск, 27-29 ноября 2007 г. – Т. 1. – Иркутск: Изд-во ИГ СО РАН, 2007. – С. 137-139.
81. Жарков, Р.В. Нескученские источники термальных вод на севере острова Кунашир, Курильские острова, Россия / Р.В. Жарков // Летопись природы заповедника «Курильский». – Южно-Курильск, 2003. – С. 66-76.

82. Жарков, Р.В. Новые данные о гидротермах острова Кунашир / Р.В. Жарков // Вулканизм, биосфера и экологические проблемы: сб. мат-лов VII Междунар. науч. конф., г. Майкоп. – Майкоп: Изд-во АГУ, 2013б. – С. 36-38.
83. Жарков, Р.В. Первая полевая вулканологическая экскурсия молодых ученых на остров Кунашир (Курильские острова) / Р.В. Жарков, Д.Н. Козлов // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2009. – Выпуск № 14. – С. 173-175.
84. Жарков, Р.В. Перспективы развития лечебно-оздоровительного туризма на базе Нижнедокторских термальных источников (о. Кунашир, Курильские острова) / Р.В. Жарков // Географические факторы регионального развития Азиатской России: сб. мат-лов конф., г. Владивосток, 18-19 апреля 2013 г. – Владивосток: Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, 2013в. – С. 336-338.
85. Жарков, Р.В. Современная сольфатарно-гидротермальная активность вулканов острова Кунашир / Р.В. Жарков // Проблемы и достижения в геологических и геофизических исследованиях в зоне Курильских островов и о. Хоккайдо: сильные землетрясения, цунами и извержения вулканов: тез. докл. Междунар. науч. симпозиума, г. Южно-Курильск, 6-11 октября 2007 г. – Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2007а. – С. 18-20.
86. Жарков, Р.В. Современная сольфатарно-гидротермальная деятельность вулкана Головнина (о. Кунашир, Курильские острова) / Р.В. Жарков, Д.Н. Козлов // Природные катастрофы: изучение, мониторинг, прогноз: сборник материалов V Сахалинской молодежной научной школы, г. Южно-Сахалинск, 8-11 июня 2010 г. – Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2011. – С.136-144.
87. Жарков, Р.В. Современная сольфатарно-гидротермальная деятельность вулканов хребта Грозный (о. Итуруп, Курильские острова) / Р.В. Жарков // Природные катастрофы: изучение, мониторинг, прогноз: сб. мат-лов IV Сахалинской молодеж. науч. шк., г. Южно-Сахалинск, 2-5 июня 2009 г. – Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2010б. – С. 191-197.
88. Жарков, Р.В. Термальные проявления северной части о. Кунашир (Курильские острова) / Р.В. Жарков // Молодые научные резервы Сахалина. Наука и развитие региона: тез. докл. XVIII конф. молодых ученых, г. Южно-Сахалинск, 12-14 октября 2004 г. – Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2004б. – С. 12-14.
89. Жарков, Р.В. Термальные проявления северной части о. Кунашир (Курильские острова) / Р.В. Жарков // Молодые научные резервы Сахалина. Наука и развитие региона: докл. XVIII конф. молодых ученых, г. Южно-Сахалинск, 12-14 октября 2004 г. – Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2005. – С. 30-38.
90. Жарков, Р.В. Термопроявления вулкана Менделеева и их ландшафтно-геохимические особенности (о. Кунашир, Курильские о-ва) / Р.В. Жарков, Т.М. Побережная // Изменения климата, природные катастрофы и становление ландшафтов юга Дальнего Востока в плейстоцене-голоцене. – Владивосток: Дальнаука, 2008б. – С. 46-54.
91. Жарков, Р.В. Условия формирования термальных вод вулкана Менделеева (о. Кунашир, Курильские острова) / Р.В. Жарков // Изучение природных катастроф на Сахалине и Курильских островах: сб. мат-лов I (XIX) Междунар. конф. молодых ученых, Южно-Сахалинск, 15-20 июня 2006 г. – Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2007б. – С. 143-150.
92. Жарков, Р.В. Эксплозивное извержение вулкана Иван Грозный в 2012-2013 гг. (остров Итуруп, Курильские острова) / Р.В. Жарков, Д.Н. Козлов // Вестник ДВО РАН. – 2013. – №3. – С. 39-44.
93. Желубовский, Ю.С. Курильские острова. Стратиграфия / Ю.С. Желубовский, А.Ф. Прялухина // Геология СССР. Т. XXXI. – М.: Недра, 1964. – Ч.1. – С. 527-553.
94. Жидкова, Л.С. Атлас неогеновых моллюсков Курильских островов / Л.С. Жидкова, Неверова Т.И.; ред. Р.Л. Мерклин. – М.: Наука, 1972. – 166с.
95. Жучкова, В.К. Методы комплексных физико-географических исследований: уч. пособие для студ. ВУЗов / В.К. Жучкова, Э.М. Раковская. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 368 с.
96. Завадская, А.В. Геоэкологические аспекты развития рекреационного природопользования на особо охраняемых природных территориях Камчатского края: автореф. дис. ... канд. геогр. наук / А.В. Завадская. – М., 2012. – 25 с.
97. Заварзин, Г.А. Бактерии на вулканах / Г.А. Заварзин // Природа. – 1973. – № 7. – С. 66-71.
98. Заварзин, Г.А. Эволюция геосферно-биосферной системы / Г.А. Заварзин // Природа. – 2003. – № 1. – С. 27-35.
99. Знаменский, В.С. Происхождение катионов термальных вод Южных Курильских островов (с учетом изотопно-геохимических данных по РЗЭ и стронцию) / В.С. Знаменский, Д.З. Журавлев // Современные гидротермы и минералообразование. – М.: Наука, 1988. – С. 25-34.

100. Знаменский, В.С. Вулканогенные серные руды Курильских островов (геология, петрография, условия образования) / В.С. Знаменский // Геохимия и минералогия серы. – М.: Наука, 1972. – С. 185-212.
101. Знаменский, В.С. Гидротермы центральной части острова Итуруп (Курильские острова) / В.С. Знаменский, И.Б. Никитина // Вулканология и сейсмология. – 1985. – №5. – С. 44-64.
102. Зотов, А.В. Некоторые особенности современной гидротермальной деятельности в кальдере вулкана Головинина (о-в Кунашир) / А.В. Зотов, В.И. Сорокин, И.Б. Никитина // Современные гидротермы и минералообразование. – М.: Наука, 1988. – С. 54-69.
103. Иванов, В.В. Генетическая классификация минерализованных вод земной коры / В.В. Иванов // Вопросы гидрогеологии минеральных вод: Труды ЦНИИ курортологии и физиотерапии. – М., 1977. – Т. XXXV. – С. 3 - 58.
104. Иванов, В.В. Гидротермы очагов современного вулканизма Камчатки и Курильских островов / В.В. Иванов // Труды лаборатории вулканологии АН СССР. – Петропавловск-Камчатский, 1956. – Вып.12. – С. 197-217.
105. Иванов, В.В. Минеральные воды Востока СССР. Том V: Термальные воды Курильских островов: отчет по научной работе Курильского отряда Сахалинской экспедиции за 1953 и 1954 гг. – М., 1955. – 291 с. – Инв. №1210 (Росгеолфонд, Центральное фондохранилище).
106. Иванов, В.В. Основные геологические условия и геохимические процессы формирования термальных вод областей современного вулканизма / В.В. Иванов // Труды лаборатории вулканологии АН СССР. – Петропавловск-Камчатский, 1961. – Вып. 19. – С. 53-68.
107. Иванов, В.В. Основные закономерности формирования и распространения термальных вод Камчатки / В.В. Иванов // Труды лаборатории вулканологии АН СССР. – Петропавловск-Камчатский, 1958. – Вып. 13. – С. 186-211.
108. Иванов, В.В. Проблемы генезиса терм регионов активного вулканизма / В.В. Иванов, В.И. Кононов // Известия АН СССР. Серия геологическая. – 1977. – № 11. – С. 131-143.
109. Ивлев, А.М. Географические закономерности формирования почвенного покрова в зоне перехода Азиатского континента к Тихому океану (советский сектор) / А.М. Ивлев // Почвы островов и притихоокеанских регионов Тихого океана: мат-лы XIV Тихоокеанского Конгресса. – Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1982. – С. 19-26.
110. Извержение вулкана Иван Грозный в 1989 г. / А.И. Абдурахманов, Т.К. Злобин, Е.К. Мархинин, Р.З. Тараканов // Вулканология и сейсмология. – 1990. – №4. – С. 3-9.
111. Извлечение химических соединений и проблема комплексного использования гидротермального теплоносителя / В.В. Потапов, В.А. Горбач, С.А. Смывалов и др. // Геотермальные и минеральные ресурсы областей современного вулканизма: мат-лы Междунар. полевого Курило-Камчатского семинара, г. Петропавловск-Камчатский, 16 июля-6 августа 2005 г. – Петропавловск-Камчатский: «ОТТИСК», 2005. – С. 428-441.
112. Изотопный состав углерода углекислоты в вулканических газах Камчатки и Курильских островов / И.А. Меняйлов, Л.П. Никитина, Г.И. Буачидзе, А.М. Рожков // Вулканология и сейсмология. – 1983. – № 2. – С. 36-43.
113. Исаченко, А.Г. Ландшафтоведение и физико-географическое районирование / А.Г. Исаченко. – М.: Высшая школа, 1991. – 368 с.
114. Исаченко, А.Г. Ландшафты / А.Г. Исаченко, А.А. Шляпников. – М.: Мысль, 1989. – 505 с.
115. Исследование условий водного питания Мутновского геотермального месторождения с использованием данных по изотопии кислорода (O18) и водорода (D) / А.В. Кирюхин, М. Такахаша, А.Ю. Поляков, М.Д. Лесных, О.П. Ботаева // Вулканология и сейсмология. – 1998. – № 4-5. – С. 54-62.
116. К минералогии натечных кремнистых кор в долине р. Лесной (о-в Кунашир) / Л.М. Лебедев, В.М. Дуничев, И.Б. Никитина и др. // Современные гидротермы и минералообразование: сб. ст. / ред. Ф.В. Чухров. – М.: Наука, 1988. – С. 89-98.
117. Карпов, Г.А. Расплав самородной серы на дне вулканического озера: причины образования и следствия / Г.А. Карпов // ДАН. – 1997. – Т. 357. – С. 95-98.
118. Карпов, Г.А. Состав воздуха и спонтанных газов в Долине смерти на Камчатке / Г.А. Карпов, Ю.М. Миллер, Г.А. Заварзин // Вулканология и сейсмология. – 1983. – № 4. – С. 107-110.
119. Карпов, Г.А. Узон-Гейзерная рудообразующая система Камчатки / Г.А. Карпов, А.П. Павлов. – Новосибирск: Наука, 1976. – 96 с.
120. Карпов, Г.А. Экспериментальные исследования минералообразования в геотермальных скважинах / Г.А. Карпов. – М.: Наука, 1976. – 171 с.

121. Кирюхин, А.В. Проблемы геотермальных исследований в областях современного вулканизма / А.В. Кирюхин // Гидрогеология и геохимия вод складчатых областей Сибири и Дальнего Востока. – Владивосток: Дальнаука, 2003. – С. 155-167.
122. Кобаякава, М. Изотопный состав природных вод. Содержание дейтерия в воде горячих источников / М. Кобаякава // Нихон кагаку дзасси. – 1960. – Т. 81, №1. – С. 1682-1687.
123. Козлов, Д.Н. Морфология и генезис озер кальдерных комплексов Головнина и Заварицкого (Курильские острова) / Д.Н. Козлов, Р.В. Жарков // Вестник ДВО РАН. 2010. – №3. – С. 103-106.
124. Козлов, Д.Н. Реконструкция фреатического взрыва в кальдере вулкана Головнина (Остров Кунашир, Курильские острова) / Д.Н. Козлов // Изучение природных катастроф на Сахалине и Курильских островах: тез. докл. I (XIX) Междунар. конф. молодых ученых, г. Южно-Сахалинск, 15-20 июня 2006 г. – Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2006. – С. 106-109.
125. Козлов, Д.Н. Современные методы исследований внутрикальдерных озер активных вулканов (на примере вулкана Головнина, о. Кунашир, Курильские о-ва) / Д.Н. Козлов, А.Б. Белоусов // Мат-лы XIII науч. совещания географов Сибири и Дальнего Востока, г. Иркутск, 27 сентября-03 октября 2007 г. – Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2007а. – Т. 1. – С. 142-144.
126. Козлов, Д.Н. Характеристики отложений тефры последнего фреатического извержения в кальдере Головнина (Кунашир, Курильские острова) – ключ к оценке опасности будущих извержений / Д.Н. Козлов, А.Б. Белоусов // Изучение природных катастроф на Сахалине и Курильских островах: сб. мат-лов I (XIX) Междунар. конф. молодых ученых, г. Южно-Сахалинск, 15-20 июня 2006 г. – Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2007б. – С. 164-166.
127. Комиссаренко, Б.Т. Минеральные источники и лечебные грязи Сахалина и Курил / Б.Т. Комиссаренко. – Южно-Сахалинск: Сахалинское книжное издательство, 1964. – 115 с.
128. Кононов, В.И. Большие Банные источники на Камчатке / В.И. Кононов, Б.Г. Поляк // Гидро-геотермические условия в верхней части земной коры. – М.: Наука, 1964. – С. 52-71.
129. Кононов, В.И. Геохимия термальных вод областей современного вулканизма / В.И. Кононов. – М.: Наука, 1983. – 215 с.
130. Кононов, В.И. Освоение гидротермальных ресурсов за рубежом / В.И. Кононов // Геотермические исследования в Средней Азии и Казахстане. – М.: Наука, 1985. – С. 18-37.
131. Концентрирование микроэлементов термофилами горячих источников Узона и Долины Гейзеров на Камчатке / Г.А. Карпов, Г.Н. Саенко, В.Ф. Макиенко и др. // Вулканология и сейсмология. – 1983. – №6. – С. 40-49.
132. Копанина, А.В. Структурные особенности коры некоторых кустарников и кустарничков в условиях гидротермальной активности вулканов острова Кунашир (Южные Курильские острова) / А.В. Копанина, В.М. Еремин // Структурные и функциональные отклонения от нормального роста и развития растений под воздействием факторов среды: мат-лы Междунар. конф., г. Петрозаводск, 20-24 июня 2011 г. – Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2011. – С. 127-131.
133. Копанина, А.В. Структурные реакции стебля древесных растений на гидросольфатарную деятельность вулканов Курильских островов: постановка проблемы, цели и задачи и исследований / А.В. Копанина // Природные катастрофы: изучение, мониторинг, прогноз: тез. докл. Второй (XX) Сахалинской молодежной науч. шк., г. Южно-Сахалинск, 4-10 июня 2007 г. – Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2007. – С. 83-84.
134. Корсунская, Г.В. Курильская островная дуга / Г.В. Корсунская. – М.: Главное издательство географической литературы, 1958. – 222 с.
135. Косолапов, А.Б. Экологический туризм в Приморском крае и работа гида на маршруте: методические рекомендации / А.Б. Косолапов, Н.Г. Мизь. – Владивосток, 2002. – 27 с.
136. Кулаков, А.П. Об основных чертах четвертичного рельефообразования островов Курильской гряды / А.П. Кулаков // Вопросы геоморфологии и морфотектоники южной части Дальнего Востока. – Владивосток: Дальневосточное книжное изд-во, 1965. – С. 73-83.
137. Курбанов, М.К. Геотермальные и гидроминеральные ресурсы Восточного Кавказа и Предкавказья / М.К. Курбанов. – М.: Наука, 2001. – 260 с.
138. Курильские острова (природа, геология, землетрясения, вулканы, история, экономика) / под ред.: Т.К. Злобина, М.С. Высокова. – Южно-Сахалинск, 2004. – 227 с.
139. Лебедев, Л.М. Новые данные по минералогии колчеданной залежи на северо-восточном склоне вулкана Менделеева / Л.М. Лебедев, Л.П. Шурманов, И.Б. Никитина // Современные гидротермы и минералообразование: сб. ст. / ред. Л.М. Лебедев. – М.: Наука, 1977. – С. 104-122.

140. Лебедев, Л.М. Онофрит в зонах молодых нарушений Северо-Восточного сольфатарного поля влк. Менделеева / Л.М. Лебедев // Современные гидротермы и минералообразование: сб. ст. / ред. Ф.В. Чухров. – М.: Наука, 1988. – С. 86-89.
141. Лебедев, Л.М. Особенности состава и металлоносность гидротерм аппаратов вулканов (на примере вулканов Менделеева и Головнина) / Л.М. Лебедев, И.Б. Никитина // Современные гидротермы и минералообразование: сб. ст. / ред. Л.М. Лебедев. – М.: Наука, 1977. – С. 5-25.
142. Лебедев, Л.М. Особенности состава и металлоносность современных гидротерм / Л.М. Лебедев // Современные рудообразующие процессы. – М.: Недра, 1975. – 261 с.
143. Лупкина, Е.Г. Динамика биоценозов бассейна озера Карымское (Камчатка) в посткатастрофический период / Е.Г. Лупкина, Г.А. Карпов, Т.В. Бонк // Вулканизм, биосфера и экологические проблемы: мат-лы IV Междунар. науч. конф. – Туапсе, 2006. – С. 84-85.
144. Магматические комплексы и редкометальное оруденение вулкана Кудрявый (о. Итуруп, Курильские острова) / А.В. Рыбин, В.Я. Данченко, М.В. Чибисова и др. // Вестник Сахалинского музея. Ежегодник ГБУК «Сахалинский областной краеведческий музей». – Южно-Сахалинск: ГБУК «Сахалинский областной краеведческий музей», 2000. – № 7. – С. 234-259.
145. Макдональд, Г. Вулканы / Г. Макдональд. – М.: Мир, 1975. – 432 с.
146. Манько, Ю.И. Влияние вулканизма на растительность / Ю.И. Манько, А.Н. Сидельников. – Владивосток: ДВО АН СССР, 1989. – С. 83-107.
147. Манько, Ю.И. Влияние современного вулканизма на растительность Камчатки и Курильских островов / Ю.И. Манько // Комаровские чтения. – Владивосток, 1974. – Вып. XXII. – С. 5-31.
148. Манько, Ю.И. Высотная поясность растительности на вулкане Менделеева / Ю.И. Манько, В.А. Розенберг. – Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1970. – С. 65-71.
149. Мархинин, Е.К. Вулкан Менделеева и его состояние летом 1954 г. / Е.К. Мархинин // Бюллетень вулканологических станций. – М.: Наука, 1956а. – №24. – С. 33-38.
150. Мархинин, Е.К. Вулканы острова Кунашир / Е.К. Мархинин // Труды лаборатории вулканологии АН СССР. – Петропавловск-Камчатский, 1959. – Вып. 17. – С. 64-110.
151. Мархинин, Е.К. Выходы пара на о-ве Кунашир (Горячий пляж) / Е.К. Мархинин // Бюллетень вулканологических станций. – М.: Наука, 1966. – №28. – С.33-42.
152. Мархинин, Е.К. Гидротермы Курильских островов / Е.К. Мархинин, Д.С. Стратула. – М.: Наука, 1977. – 212 с.
153. Мархинин, Е.К. О приуроченности парогидротермальных проявлений на острове Кунашир к разрывным нарушениям / Е.К. Мархинин // Бюллетень вулканологических станций. – М.: Наука, 1956б. – №24. – С. 39-46.
154. Миграция химических элементов в подземных водах СССР / Труды ГИН. – М.: Наука, 1974. – Вып. 261. – 241 с.
155. Микроминеральные выделения в термофильных цианобактериальных сообществах / Т.А. Федорова, Л.М. Герасименко, Р.А. Бочко, Г.А. Заварзин // Вулканология и сейсмология. – 1988. – № 1. – С. 101-104.
156. Набоко, С.И. Вулканические эксгаляции и продукты их реакций / С.И. Набоко. – М.: Изд-во АН СССР, 1959. – 304 с.
157. Набоко, С.И. Гейзеры Камчатки / С.И. Набоко // Труды лаборатории вулканологии АН СССР. – Петропавловск-Камчатский, 1954. – Вып. 8. – С. 126-209.
158. Набоко, С.И. Металлоносность современных гидротерм в областях тектоно-магматической активности / С.И. Набоко. – М.: Наука, 1980. – 199 с.
159. Набоко, С.И. Образование силикагеля на сольфатарах вулкана Головнина на острове Кунашир / С.И. Набоко, В.Г.Сильниченко // Геохимия. – 1957. – №3. – С. 253-256.
160. Набоко, С.И. Химические типы вулканических вод / С.И. Набоко // Гидротермальные минералообразующие растворы областей активного вулканизма. – Новосибирск: Наука, 1974. – С. 8-14.
161. Надеин, А.Ф. Миграция серы и тяжелых металлов в древесных растениях лесных экосистем вблизи Архангельска / А.Ф. Надеин, С.И. Тарханов, И.Г. Правдина // Экологическая химия. – 2004. – Т. 13, № 3. – С. 181-185.
162. Никитина, И.Б. Состав и металлоносность гидротерм Курильской островной дуги / И.Б. Никитина // Современные гидротермы и минералообразование: сб. ст. / ред. Ф.В. Чухров. – М.: Наука, 1988. – С.5-22.

163. Новограбленов, П.Т. Каталог вулканов Камчатки / П.Т. Новограбленов // Известия государственного географического общества. – 1932. – Т. 64, Вып. 1. – С. 88-99.
164. Оказание услуг по созданию кадастра рекреационных ресурсов, проведение комплексного исследования и производства работ в области разведки и использования имеющихся природных ресурсов Сахалинской области: отчет о НИР (по договору №0161200001714000173-0063761-03 от «22» июля 2014 г.) / ИМГиГ ДВО РАН; отв. исполн. Р.В. Жарков. – Южно-Сахалинск, 2014. – 268 с.
165. Остапенко, В.Ф. Геологическое строение кальдер Медвежьей и Заварицкого и связь с ними полезных ископаемых: автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук / В.Ф. Остапенко. – Южно-Сахалинск, 1969. – 19 с.
166. Отман, Н.С. Прогнозная оценка теплоэнергетической мощности месторождений парогидротерм методом аналогии: сб. ст. – М.: ВСЕГИНГЕО, 1989. – 42 с.
167. Отчет комиссии по исследованию землетрясений. Об обследовании грохота вулкана Раусу на о-ве Кунашир (на яп. яз.). – 1901. – № 2. – С. 5-15.
168. Пампура, В.Д. Гидротермы долгоживущих вулканических центров / В.Д. Пампура. – М.: Наука, 1981. – 179 с.
169. Пампура, В.Д. Изотопный состав стронция современных гидротерм Камчатки / В.Д. Пампура, Г.С. Плюснин, Г.П. Сандиминова // Геохимия. – 1977. – № 7. – С. 1087-1091.
170. Перельман, А.Н. Геохимия ландшафта / А.Н. Перельман, Н.С. Касимов. – М.: Астрель-2000, 1999. – 768 с.
171. Пийп, Б.И. Термальные ключи Камчатки / Б.И. Пийп // Труды СОПС АН СССР. Сер. Камчатская. – 1937. – Вып. 2. – 268 с.
172. Пилипенко, Г.Ф. Гидротермы Карымского вулканического центра на Камчатке / Г.Ф. Пилипенко // Вулканология и сейсмология. – 1989. – № 6. – С. 85-101.
173. Пилипенко, Г.Ф. Гидрохимическая аномалия Узонского термального поля на Камчатке / Г.Ф. Пилипенко // Вулканизм и глубины Земли. – М., 1971. – С. 229-238.
174. Пилипенко, Г.Ф. Гидрохимическая характеристика Узонской термоаномалии / Г.Ф. Пилипенко // Вулканизм, гидротермальный процесс и рудообразование. – М.: Недра, 1974. – С. 83-109.
175. Пилипенко, Г.Ф. Парогидротермы кальдеры Узон / Г.Ф. Пилипенко // Гидротермальные системы и термальные поля Камчатки. – Владивосток, 1976. – С. 237.
176. Пискунов, Б.Н. Вулканизм Большой Курильской гряды и петрология пород высокоглиноземистой серии (на примере островов Уруп и Симушир) / Б.Н. Пискунов. – Новосибирск, М.: Наука, 1975. – 187 с.
177. Пискунов, Б.Н. Геолого-петрологическая специфика вулканизма островных дуг / Б.Н. Пискунов. – М.: Наука, 1987. – 237 с.
178. Пискунов, Б.Н. О плиоценовых отложениях южной части о. Кунашир (Курильские о-ва) / Б.Н. Пискунов // Труды СахКНИИ. – Южно-Сахалинск, 1963. – Вып.15. – С. 82-84.
179. Пискунов, Б.Н. Петрогеохимическая характеристика кальдеры Медвежьей (о. Итуруп, Курильские острова) / Б.Н. Пискунов, А.В. Рыбин, К.Ф. Сергеев // ДАН. – 1999. – Т. 368, № 3. – С. 380-384.
180. Побережная, Т.М. Биогеохимические и анатомические особенности растений в местах проявления современного вулканизма / Т.М. Побережная, А.В. Копанина // Сибирский экологический журнал. – 2011. – № 2. – С. 285-292.
181. Побережная, Т.М. Геохимия природных и техногенных ландшафтов Сахалина и Южных Курильских островов / Т.М. Побережная. – Владивосток: Дальнаука, 2010. – 124 с.
182. Подводное извержение в кальдере Академии Наук (Камчатка) и его последствия: гидрологические, гидрохимические и гидробиологические исследования / С.М. Фазлуллин, С.В. Ушаков, Р.А. Шувалов, М. Аоки, А.Г. Николаева, Е.Г. Лупикина // Вулканология и сейсмология. – 2000. – № 4. – С. 19-32.
183. Поиски термальных вод на участке «Рейдовской» термоаномалии (о. Итуруп): отчет Итурупской ГПП за 1979-1982 гг. Том I / исполн.: Г.М. Асаулов, В.Г. Гальверсен, Ю.М. Цинман. – Южно-Сахалинск: Сахалингеология, 1982. – 131 с. – Инв. №5700 (Росгеолфонд, Центральное фондохранилище).
184. Поиски термальных вод на участке термопроявлений «Дачное» (о. Итуруп): отчет Итурупской ГПП за 1979-1987 гг. / исполн.: В.И. Пчелкин, В.Г. Гальверсен и др. – Южно-Сахалинск: Сахалингеология, 1987. – 291 с. – Инв. №6367 (Росгеолфонд, Центральное фондохранилище).
185. Полезные ископаемые Сахалинской области / ред. кол.: А.М. Меренков и др. – Южно-Сахалинск: Сахалинское книжное издательство, 2002. – 120 с.

186. Природные условия и ресурсы Чукотского полуострова / Н.К. Железнов-Чукотский, Н.А. Секретарева, Т.И. Астахова и др. – М.: ГЕОС, 2003. – 503 с.
187. Происхождение вулканических серий островных дуг / Т.И. Фролова, И.А. Бурикова, А.В. Гушин и др. – М.: Недра, 1985. – 275 с.
188. Пчелкин, В.И. Гидрохимия и методика поиска термальных вод в районах современного вулканизма (на примере о-ва Итуруп) / В.И. Пчелкин // Геология, металлогения и гидрогеология Сахалина и Курильских островов. – Владивосток, 1991а. – С. 137-140.
189. Пчелкин, В.И. К вопросу о минеральных водах центральной части острова Итуруп / В.И. Пчелкин // Геология, металлогения и гидрогеология Сахалина и Курильских островов. – Владивосток, 1991б. – 141 с.
190. Разжигаева, Н.Г. Возраст и происхождение луговых сообществ Южных Курил / Н.Г. Разжигаева, Л.М. Мохова // Исследование и конструирование ландшафтов Дальнего Востока и Сибири. – Владивосток: ВГУЭС, 2001. – С. 62-83.
191. Разжигаева, Н.Г. Изменение островных геосистем под воздействием катастрофических процессов (на примере Южных Курил в позднем плейстоцене-голоцене) / Н.Г. Разжигаева, Л.А. Ганзей // Вестник ДВО РАН. – 2004. – № 2. – С. 94-102.
192. Разжигаева, Н.Г. Эволюция четвертичных обстановок осадконакопления на островах Восточной Азии: автореф. дис. ... д-ра геогр. наук / Н.Г. Разжигаева. – СПб., 2005. – 43 с.
193. Растения гидротерм Камчатки / В.В. Амосов, М.В. Марков, В.Н. Зеленков и др. // Вулканизм, биосфера и экологические проблемы: мат-лы IV Междунар. науч. конф. –Туапсе, 2006. – С. 81-82.
194. Ресурсы поверхностных вод СССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1973. – Том 18: Дальний Восток, вып. 4: Сахалин и Курилы. – 262 с.
195. Ритман, А. Вулканы и их деятельность / А. Ритман. – М.: Мир, 1964. – 437 с.
196. Рычагов, С.Н. Гидротермальная система вулкана Баранского, о. Итуруп: модель геологической структуры / С.Н. Рычагов // Вулканология и сейсмология. – 1993. – №2. – С. 59-74.
197. Рычагов, С.Н. Рудные элементы в зоне гипергенеза месторождения парогидротерм: распределение, формы миграции, источники / С.Н. Рычагов, Г.П. Королева, И.И. Степанов // Вулканология и сейсмология. – 2002. – № 2. – С. 37-58.
198. Сергеев, К.Ф. Тектоника Курильской островной системы / К.Ф. Сергеев. – М.: Наука, 1976. – 239 с.
199. Сержников, А.И. Геохимия и условия формирования термальных вод Южной Камчатки: дис. ... канд. геол.-мин. наук / А.И. Сержников. – М., 1981. – 150 с.
200. Сержников, А.И. Сульфатные термальные воды Камчатки / А.И. Сержников // ДАН СССР. – 1977. – Т. 235, № 6. – С. 1419-1422.
201. Сидоров, С.С. Гидротермальная деятельность кальдеры Головнина (о-в Кунашир) / С.С. Сидоров // Бюллетень вулканологических станций. – М.: Наука, 1966. – №42. – С. 22-29.
202. Сидоров, С.С. Месторождение термальной воды и пара Горячий пляж (о. Кунашир) / С.С. Сидоров // Труды СахКНИИ. – Южно-Сахалинск, 1962. – Вып. 12. – С. 166-175.
203. Сидоров, С.С. Термальные воды Курильских островов / С.С. Сидоров // Современный вулканизм. – Т.1. – М.: Наука, 1966. – С. 211-218.
204. Сидоров, С.С. Условия формирования и геохимические особенности весьма кислых термальных вод Сибири и Дальнего Востока / С.С. Сидоров // Формирование и геохимия подземных вод Сибири и Дальнего Востока. – М., 1967. – С. 80-87.
205. Скирина, И.Ф. Эпифитные лишайники Приморского края и их использование в экологическом мониторинге / И.Ф. Скирина, С.И. Коженкова, И.М. Родникова // Владивосток: Дальнаука, 2010. – 134 с.
206. Современная изученность гидротермоминеральных ресурсов Сахалина и Курильских островов и перспективы их использования в народном хозяйстве: геологический отчет за 1990-1991 гг. / исполн.: Т.С. Розорителива, В.Е. Прядко, Е.Л. Спалило – Южно-Сахалинск: Сахалингеология, 1991. – 895 с. – Инв. №461852 (Росгеолфонд, Центральное фондохранилище).
207. Современные процессы минералообразования на вулкане Менделеева / Л.М. Лебедев, А.В. Зотов, И.Б. Никитина и др. – М.: Наука, 1980. – 176 с.
208. Справочник термальных источников Японии / под ред. С. Мацуяма. – Токио: Нихон онсэн тайкан, 1941. – 50 с.
209. Стрельцов, М.И. Дислокации южной части Курильской островной дуги / М.И. Стрельцов. – М.: Наука, 1976. – 132 с.

210. Сугробов, В.М. Паужетские гидротермы Камчатки как пример высокотемпературной водонапорной системы / В.М. Сугробов // Гидрогеотермические условия в верхней части земной коры. — М.: Наука, 1964. — С. 72-87.
211. Сугробов, В.М. Прогнозные геотермальные ресурсы областей современного вулканизма Камчатки и Курильских островов: научные и прикладные аспекты / В.М. Сугробов, В.И. Кононов, А.И. Постников // Геотермальные и минеральные ресурсы областей современного вулканизма: мат-лы Междунар. полевого Курило-Камчатского семинара, г. Петропавловск-Камчатский, 16 июля-6 августа 2005 г. — Петропавловск-Камчатский: «ОТТИСК», 2005. — С. 9-24.
212. Таран, Ю.А. Геохимия гидротермальных растворов и газов Мутновской гидротермальной системы. Геотермические и геохимические исследования высокотемпературных гидротерм / Ю.А. Таран, В.П. Пилипенко, А.М. Рожков. — М.: Наука, 1986. — 207 с.
213. Таран, Ю.А. Проект на предварительную разведку на участке месторождения «Горячий Пляж» (о. Кунашир) / Ю.А. Таран, Я.М. Юрова, И.Э. Жарикова. — Южно-Сахалинск, 1991. — 110 с.
214. Таран, Ю.А. Фазовые и химические равновесия геотермальных газов. Расчеты для Северо-Мутновской гидротермальной системы Камчатки / Ю.А. Таран, В.П. Пилипенко // Вулканология и сейсмология. — 1983. — № 5. — С. 25-38.
215. Теория и практика экологического туризма / А.Б. Косолапов, В.И. Бартовщук, С.А. Лозовская, О.В. Женжера. — Владивосток, 2003. — С.80.
216. Термальные воды юго-восточной Камчатки и перспективы их использования / Е.А. Вакин, Т.П. Кирсанов, В.И. Кононов и др. // Вопросы специальной гидрогеологии Сибири и Дальнего Востока. — Иркутск: Иркутское кн. изд-во, 1962. — Вып. 1. — С. 84-91.
217. Толстухин, О.Н. Термальные воды Камчатки и проблемы их освоения / О.Н. Толстухин // Советская геология. — 1958. — №2. — С. 109-133.
218. Федорченко, В.И. Вулканизм Курильской островной дуги / В.И. Федорченко, А.И. Абдурахманов, Р.И. Родионова. — М.: Наука, 1989. — 239 с.
219. Формирование и динамика озерных ландшафтов о. Кунашир (Курильские острова) в позднем плейстоцене / Н.Г. Разжигаева, Т.А. Гребенникова, Л.М. Мохова и др. // Озера холодных регионов: мат-лы Междунар. конф., г. Якутск, 22-26 июня 2000 г. — Якутск: ЯГУ, 2000. — Ч. IV. — С. 172-186.
220. Фролова, Т.И. Магматизм и преобразование земной коры активных окраин / Т.И. Фролова, Л.Л. Перчук, И.А. Бурикова. — М.: Недра, 1989. — 261 с.
221. Химический состав и минералогия базальтов вулкана Меньший Брат (о. Итуруп, Курильские острова) / М.В. Чибисова, А.В. Рыбин, Ю.А. Мартынов и др. // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. — 2009. — № 1, Вып. 13. — С. 178-186.
222. Хоментовский, А.С. Алехинское месторождение минеральных вод на острове Кунашир / А.С. Хоментовский // Охрана природы на Дальнем Востоке. — М., 1964. — Вып. 2. — С. 211-221.
223. Цианобактерии гидротерм Камчатки / В.В. Амосов, М.В. Марков, В.Н. Зеленков, А.А. Лапин // Вулканизм, биосфера и экологические проблемы: мат-лы IV Междунар. науч. конф. — Туапсе, 2006. — С. 79-80.
224. Чаплыгин, И.В. Рудная минерализация высокотемпературных фумарол вулкана Кудрявый (о. Итуруп, Курильские о-ва): автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук / И.В. Чаплыгин. — М., 2009. — 24 с.
225. Чешко, А.Л. Формирование основных типов термальных вод Курило-Камчатского региона по данным изотопных исследований / А.Л. Чешко // Геохимия. — 1994. — №7. — С. 988-1000.
226. Чудаев, О.В. Геохимические аспекты формирования термальных зон активного вулканизма (на примере Курильской островной дуги) / О.В. Чудаев, В.А. Чудаева, Г.А. Челноков // Гидрогеология и геохимия вод складчатых областей Сибири и Дальнего Востока. — Владивосток: Дальнаука, 2003. — С. 82-97.
227. Чудаев, О.В. Геохимические особенности и условия формирования Паратунской гидротермальной системы (Камчатка) / О.В. Чудаев, В.А. Чудаева // Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов на рубеже третьего тысячелетия: тр. Междунар. науч. конф., г. Томск, 3-7 сентября 2000 г. — Томск: НТЛ, 2000. — С. 275-279.
228. Чудаев, О.В. Геохимия и условия формирования современных гидротерм зоны перехода от Азиатского континента к Тихому океану: дис. ... д-ра геол.-мин. наук / О.В. Чудаев. — Владивосток, 2001. — 256 с.
229. Чудаев, О.В. Основные черты геохимии термальных вод Курильских островов / О.В. Чудаев, В.А. Чудаева // Фундаментальные проблемы современной гидрогеохимии: тр. Междунар. науч. конф. — Томск, 2004. — С. 194-198.

230. Чудаев, О.В. Состав и условия образования современных гидротермальных систем Дальнего Востока России / О.В. Чудаев. – Владивосток: Дальнаука, 2003. – 203 с.
231. Чудаева, В.А. Миграция химических элементов в водах Дальнего Востока / В.А. Чудаева. – Владивосток: Дальнаука, 2002. – 392 с.
232. Шакиров, Р.Б. Особенности химического и изотопного состава углеводородных газов вулканов Менделеева и Головнина (о. Кунашир) / Р.Б. Шакиров // Геохимия. – 2014. – № 3. – С. 267-279.
233. Шевко, Е.П. Формирование геохимического состава термальных растворов на действующих вулканах островных дуг (на примере в. Головнина, остров Кунашир, Россия) / Е.П. Шевко, С.Б. Бортникова, Р.В. Жарков // Геологические процессы в обстановках субдукции, коллизии и скольжения литосферных плит: мат-лы Второй Всерос. конф. с междунар. участием, г. Владивосток, 17-20 сентября 2014 г. – Владивосток: Дальнаука, 2014. – С. 284-287.
234. Шедько С.В. Пресноводные рыбы / С.В. Шедько // Экспедиция на НИС «Академик Опарин», рейс №23. – Владивосток: Дальнаука, 1999. – С. 13-16.
235. Шедько, С.В. Обзор пресноводной ихтиофауны / С.В. Шедько // Растительный и животный мир Курильских островов. – Владивосток: Дальнаука, 2002. – С. 118-134.
236. Щербаков, А.В. О генезисе перегретых хлоридных натриевых вод областей современного вулканизма / А.В. Щербаков // Закономерности формирования подземных вод. – М., 1975. – С. 35-38.
237. Южные Курильские острова (природно-экономический очерк) / Л.М. Алексеева, В.В. Белашко и др. – Южно-Сахалинск, 1992. – 158 с.
238. Юрченко, С.Г. Миграция химических элементов в водных объектах с различной антропогенной нагрузкой (юг Дальнего Востока): автореф. дис. ... канд. геогр. наук / С.Г. Юрченко. – Владивосток, 2004. – 22 с.
239. Allen, E.T. Hot springs of the Yellow-stone National Park / E.T. Allen, A.L. Day. – Washington: Carnegie institution of Washington, 1935. – Publ. 465. – 525 p.
240. Anaerobic extremely thermophilic carboxydophilic bacteria in hydrotherms of Kuril Islands / V.A. Svetlichny, T.G. Sokolova, N.A. Kostrikina et al. // Microb. Ecol. – 1991. – Vol. 21. – P. 1-10.
241. Arnorsson, S. A geochemical study of selected elements in thermal waters of Iceland / S. Arnorsson. – London.: Imp. College, 1969. – 353 p.
242. Arnorsson, S. Geothermal systems of Iceland: structure and conceptual models. II. Low temperature areas / S. Arnorsson // Geothermics. – 1995. – Vol. 24, N. 5/6. – P. 603-629.
243. Arnorsson, S. Hydrochemistry in geothermal investigations in Iceland, techniques and applications / S. Arnorsson // Nord. Hydrology. – 1979. – Vol. 10. – P. 191-224.
244. Barth, T. Volcanic geology, hot springs and geysers of Iceland / T. Barth. – Washington: Carnegie institution of Washington, 1950. – Publ. 587. – 174 p.
245. Carboxydotherrmus hydrogenophilus gen. nov., sp. Nov. – a new CO-utilizing thermophilic anaerobic bacterium from hydrothermal environment of Kunashir Island / V.A. Svetlichny, T.G. Sokolova, M. Gerhardt et al. // Syst. Appl. Microbiol. – 1991. – Vol. 14. – P. 254-260.
246. Chelnokov, G.A. Interpretation of geothermal fluid compositions from Mendeleev volcano, Kunashir, Russia / G.A. Chelnokov // Report of the United Nations University GTP. – Reykjavik, 2004. – P. 57-82
247. Craig, H. Isotopic variations in the meteoric waters / H. Craig // Science. – 1961. – Vol. 133. – P. 1702-1703.
248. Craig, H. The isotopic geochemistry of water and carbon in geothermal areas / H. Craig // Nuclear geology on geothermal areas. – Spoleto, 1963. – P. 17-53.
249. Ellis, A.J. Explored geothermal systems / A.J. Ellis // Geochemistry of hydrothermal ore deposits. – 2nd ed. – N.Y.: Wiley-Intersci., 1979. – P. 632-683.
250. Ellis, A.J. Geothermal fluid chemistry and human health / A.J. Ellis // Geothermics. – 1968. – Vol. 6, N 3/4. – P. 175-182.
251. Ellis, A.J. Natural hydrothermal systems and experimental hot water/rock interaction / A.J. Ellis, W.A.J. Mahon // Geochemica et Cosmochimica Acta. – 1964. – Vol. 28. – P. 1323-1357.
252. Geochemistry and origin of the two groups of mineral waters in the south Kamchatka, Russia / O.V. Chudaev, V.A. Chudaeva, M. Edmunds et al. // Proceedings of the 33rd conference of SITH in Hakone, Kanazawa, Japan. – Kanazawa: SITH publishing, 1997. – P. 30-33.
253. Geochemistry of hydrothermal system of Kuril Islands / O.V. Chudaev, V.A. Chudaeva, K. Sugimory et al. // Proceedings of 5th Biennial Workshop on Subduction Processes emphasizing the Japan-Kuril-Kamchatka-Aleutian Arcs. – Hokkaido University, 2006a. – P. 1-5.

254. Geochemistry of recent hydrothermal systems of Mendeleev volcano (Kuril Islands, Russia) / O.V. Chudaev, V.A. Chudaeva, K. Sugimory et al. // *Geochemical Exploration Journal*. – 2006b. – V. 88, N 1-3. – P. 95-100.
255. Geochemistry of waters of the Paratunka geothermal area, Kamchatka / O.V. Chudaev, V.A. Chudaeva, P. Shand, M. // *Edmunds Geochemistry of the Earth Surface* / ed. Armannson. – Balkema, 1999. – P. 487-490.
256. Giggenbach, W.F. Integrated heat and mass discharges from the Rotorua geothermal systems / W.F. Giggenbach, R.B. Glover // *Geothermics*. – 1992. – Vol. 21. – P. 121-140.
257. Giggenbach, W.F. Mass transfer in hydrothermal alteration systems-A conceptual approach / W.F. Giggenbach // *Geochemica et Cosmochimica Acta*. – 1984. – Vol. 48. – P. 2693-2711.
258. Hedenquist, J.W. The evolution of the Waiotapu geothermal system, New Zealand, based on the chemical and isotopic composition of its fluids, minerals and rocks / J.W. Hedenquist, P.R.L. Browne // *Geochemica et Cosmochimica Acta*. – 1989. – Vol. 53. – P. 2235-2257.
259. Hydrochemistry of the Baransky volcano area / V.A. Chudaeva, O.V. Chudaev, K. Sugimory et al. // *The VII International Interdisciplinary Scientific Symposium «Regularities of the Structure and Evolution of Geospheres» (RSEG – VII)*. – Vladivostok, 2005. – P. 314-318.
260. Karpov, G.A. Subsurface hydrothermal system of Uzon caldera in Kamchatka, Russia / G.A. Karpov // *Proceedings of 7th symposium of water-rock interaction* / eds.: Y. Kharaka, A. Maest. – USA, Balkema, Rotterdam, 1992. – P. 1593-1596.
261. Karpov, G.A. Uzon-Geyser hydrothermal system / G.A. Karpov // *Guidebook. WRI-8 post session field trip*. – Vladivostok, 1995. – P. 34-55.
262. Kiryukhin, A. Pressure perturbations in two phase geothermal reservoir associated with seismicity / A. Kiryukhin, M. Lesnykh, A. Polyakov // *28th Stanford workshop on geothermal reservoir engineering*. – Stanford Univ., 2003. – 7 p.
263. Kiryukhin, A.V. Modeling studies of pressure cycling associated with seismicity in Mutnovsky geothermal field, Kamchatka, Russia / A.V. Kiryukhin, K. Pruess // *Proc. World geothermal congress*, 2000. – P. 2659-2664.
264. Kiryukhin, A.V. Modeling studies: Dachny geothermal reservoir, Kamchatka, Russia / A.V. Kiryukhin // *Geothermics*. – 1996. – Vol. 26, No. 1. – P. 63-90.
265. Kozlov, D.N. Hydrothermal eruption – the most probable scenario of volcanic disaster in the Golovnina Caldera, Kunashir Island, Southern Kuriles / D.N. Kozlov, A.B. Belousov // *Proceedings of 5th Biennial Workshop on Subduction Processes emphasizing the Japan-Kuril-Kamchatka-Aleutian Arcs*. – Hokkaido University, 2006. – P. 140-141.
266. Milne, J. The volcanoes of Japan / J. Milne // *Transactions of the Seismological Society of Japan*. – Yokohama, 1896. – Vol. 9. – P. 539-548.
267. Nakamura, H. Mineral and thermal waters of Japan / H. Nakamura // *Intern. Geol. Congr. Report of the Twenty-Third session Czechoslovakia*, 1968. – Prague, 1969. – Vol. 19. – P. 45-62.
268. New data on the chemical composition of waters in the Paratunka hydrothermal system, Kamchatka / O.V. Chudaev, V.A. Chudaeva, P. Shand et al. // *Water-Rock Interaction. Proceedings of the 9th International symposium on WRI-9* / eds.: G. Aehart, J. Hulson. – Balkema, 1998. – P. 621-624.
269. Recent Hydrothermal system of the Kuril Islands (composition and origin) / O.V. Chudaev, V.A. Chudaeva, G.A. Chelnokov et al. // *Proceedings of the 11th International symposium on WRI-11*. – Balkema, 2004. – Vol.1. – P. 151-155.
270. Sigvaldason, G.E. Chemistry of thermal waters and gases in Iceland / G.E. Sigvaldason // *Bull. volcanology*. – 1966. – Vol. 29. – P. 589-604.
271. Sumi, K. Catalogue of hot springs and Mineral springs in Japan / K. Sumi. – Geological Survey of Japan, 1975. – 134 p.
272. Truesdell, A.H. Geochemical techniques in exploration / A.H. Truesdell // *Proceedings 2nd UN Symposium on the development and use of geothermal resources*. – San Francisco, 1975. – Vol. 1. – P.44-51.
273. Uzumasa, Y. Chemical investigation of hot springs in Japan / Y. Uzumasa. – Tokyo: Tsukiji Shokan Co., 1965. – 189 p.
274. White, D.E. Thermal and mineral waters of the United States – brief review of possible origins / D.E. White // *Report of Twenty Third session of geol. congr., Czechoslovakia*. – Prague, 1969. – P. 269-287.
275. White, D.E. Thermal waters of volcanic origin / D.E. White // *Bull. Geol. Soc. Amer.* – 1957. – Vol. 68, No 12. – P. 1637-1657.

276. Yurchenko, S.G. Environmental impact of geothermal development in the Goryachy Plyazh area, Kunashir Island, Russia / S.G. Yurchenko // Report of the United Nations University GTP. – Reykjavik, 2005. – P. 479-502.
277. Zharkov, R.V. Hydrothermal stage of activity of Mendeleev volcano (Kunashir Isl., Kuriles) / R.V. Zharkov // Proceedings of 5th Biennial Workshop on Subduction Processes emphasizing the Japan-Kuril-Kamchatka-Aleutian Arcs. – Sapporo: Hokkaido University, 2006. – P. 71-74.

Приложение А

Химический, газовый и изотопный составы
термальных вод
островов Кунашир и Итуруп

Таблица А.1

Химический состав термальных вод (в мг/л) Нескученских источников, источников Прасоловский и Добрый Ключ, грунтовых и морских вод района [Жарков, 2005].

Проба	T, °C	pH	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺	Mg ²⁺	Fe ²⁺	Fe ³⁺	Al ³⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	SiO ₂	TDS
Грунтовые воды района	15.0	6.9	28.0	1.2	8.0	3.0	0.06	0.025	не опр.	56.7	6.4	18.3	7.5	129.3
Морские воды района	10.0	6.8	10200.0	385.0	381.0	1318.0	0.26	0.025	не опр.	18613.0	2537.0	143.0	4.0	33581.3
Источник 7-й Подкаменный (21)	85.7	7.5	118.0	11.4	137.0	17.6	0.025	0.025	не опр.	56.4	458.0	183.0	91.0	1074.0
Источник Изумрудный Ключ (2)	57.0	7.2	79.0	24.2	83.2	35.9	0.21	0.22	не опр.	23.8	223.0	372.0	181.0	1022.7
Источник Белый Ключ (13)	74.4	7.1	77.0	19.3	121.0	31.6	0.025	0.025	не опр.	29.1	333.0	311.0	143.0	1065.2
Источник Славный (15)	89.4	6.9	124.0	13.2	173.0	43.1	0.025	0.4	не опр.	40.8	653.0	214.0	129.0	1391.1
Источник Серный (18)	42.6	2.6	29.3	7.1	33.1	8.5	0.025	5.6	45.0	16.3	635.0	-	147.0	931.6
Источник Высокий (19)	91.7	2.2	47.6	0.4	49.1	13.4	10.5	3.5	20.2	8.2	794.0	-	149.0	1111.5
Источник Прасоловский	37.0	6.9	104.0	2.6	481.0	0.1	0.15	0.025	не опр.	17.7	1341.0	30.5	38.0	2015.3
Источник Добрый Ключ*	68.0	8.0	350.5	3.1	98.0	8.7	-	-	3.3	477.0	346.4	34.8	70.0	1408.0

Примечание: источник Добрый Ключ* из работы [Мархинин, Стратула, 1977].

Таблица А.2

Содержание микроэлементов в водах Нескученских термальных источников
(в мкг/л) [Жарков, 2005].

	источник Седьмой Подкаменный	источник Славный	источник Высокий
Li	24.6	35.3	21.3
Be	< ПО	0.084	0.85
B	147.0	285.0	50.5
S	115299.0	162488.0	223683.0
Ti	2.4	3.0	5.5
V	< ПО	< ПО	26.2
Cr	2.6	2.6	3.0
Mn	326.0	1170.0	586.0
Fe	29.0	500.0	13470.0
Co	0.22	0.29	4.7
Cu	1.8	5.0	18.2
Zn	6.3	7.1	61.3
Ga	< 0.1	< ПО	1.4
Ge	2.5	4.7	2.2
As	< ПО	1.4	11.0
Br	106.0	72.6	< ПО
Rb	23.8	38.1	52.3
Sr	727.0	638.0	141.0
Y	< ПО	0.07	15.9
Zr	0.14	< ПО	0.12
Mo	< ПО	0.45	0.23
Sb	0.065	0.17	0.18
Cs	5.5	6.7	3.8
Ba	57.1	49.0	15.8
La	< ПО	< ПО	2.8
Ce	0.084	0.075	8.4
Gd	< ПО	0.012	2.1
Pr	0.010	0.013	1.2
Nd	0.026	0.029	5.7
Sm	< ПО	0.0073	1.7
Eu	< ПО	< ПО	0.46
Re (нг/л)	0.28	0.81	0.12
Pb	0.30	0.38	1.1
Bi	0.093	0.093	0.051
Th	< ПО	< ПО	1.0
U	0.012	0.011	0.20
Tb	< ПО	< ПО	0.39
Dy	< ПО	< ПО	2.6
Ho	< ПО	< ПО	0.57
Er	< ПО	< ПО	1.6
Tm	< ПО	< ПО	0.21
Yb	< ПО	< ПО	1.4
Lu	< ПО	< ПО	0.19
W	< ПО	0.34	0.28
Cd	< ПО	< ПО	0.073
Sn	0.16	< ПО	< ПО

Примечание: содержание других микроэлементов для всех проб – ниже предела обнаружения (< ПО).

Таблица А.3

Химический состав термальных вод северной части острова Кунашир (в мг/дм³).

1 - источник Славный (Нескученская группа); 2 - источник около ист. Белый Ключ (Нескученская группа); 3 - источник Изумрудный Ключ (Нескученская группа); 4 - Прасоловский источник; 5 - источник Добрый Ключ.

Компонент	1	2	3	4	5	Шифр методики
T, °C	89.5	90.0	62.8	30.6	68.0	—
pH	6.4	6.6	7.5	7.7	8.3	—
Na	112	84	71	124	385	ГОСТ 23268.6-78
K	10.8	17	19	3.7	3.7	ГОСТ 23268.7-78
Ca	172	161	70	563	105	ГОСТ 23268.5-78
Mg	43.8	36	27	1.35	<0.25	ГОСТ 23268.5-78
NH ₄	<0.5	<0.5	<0.50	<0.50	<0.5	ГОСТ 23268.10-78
Fe(II)	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	ГОСТ 23268.11-78
Fe(III)	1.36	1.7	<0.05	<0.05	<0.05	ГОСТ 23268.11-78
Cl	25.5	4.7	22.4	<0.50	502	ГОСТ 23268.17-78
SO ₄	689	80	183	1287	348	ГОСТ 23268.4-78
NO ₃	<0.20	<0.20	2.3	<0.20	<0.20	ГОСТ 23268.9-78
NO ₂	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	ГОСТ 23268.8-78
CO ₃	<6.0	<6.0	<6.0	<6.0	<6.0	ГОСТ 23268.3-78
HCO ₃	168	796	250	31	24	ГОСТ 23268.3-78
Al	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	0.045	ГОСТ 18165-89
Ba	<0.001	<0.001	0.11	0.032	<0.001	ГОСТ Р 51309-99
Be	<0.0001	0.0002	<0.0001	<0.0001	<0.0001	ГОСТ 18294-89
B	0.17	0.14	0.34	0.27	1.05	ПНД Ф 14.1:2.4.36-95
Br	0.49	0.48	1.10	<0.05	4.9	ГОСТ 23268.15-78
V	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	ГОСТ Р 51309-99
Bi	<0.001	<0.001	<0.01	<0.01	<0.001	ГОСТ Р 51309-99
W	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	ГОСТ Р 51309-99
Fe(II)	<0.05	1.56	0.18	<0.05	<0.05	ГОСТ 23268.11-78
Fe(III)	1.4	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	ГОСТ 23268.11-78
I	0.026	<0.02	15.7	<0.10	0.074	ГОСТ 23268.16-78
Cd	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	ГОСТ Р 51309-99
Co	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	ГОСТ Р 51309-99
Li	0.097	0.089	0.110	0.113	0.109	ПНДФ 14.1:2.4.138-98
Mn	1.06	0.81	0.120	0.23	<0.005	ГОСТ Р 51309-99
Cu	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	ГОСТ Р 51309-99
Mo	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	ГОСТ Р 51309-99
As	<0.01	<0.01	<0.002	<0.002	0.040	ГОСТ 23268.14-78
Ni	<0.05	<0.05	5.5	1.15	<0.05	ГОСТ Р 51309-99
Hg	0.0019	0.006	<0.00001	0.0046	0.076	ПНД Ф 14.1:2.21-95
Pb	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	ГОСТ Р 51309-99
Se	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	ГОСТ 19413-89
Ag	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	ГОСТ Р 51309-99
Sr	0.49	0.34	0.214	2.17	0.089	ГОСТ Р 51309-99
Sb	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	ГОСТ Р 51309-99
U	<0.002	0.114	0.064	0.113	<0.002	ПНД Ф 14.1:2.4.38-95
PO ₄	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	ГОСТ 18309-72
F	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	ГОСТ 23868.18-78
Cr	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	ГОСТ Р 51309-99
CN	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	ГОСТ Р 51680-2000
Zn	0.012	<0.005	0.18	0.13	<0.005	ГОСТ Р 51309-99

Примечания:

1. Анализы выполнены в 2013-2014 гг. в Центральной лаборатории ОАО «Приморгеология», начальник лаборатории Т.Б. Горбенко.
2. Методы определения концентрации элементов в воде и используемые приборы:

ГОСТ 18165-89. Вода питьевая. Метод определения массовой концентрации алюминия.
<http://gostexpert.ru/gost/gost-18165-89> (фотометрический метод, прибор «Unuco2100»).

ГОСТ 18294-89. Вода питьевая. Метод определения массовой концентрации бериллия.
<http://gostexpert.ru/gost/gost-18294-89> (флуориметрический метод, прибор «Флюорат-02-2М»).

ГОСТ 18309-72. Вода питьевая. Метод определения содержания полифосфатов.
<http://docs.cntd.ru/document/gost-18309-72> (фотометрический метод, прибор «Unuco2100»).

ГОСТ 19413-89. Вода питьевая. Метод определения массовой концентрации селена.
<http://docs.cntd.ru/document/gost-19413-89>
 (флуориметрический метод, прибор «Флюорат-02-2М»).

ГОСТ 23268.10-78. Воды минеральные питьевые лечебные, лечебно-столовые и природные столовые. Метод определения ионов аммония.
<http://gostexpert.ru/gost/gost-23268.10-78> (фотометрический метод, прибор «Unuco2100»).

ГОСТ 23268.11-78. Воды минеральные питьевые лечебные, лечебно-столовые и природные столовые. Метод определения ионов железа.
<http://gostexpert.ru/gost/gost-23268.11-78> (титриметрический метод).

ГОСТ 23268.13-78. Воды минеральные питьевые лечебные, лечебно-столовые и природные столовые. Метод определения ионов серебра.
<http://gostexpert.ru/gost/gost-23268.13-78>.

ГОСТ 23268.14-78. Воды минеральные питьевые лечебные, лечебно-столовые и природные столовые. Методы определения ионов мышьяка. <http://gostexpert.ru/gost/gost-23268.14-78>
 (фотометрический метод, прибор «Unuco2100»).

ГОСТ 23268.15-78. Воды минеральные питьевые лечебные, лечебно-столовые и природные столовые. Методы определения бромид-ионов. <http://gostexpert.ru/gost/gost-23268.15-78>
 (фотометрический метод, прибор «Unuco2100»).

ГОСТ 23268.16-78. Воды минеральные питьевые лечебные, лечебно-столовые и природные столовые. Методы определения йодид-ионов.
<http://gostexpert.ru/gost/gost-23268.16-78> (фотометрический метод, прибор «Unuco2100»).

ГОСТ 23268.17-78. Воды минеральные питьевые лечебные, лечебно-столовые и природные столовые. Методы определения хлорид-ионов.
<http://gostexpert.ru/gost/gost-23268.17-78> (титриметрический метод).

ГОСТ 23268.18-78. Воды минеральные питьевые лечебные, лечебно-столовые и природные столовые. Методы определения фторид-ионов. <http://gostexpert.ru/gost/gost-23268.18-78>
 (фотометрический метод, прибор «Unuco2100»).

ГОСТ 23268.3-78. Воды минеральные питьевые лечебные, лечебно-столовые и природные столовые. Методы определения гидрокарбонат-ионов. <http://gostexpert.ru/gost/gost-23268.3-78>
 (титриметрический метод).

ГОСТ 23268.4-78. Воды минеральные питьевые лечебные, лечебно-столовые и природные столовые. Метод определения сульфат-ионов. <http://gostexpert.ru/gost/gost-23268.4-78>
 (фотометрический метод, прибор «Unuco2100»).

ГОСТ 23268.5-78. Воды минеральные питьевые лечебные, лечебно-столовые и природные столовые. Методы определения ионов кальция и магния.
<http://gostexpert.ru/gost/gost-23268.5-78> (титриметрический метод).

ГОСТ 23268.6-78. Воды минеральные питьевые лечебные, лечебно-столовые и природные столовые. Методы определения ионов натрия. <http://docs.cntd.ru/document/gost-23268-6-78>
 (пламенно-фотометрический метод, прибор СФП-1-ГР-1»).

ГОСТ 23268.7-78. Воды минеральные питьевые лечебные, лечебно-столовые и природные столовые. Методы определения ионов калия. <http://gostexpert.ru/gost/gost-23268.7-78> (пламенно-фотометрический метод, прибор «СФП-1-ГР-1»).

ГОСТ 23268.8-78. Воды минеральные питьевые лечебные, лечебно-столовые и природные столовые. Методы определения нитрит-ионов. <http://gostexpert.ru/gost/gost-23268.8-78> (фотометрический метод, прибор «Unuco2100»).

ГОСТ 23268.9-78. Воды минеральные питьевые лечебные, лечебно-столовые и природные столовые. Методы определения нитрат-ионов. <http://gostexpert.ru/gost/gost-23268.9-78> (фотометрический метод, прибор «Unuco2100»).

ГОСТ 23950-88. Вода питьевая. Метод определения массовой концентрации стронция. <http://gostexpert.ru/gost/gost-23950-88>.

ГОСТ Р 51309-99. Вода питьевая. Определение содержания элементов методами атомной спектроскопии – барий, ванадий, висмут, вольфрам, кадмий, кобальт, марганец, медь, молибден, никель, свинец, серебро, стронций, хром, цинк. <http://standartgost.ru> (атомная спектроскопия с индуктивно связанной плазмой, прибор «Optima 2000DV»).

ГОСТ Р 51680-2000. Вода питьевая. Метод определения содержания цианидов. <http://gostexpert.ru/gost/gost-51680-2000> (фотометрический метод, прибор «Unuco2100»).

ПНД Ф 14.1:2.21-95. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации ртути в природных и сточных водах методом атомно-абсорбционной спектроскопии (ААС) («метод холодного пара», атомно-абсорбционный метод, прибор «КВАНТ-2А»).

ПНД Ф 14.1:2.4.36-95. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации бора в пробах природной, питьевой и сточной воды флуориметрическим методом на анализаторе жидкости «Флюорат-02». <http://www.nw-normativ.ru> (флуориметрический метод, прибор «Флюорат-02-2М»).

ПНД Ф 14.1:2.4.38-95. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации урана в пробах природной, питьевой и сточной воды люминесцентным методом на анализаторе жидкости «Флюорат-02-2М». <http://www.lumex.ru> (флуориметрический метод, прибор «Флюорат-02-2М»).

ПНД Ф 14.1;2.4.138-98. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовых концентраций калия, лития, натрия и стронция в пробах питьевых вод. <http://www.opengost.ru> (пламенно-фотометрический метод, прибор «СФП-1-ГР-1»).

Таблица А.4

Состав свободно выделяющихся газов термальных источников острова Кунашир:

1 – источник Прасоловский; 2 – источник Добрый Ключ; 3 – источник Восточного сольфатарного поля влк. Менделеева; 4 – озеро Овальное, Восточное сольфатарное поле влк. Менделеева; 5-6 – источники верхней группы ручья Кислый, влк. Менделеева; 7 – источник Третьяковский (северная группа); 8-10 – источники Центрального Восточного сольфатарного поля влк. Головнина.

	CO ₂ , %	CO, %	O ₂ , %	N ₂ , %	CH ₄ , %	C ₂ H ₄ , %	C ₂ H ₆ , %	C ₃ H ₆ , %	C ₃ H ₈ , %	и-C ₄ H ₁₀ , %	S-газы, %
1	0.27	0	2.27	97.46	0.005	0	0.00002	0	0	0.00002	0
2	0.04	0	5.88	93.93	0.145	0	0.00151	0.00017	0	0	0
3	66.75	0	4.74	23.28	2.924	0	0.04223	0.00374	0	0.00003	2.26
4	58.00	0	4.12	31.12	6.654	0	0.09337	0.00857	0	0.00009	0
5	16.88	0.00004	17.56	61.31	0.116	0	0.00085	0.00007	0	0	4.15
6	43.51	0.00007	11.48	42.19	0.699	0.000002	0.00810	0.00063	0	0	2.11
7	63.11	0	6.23	28.75	1.896	0	0.01710	0.00100	0.00002	0	0
8	33.46	0.00006	10.28	36.46	0.098	0.000001	0.00086	0.00006	0	0	19.70
9	34.21	0.00005	6.72	31.60	0.071	0	0.00184	0.00024	0	0	27.40
10	37.60	0.00007	4.49	30.51	0.086	0	0.00215	0.00030	0	0.00001	27.31

Примечание:

Анализы выполнены в 2013 г. на газовом хроматографе «КристалЛюкс 4000» в лаборатории газогеохимии ТОИ ДВО РАН (г. Владивосток).

Аналитики – О.Ф. Верещагина, к.г.-м.н. Е.В. Коровицкая.

Таблица А.5

**Изотопный состав водорода и кислорода в термальных водах
островов Кунашир и Итуруп.**

Наименование объектов	$\delta D_{VSMOW}, \text{‰}$	$\delta^{18}O_{VSMOW}, \text{‰}$
Остров Кунашир		
Источник Славный, Нескученская группа (№1; А.3)	-69.5	-10.2
Источник около ист. Белый Ключ, Нескученская группа (№2; А.3)	-73.8	-10.6
Источник Высокий, Нескученская группа (№3; А.12)	-74.1	-11.1
Источник Прасоловский (№4; А.3)	-68.1	-10.1
Источник Добрый Ключ (№5; А.3)	-72.2	-10.4
Озеро Овальное, Восточное поле влк. Менделеева (№8; А.12)	-62.5	-9.2
Грязевой котел, Восточное поле влк. Менделеева (№7; А.12)	-59.2	-8.4
Источник, верхняя группа руч. Кислый (№2; А.8)	-64.3	-9.2
Источник, верхняя группа руч. Кислый (№9; А.12)	-69.1	-9.6
Источник, нижняя группа руч. Кислый (№11; А.12)	-60.5	-8.4
Источник Купальный, нижняя группа руч. Кислый (№3; А.8)	-57.6	-7.8
Источник Верхнедокторский (№5; А.8)	-56.8	-8.4
Гейзерное озеро, Верхнедокторская группа (№6; А.8)	-58.7	-8.3
Третьяковские источники, северная группа (№16; А.8)	-73.6	-9.7
Третьяковские источники, южная группа (№17; А.8)	-66.6	-9.2
Столбовские источники (№22; А.12)	-72.8	-9.3
Столбовские источники (№18; А.8)	-70.3	-9.4
Источник, Центральное Восточное сольфатарное поле влк. Головнина (№5; А.9)	-55.5	-6.5
Источник, Центральное Восточное сольфатарное поле влк. Головнина (№6; А.9)	-57.3	-7.1
Источник, Центральное Восточное сольфатарное поле влк. Головнина (№4; А.9)	-40.1	-2.8
Источник, Центральное Восточное сольфатарное поле влк. Головнина (№26; А.12)	-66.7	-9.6
Источник, Центральное Восточное сольфатарное поле влк. Головнина (№27; А.12)	-60.6	-7.6
Источник, Центральное Западное сольфатарное поле влк. Головнина (№1; А.9)	-56.4	-7.4
Источник, Центральное Западное сольфатарное поле влк. Головнина (№32; А.12)	-35.4	-2.1
Озеро Горячее, кальдера влк. Головнина (№2; А.9)	-56.3	-7.6
Пульсирующий источник Южно-Алехинской группы (№34; А.12)	-60.2	-7.1
Источник Банный, Северно-Алехинской группы (№7; А.9)	-64.5	-9.5
Источник Орлиный, Северно-Алехинской группы (№8; А.9)	-64.4	-9.5
Пресное озеро Серебряное (пгт. Южно-Курильск)	-68.8	-9.7
Остров Итуруп		
Источник Пресный, долина р. Кипящая (№8; А.13)	-70.4	-9.9
Источник Бирюзовый, Старозаводское сольфатарное поле (№5; А.13)	-64.3	-7.2
Источник Молочный, Старозаводское сольфатарное поле (№6; А.13)	-57.3	-5.8
Источник №1 в пос. Горячие Ключи (№11; А.13)	-73.6	-10.1
Выход гидротерм около источника №1, пос. Горячие Ключи (№12; А.13)	-72.3	-10.0
Скважина №5, Дачное месторождение гидротерм (№14; А.13)	-63.2	-8.7
Скважина №1, Дачное месторождение гидротерм (№13; А.13)	-58.8	-7.5

Примечание:

Изотопные определения кислорода и водорода в воде выполнены в 2013 г. на масс-спектрометре Finigan MAT 252 в Дальневосточном геологическом институте ДВО РАН (г. Владивосток). Аналитик – к.г.-м.н. Т.А. Веливецкая.

В скобках даны номера термальных источников из таблиц А.3, А.8, А.9, А.12, А.13, в которых представлен их химический состав.

Таблица А.6

Химический состав вод термальных источников (в мг/л) центральной части острова Кунашир [Жарков, 2007б]: 1 - источник Верхний, 2 - источник Грязевой (ручей Кислый, Верхняя группа); 3 - озеро Овальное, 4 - источник Лечебный (ручей Лечебный); 5 - источник Привальный, 6 - источник Бортовой, 7 - источник Основной, 8 - источник Поворотный; 9 - источник Купальный (ручей Кислый, Нижняя группа); 10 - озеро Гейзерное, 11 - источник Трещина, 12 - источник Мутный (ручей Докторский, Верхняя группа); 13 - источник Раковина (ручей Докторский, Нижняя группа); 14 - источник Дикие Ванны (ручей Кислый, Приустьевая группа); 15 - Третьяковские источники; 16 - Столбовские источники; 17 - скважина Дракон, 18 - скважина Бирюзовая (ручей Докторский, Нижняя группа); 19 - источник Ванночка, 20 - источник мыса Горячий (источники Горячего Пляжа) .

№ ист.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
T, °C	96.7	74.5	85.0	53.3	63.5	64.0	72.0	91.0	90.0	55.6	80.5	75.5	50.0	29.0	65.0	81.0	65.0	70.0	53.0	80.0
pH	2.7	2.6	3.3	2.4	2.1	2.0	2.0	1.8	1.8	2.2	1.9	1.9	2.7	6.6	6.9	7.0	6.5	6.9	6.3	6.6
Na ⁺	7.5	6.0	7.8	17.5	385.0	390.0	455.0	520.0	528.0	287.0	588.0	550.0	300.0	180.0	915.0	663.0	713.0	850.0	3571.0	4488.0
K ⁺	0.9	0.9	1.0	1.8	53.0	55.0	59.5	58.5	58.5	33.0	70.0	65.0	31.0	9.4	77.0	51.0	63.0	74.5	132.0	138.0
NH ₄ ⁺	0.4	1.6	0.8	0.8	0.5	1.4	1.7	1.4	1.2	0.5	0.8	0.9	0.9	0.5	1.8	1.0	0.9	1.5	0.1	1.4
Ca ²⁺	7.0	1.0	12.0	35.1	95.2	85.2	100.0	185.0	180.0	75.2	143.0	165.0	87.2	21.0	66.1	145.0	140.0	145.0	576.0	546.0
Mg ²⁺	7.3	5.8	6.9	24.1	42.5	48.6	51.7	85.1	88.1	39.5	77.2	53.5	53.5	1.2	2.4	12.2	21.3	16.0	404.0	425.0
Fe ²⁺	31.2	76.5	11.7	11.2	45.4	5.6	48.9	85.2	83.9	<0.05	85.6	72.3	4.9	0.3	0.3	0.2	0.4	0.5	0.2	0.2
Fe ³⁺	0.2	0.3	0.5	14.0	8.4	41.9	0.7	0.7	0.6	27.9	5.9	7.0	48.9	0.1	<0.05	0.1	0.1	0.3	0.1	0.1
Al ³⁺	46.8	18.0	6.8	41.3	12.5	19.6	18.3	34.4	37.6	11.5	21.7	19.8	4.6	-	-	-	-	-	-	-
H ⁺	3.4	3.5	0.8	6.4	19.7	14.3	14.1	20.4	20.5	13.5	27.9	25.4	42.6	-	-	-	-	-	-	-
Σ _{катионов}	104.7	113.6	48.3	152.4	662.2	661.6	749.9	990.7	998.4	488.1	1020.1	1288.9	573.6	212.5	1062.6	872.4	938.6	1087.8	4683.3	5598.7
Cl ⁻	9.9	6.0	16.3	11.3	1039.0	1092.0	1184.0	1532.0	1567.0	837.0	1652.0	1525.0	865.0	284.0	1535.0	922.0	1276.0	1454.0	7091.0	8473.0
SO ₄ ²⁻	529.0	426.0	125.0	700.0	666.0	708.0	734.0	1209.0	1214.0	528.0	1071.0	994.0	490.0	21.8	39.9	402.0	214.0	267.0	911.0	1060.0
NO ₃ ⁻	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
NO ₂ ⁻	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.0	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
HCO ₃ ⁻	-	-	-	-	0.0	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	73.2	111.0	305.0	88.5	97.6	105.0	79.3
Σ _{анионов}	538.9	432.0	141.3	712.1	1705.0	1800.0	1918.0	2741.0	2781.0	1365.0	2723.0	2519.0	1355.0	379.1	1685.6	1629.0	1578.5	1818.6	8133.7	9641.7
SiO ₂	121.0	131.0	28.5	157.0	144.0	148.0	152.0	259.0	253.0	126.0	252.0	232.0	156.0	44.5	133.0	96.5	150.0	161.0	137.0	124.0
TDS	764.6	676.6	218.1	1024.7	2511.2	2609.6	2819.9	3990.7	4032.4	1979.1	3995.1	3807.9	2084.6	636.0	2881.5	2597.9	2667.1	3067.4	12958.6	15372.6

Таблица А.7

Содержание микроэлементов в термах влк. Менделеева (в мкг/л) [Жарков, 2007б]:
 1 - пароконденсат скв. №103; 2 - термы скв. №101; 3 - термы скв. №201; 4 - ист. Дикие Ванны;
 5 - ист. Трещина; 6 - озеро Гейзерное; 7 - ист. Основной; 8 - ист. Верхний.

№ ист.	1	2	3	4	5	6	7	8
Li	2.1	1947.1	1882.0	167.1	698.9	289.9	409.8	9.9
Be	< ПО	< ПО	< ПО	< ПО	1.2	0.6	0.7	0.4
B	11553.3	38958.4	40302.5	3697.7	15856.3	7732.8	11413.3	37.1
Al	28.5	118.1	104.9	15.0	31523.4	14302.6	20042.9	58900.8
Si	799.5	282016.5	287105.8	23891.1	123345.8	70123.9	81535.0	58848.4
S	883.2	8589.6	12811.7	6428.2	306019.0	150089.0	214405.6	159990.7
Sc	< 1.2	< ПО	< ПО	< ПО	< 20	< 10	< 10	< 10
Ti	< ПО	< ПО	< ПО	< ПО	8.5	< 4	6.4	10.2
V	< ПО	17.2	15.3	< ПО	156.5	53.3	103.7	90.0
Cr	1.1	< ПО	< ПО	< ПО	< ПО	< ПО	2.2	14.8
Mn	21.3	23.0	155.0	48.5	13245.7	6496.4	9584.6	503.7
Fe	1280.0	87.5	3666.7	61.2	84952.9	31616.4	58536.3	34894.8
Co	< ПО	< ПО	0.6	< ПО	0.4	0.2	6.6	12.0
Ni	< ПО	< ПО	< ПО	< ПО	< ПО	< ПО	10.7	12.0
Cu	8.8	5.4	9.1	4.5	4.6	3.3	10.2	44.4
Zn	9.8	14.9	76.5	26.8	3808.7	1884.2	2808.4	148.7
Ga	< ПО	< 0.5	< 0.5	< ПО	1.4	0.8	1.3	1.1
Ge	< ПО	12.9	12.3	2.0	8.2	4.2	5.5	< ПО
As	66.6	2849.1	2592.8	128.0	1650.9	532.3	1009.1	11.5
Se	< ПО	< 15	< 15	< ПО	< ПО	< 3	< 3	< 2
Br	< ПО	8736.3	8766.3	751.0	3056.5	1505.3	2300.3	215.7
Rb	1.1	646.8	667.3	19.6	217.5	108.5	158.8	3.0
Sr	1.7	796.2	766.5	78.8	220.7	126.4	198.0	68.8
Y	< ПО	< ПО	< ПО	< ПО	52.5	26.6	27.3	38.3
Mo	0.1	6.6	7.1	0.5	< ПО	< ПО	< ПО	< ПО
Cd	8.4	0.2	0.2	0.1	21.0	10.3	13.8	0.4
Sn	1.1	0.5	< ПО	0.8	< ПО	< ПО	1.4	13.2
Sb	0.3	58.1	60.8	1.8	5.0	1.9	2.6	0.1
Cs	0.3	175.9	185.1	4.6	67.2	34.6	50.2	0.7
Ba	1.7	110.0	94.9	2.6	142.6	41.2	92.7	36.9
La	0.2	0.1	0.3	0.0	0.6	0.4	0.5	1.0
Ce	0.1	0.1	0.2	0.0	3.2	1.6	2.3	3.1
Pr	0.0	< ПО	< ПО	0.0	0.7	0.3	0.4	0.6
Nd	0.0	< ПО	< ПО	0.0	5.0	2.4	3.0	3.3
Sm	< ПО	< ПО	< ПО	< ПО	3.0	1.6	1.7	1.7
Eu	< ПО	< ПО	< ПО	< ПО	1.1	0.5	0.6	0.9
Gd	< ПО	< ПО	< ПО	< ПО	5.8	2.9	3.0	3.6
Tb	< ПО	< ПО	< ПО	< ПО	1.1	0.6	0.6	0.7
Dy	< ПО	< ПО	< ПО	< ПО	8.6	4.3	4.6	5.6
Ho	< ПО	< ПО	< ПО	< ПО	1.8	0.9	1.0	1.3
Er	< ПО	< ПО	< ПО	< ПО	5.3	2.7	2.9	3.9
Tm	< ПО	< ПО	< ПО	< ПО	0.8	0.4	0.4	0.6
Yb	< ПО	< ПО	< ПО	< ПО	5.4	2.8	2.7	4.1
Lu	< ПО	< ПО	< ПО	< ПО	0.8	0.4	0.4	0.6
W	< ПО	12.0	12.9	1.3	< ПО	< ПО	< ПО	< ПО
Tl	0.0	8.7	5.6	0.1	8.0	4.2	4.3	0.0
Pb	2.5	1.9	3.1	13.4	183.1	25.1	192.4	8.2
Re(нг/л)	< ПО	0.6	2.0	0.3	< ПО	< ПО	< ПО	1.0

Примечание: < ПО – ниже предела обнаружения.

Таблица А.8

Химический состав термальных вод центральной части острова Кунашир (в мг/дм³)

1 - источник Восточного сольфатарного поля; 2 - источник Верхней группы руч. Кислый; 3 - источник Купальный, Нижняя группа руч. Кислый; 4 - источник Дикие Ванны, Приустьевая группа руч. Кислый; 5 - Верхнедокторский источник; 6 - озеро Гейзерное; 7 - источник Колодец; 8 - источник Раковина; 9 - бассейн водолечебницы «Кислый Ключ»; 10 - скважина Дракон; 11-12 - сброс отработанных парогидротерм с ГеоТЭС «Менделеевская»; 13 - сброс с ГеоТЭС в руч. Холодный; 14 - источник Ванночка, м. Горячий; 15 - источник Серный, Северо-Западное сольфатарное поле; 16 - северная группа Третьяковских источников; 17 - южная группа Третьяковских источников; 18 - источник Столбовской.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
T, °C	85.0	99.0	90.0	30.0	25.0	30.0	92.0	51.0	45.0	65.0	100.0	100.0	70.0	50.8	58.3	65.0	40.0	82.0
pH	3.2	2.3	1.6	7.2	2.1	2.2	2.3	2.6	6.2	6.2	7.9	4.9	7.9	7.1	2.6	6.4	6.4	6.8
Na	10.4	22.8	496	130	150	143	551	358	932	794	2136	<0.50	1830	5080	34	813	529	804
K	0.64	1.75	44.5	3.7	13.7	15.3	52	25.1	74	59	306	1.86	222	113	4.2	60	39.5	50.1
Ca	7.9	26.7	134	6.5	37.4	48	139	132	207	180	276	<0.50	81	566	55	51	25.9	164
Mg	2.8	18.1	53	<0.25	14.9	16.5	56	30.5	14.8	14.5	5.5	0.40	3.25	557	18.4	0.95	0.52	13.1
NH₄	<0.50	13.1	<0.5	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.5	<0.50	<0.50	<0.5	<0.50	<0.50
Fe(II)	<0.05	4.0	3.4	<0.05	0.40	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.46	<0.05	<0.05	0.074	<0.05	<0.05
Fe(III)	1.10	21.0	61	0.123	9.5	8.6	70	40.4	1.13	0.18	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	15.0	0.064	0.14	0.096
Cl	13.3	13.3	1084	128	423	365	1738	910	1637	1329	3636	1.66	3088	10973	10.5	1566	791	1039
SO₄	46	576	742	19.4	232	176	1115	470	425	316	26.1	0.94	30.0	1354	1171	40.2	115	488
NO₃	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	12.1	13.4	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	17.1	13.6
NO₂	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	2.05	<0.20	<0.20
CO₃	<6.0	<6.0	<6.0	<6.0	<6.0	<6.0	<6.0	<6.0	<6.0	<6.0	<6.0	<6.0	<6.0	<6.0	<6.0	<6.0	<6.0	<6.0
HCO₃	<5.0	<5.0	<5.0	79	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	92	82	43	<5.0	33.6	98	<5.0	107	98	299
Al	0.66	107	28	0.097	6.5	9.4	32	30.14	0.042	<0.04	<0.04	<0.04	0.32	1.72	35	0.121	0.24	<0.04
Ba	<0.001	<0.001	0.026	<0.001	<0.001	<0.001	0.39	<0.001	0.126	0.092	0.064	<0.001	0.079	0.25	0.12	<0.001	<0.001	0.028
Be	<0.0001	<0.0001	0.00070	0.00016	0.00072	0.00020	<0.0001	0.00076	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
B	<0.05	<0.05	7.5	1.77	1.72	1.48	14.1	6.05	15.1	11.8	39	7.9	30	4.0	0.25	2.2	1.38	1.90
Br	0.203	<0.05	5.7	1.12	1.32	1.35	<0.05	3.23	12.5	9.50	33.5	0.241	16.8	<0.05	<0.05	9.2	4.4	7.4
V	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.01	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.0120	<0.001	<0.001	<0.001
Bi	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.01	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.01	<0.01	<0.001	<0.001	<0.001
W	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.045	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01

Продолжение таблицы А.8

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Fe(II)	<0.05	4.0	0.76	<0.05	3.5	2.89	79	4.21	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	1.87	14.1	0.174	<0.05	<0.05
Fe(III)	1.83	15.2	55	0.30	5.9	5.20	<0.05	41.7	0.95	1.35	<0.05	<0.05	0.068	<0.05	<0.05	0.131	1.19	0.15
I	<0.02	<0.02	1.71	0.090	<0.02	<0.02	<0.10	<0.02	0.86	0.59	1.68	8.0	0.350	<0.10	<0.10	2.06	0.036	0.23
Cd	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Co	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Li	0.073	0.077	0.40	0.120	0.149	0.139	3.4	0.35	0.98	0.73	0.076	0.075	2.44	6.7	0.035	0.71	0.33	11.0
Mn	0.041	0.143	3.3	0.055	3.8	1.10	12.2	5.76	1.55	1.64	1.00	0.027	0.030	3.3	0.69	0.140	0.084	0.90
Cu	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
Mo	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
As	<0.01	<0.01	0.174	0.0182	<0.01	<0.01	0.95	0.071	0.153	0.16	0.52	0.020	0.126	0.21	<0.002	0.126	0.071	0.046
Ni	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	10.8	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	4.3	7.9	<0.05	<0.05	<0.05
Hg	0.143	0.0096	0.044	0.036	<0.00001	<0.00001	0.0086	0.015	0.040	0.010	0.213	0.0063	<0.00001	0.031	<0.00001	<0.00001	0.222	0.38
Pb	0.043	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.133	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Se	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0020	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0015	0.0052	<0.0001	0.00120	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.00013	<0.0001	0.0068
Ag	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
Sr	0.034	0.077	0.22	0.0163	0.086	0.075	0.19	0.097	0.49	0.42	0.129	0.0054	0.69	4.8	.24	0.40	0.095	0.52
Sb	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
U	0.0098	<0.002	<0.002	<0.002	0.0035	<0.002	0.116	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0.110	0.105	<0.002	0.074	<0.002
PO₄	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25
F	<0.10	<0.10	<0.10	0.17	1.45	1.80	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Cr	0.0045	0.0052	<0.10	<0.001	<0.001	<0.001	1.03	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.10	<0.001	<0.001
CN	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Zn	<0.005	0.139	2.30	0.005	0.77	0.68	2.6	3.0	0.018	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	0.39	0.20	<0.005	<0.005	<0.005

Примечания:

1. Анализы выполнены в 2013-2014 гг. в Центральной лаборатории ОАО «Приморгеология», начальник лаборатории Т.Б. Горбенко.
2. Методы определения концентрации элементов в воде и используемые приборы указаны в таблице А.3 Приложения А.

Таблица А.9

Химический состав термальных вод южной части острова Кунашир (в мг/дм³):
 1 - источник Центрального Западного сольфатарного поля, кальдера влк. Головнина; 2 - озеро Горячее, кальдера влк. Головнина; 3-6 - источники Центрального Восточного сольфатарного поля, кальдера влк. Головнина; 7 - источник Банный, Алехинская группа; 8 - источник Орлиный, Алехинская группа.

	1	2	3	4	5	6	7	8
T, °C	98.0	15.0	100.0	95.0	95.0	90.0	55.0	53.0
pH	1.2	2.5	2.1	1.5	1.9	2.1	5.7	3.4
Na	17.3	53	162	80	164	154	182	123
K	2.46	4.9	16.3	6.1	14.3	16	11.2	9.9
Ca	51	34.1	62	68	72	60	180	214
Mg	9.0	9.1	24.2	8.6	23.0	22.6	6.3	7.2
NH ₄	1.32	<0.50	<0.5	1.55	<0.5	<0.5	<0.50	1.38
Fe(II)	13.5	<0.05	2.52	0.99	2.89	2.8	<0.05	0.099
Fe(III)	25.0	3.8	3.4	36.6	2.68	5.3	0.142	0.24
Cl	43	101	517	<0.5	435	433	182	107
SO ₄	2496	182	202	1668	400	231	645	782
NO ₃	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	12.2	15.5	<0.20	9.2
NO ₂	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20
CO ₃	<6.0	<6.0	<6.0	<6.0	<6.0	<6.0	<6.0	<6.0
HCO ₃	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	43	<5.0
Al	45	3.6	7.6	43	18.3	10.3	<0.04	0.42
Ba	<0.001	<0.001	0.045	0.0145	0.039	0.048	0.001	<0.001
Be	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.000140	<0.0001	0.00018	<0.0001
B	0.060	2.10	5.1	1.39	13.4	0.91	1.58	0.94
Br	0.220	0.89	4.3	0.065	252	54	1.42	0.86
V	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Bi	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
W	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Fe(II)	36	<0.05	5.7	27.7	6.8	8.8	<0.05	<0.05
Fe(III)	12.8	2.49	<0.05	5.4	1.12	<0.05	0.144	0.33
I	<0.02	<0.02	5.5	<0.02	164	243	0.12	0.080
Cd	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Co	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Li	0.076	0.086	0.128	0.086	0.127	0.125	0.156	0.127
Mn	0.21	0.99	1.62	0.23	1.17	1.32	1.24	1.13
Cu	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
Mo	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
As	<0.01	0.024	<0.01	<0.01	0.015	0.032	0.066	0.179
Ni	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Hg	<0.00001	0.213	0.0165	<0.00001	<0.00001	0.040	0.083	0.0282
Pb	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Se	<0.0001	0.00032	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.00110	<0.0001	0.00028
Ag	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
Sr	<0.001	0.039	0.156	0.25	0.186	0.164	0.210	0.177
Sb	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
U	<0.002	<0.002	0.042	0.082	0.042	0.024	0.018	<0.002
PO ₄	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25
F	<0.10	<0.10	0.0033	0.024	6.2	5.5	<0.10	<0.10
Cr	<0.001	<0.001	<0.10	<0.10	<0.10	<0.01	<0.001	<0.001
CN	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Zn	0.093	0.50	2.14	0.143	1.73	1.79	<0.005	<0.005

Примечания:

1. Анализы выполнены в 2013 г. в Центральной лаборатории ОАО «Приморгеология», начальник лаборатории Т.Б. Горбенко.
2. Методы определения концентрации элементов в воде и используемые приборы указаны в таблице А.3 Приложения А.

Таблица А.10

Химический состав (в мг/л) термальных вод Алехинских источников.

Название источника	Южно-Алехинская группа		Северо-Алехинская группа		
	Известный	Тройной	Орлиный	Завальный	Банный
T, °C	53.0	53.5	53.3	44.0	54.8
pH	7.3	3.3	3.7	3.6	6.2
Na ⁺	50.0	148.0	106.0	108.0	156.1
K ⁺	1.6	8.6	9.2	7.4	6.3
NH ₄ ⁺	0.5	1.0	1.2	0.9	0.8
Ca ²⁺	65.1	95.2	200.0	90.2	204.6
Mg ²⁺	9.1	-	9.1	6.1	26.0
Fe ²⁺	0.3	0.4	0.5	1.5	0.4
Fe ³⁺	0.05	0.1	0.1	0.2	-
Al ³⁺	-	0.8	0.3	0.4	-
H ⁺	-	3.3	2.8	4.1	-
Σ катионов	126.6	254.1	329.2	218.8	394.2
Cl ⁻	35.5	183.0	119.0	152.0	191.0
SO ₄ ²⁻	60.90	377.0	629.0	340.0	602.0
NO ₃ ⁻	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
NO ₂ ⁻	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
HCO ₃ ⁻	245.0	-	-	-	54.9
Σ анионов	341.4	560.0	748.0	492.0	847.9
SiO ₂	90.5	51.0	36.5	45.5	42.5
TDS	558.5	868.4	1113.8	756.3	1284.6

Примечание:

Анализы выполнены в Центральной лаборатории Дальневосточного филиала ФГУНПП «Росгеолфонд» (г. Южно-Сахалинск), 2005 год.

Таблица А.11

Содержание микроэлементов (в мкг/л) в Алехинских источниках:

1 – Известный; 2 – Тройной; 3 – Орлиный; 4 – Завальный.

элемент	1	2	3	4
Ge	0.7311	3.0420	2.0990	1.9090
Br	59.4500	300.400	188.1000	202.6000
Mo	0.1955	0.1506	0.1632	0.1397
Sb	0.0871	0.0000	0.1317	0.1051
I	29.5800	102.1000	38.1900	56.2600
Li	6.8050	111.8000	85.8500	118.1000
Be	0.0000	0.0823	0.0924	0.0883
Sc	3.6940	2.4760	2.1580	2.5330
V	7.4140	2.0360	0.6605	2.3650
Cr	1.3090	0.9838	0.3543	0.5099
Mn	2.6520	417.0000	424.0000	387.2000
Co	0.0043	0.0121	0.0535	0.0571
Ni	0.7196	0.5715	1.4290	0.6197
Cu	2.7920	6.3760	5.8110	5.8930
Zn	0.0000	17.8400	9.0380	17.4000
Ga	0.0131	1.3980	0.8568	1.2790
As	2.4980	21.4500	27.4000	19.0100
Se	0.1052	0.6466	0.7308	0.5984
Rb	2.6230	16.7900	13.6700	14.0300
Sr	95.0800	171.2000	273.4000	138.4000
Y	0.0101	1.4980	1.3540	1.3760
Ag	0.1473	0.0000	0.0647	0.0000
Cd	0.0280	0.0249	0.0384	0.0239
In	0.0021	0.0023	0.0021	0.0024
Cs	1.0650	15.3400	9.6910	11.5600
Ba	3.8670	26.3400	21.5200	23.8700
La	0.0140	0.1906	0.7843	0.1386
Ce	0.0230	0.1352	0.1251	0.1617
Pr	0.0181	0.0391	0.0351	0.0423
Nd	0.0217	0.1213	0.1133	0.1404
Sm	0.0535	0.0957	0.0995	0.1064
Eu	0.0372	0.0757	0.0767	0.0702
Gd	0.0385	0.2304	0.2304	0.2114
Tb	0.0348	0.0780	0.0755	0.0790
Dy	0.0519	0.3744	0.3664	0.343
Ho	0.0682	0.1358	0.1289	0.1316
Er	0.0612	0.2636	0.2291	0.2418
Tm	0.0550	0.0833	0.0787	0.0792
Yb	0.0626	0.2175	0.1893	0.2065
Lu	0.0581	0.0785	0.0760	0.0774
Hg	0.2565	0.2520	0.2744	0.2610
Tl	0.0240	0.0325	0.0213	0.0271
Pb	0.0563	7.5200	30.0000	4.7250
Bi	0.0498	0.0512	0.0531	0.0520
Th	0.2187	0.2216	0.2220	0.2212

Примечание:

Анализы выполнены в аналитической лаборатории ДВГИ ДВО РАН, 2005 г.

Таблица А.12

Химический состав термальных вод острова Кунашир (2013 год).

*	B	Na	Mg	Si	K	Ca	Sr	F	Cl	Br	NO ₂	NO ₃
1	0.29	63.63	28.16	89.64	17.03	113.50	0.378	0.26	38.1	0.07	<ПО	<ПО
2	0.26	93.42	43.45	85.10	11.88	156.90	0.569	0.06	44.6	≤0.10	<ПО	<ПО
3	0.19	40.41	13.10	128.80	6.90	42.81	0.161	<ПО	9.22	<ПО	<ПО	<ПО
4	0.10	89.91	0.89	21.44	2.62	442.00	1.904	<ПО	13.32	<ПО	<ПО	<ПО
5	1.50	307.30	0.13	33.80	6.86	91.64	0.071	0.42	448	1.07	<ПО	0.08
6	0.17	22.09	6.07	47.80	3.62	30.33	0.096	<ПО	6.4	<ПО	<ПО	<ПО
7	0.10	9.07	2.69	21.86	1.16	6.62	0.028	<ПО	12.64	<ПО	<ПО	0.04
8	0.07	8.10	1.95	19.86	0.86	6.84	0.029	<ПО	8.25	<ПО	<ПО	<ПО
9	0.05	3.83	1.38	99.97	0.45	2.09	0.030	<ПО	9.4	<ПО	<ПО	<ПО
10	0.11	8.27	6.56	82.58	1.13	8.28	0.057	<ПО	8.9	<ПО	<ПО	<ПО
11	8.24	270.0	29.33	24.63	38.08	71.92	0.131	<ПО	787	1.22	<ПО	<ПО
12	10.950	318.80	46.33	140.100	36.50	108.90	0.132	<ПО	992	1.14	<ПО	<ПО
13	1.71	83.40	0.30	26.36	4.44	6.41	0.028	0.24	121	0.26	<ПО	0.07
14	3.85	127.70	15.58	52.860	15.34	35.840	0.058	<ПО	365	0.41	<ПО	<ПО
15	3.10	102.40	13.38	46.93	12.28	32.09	46.930	<ПО	315	0.42	<ПО	0.32
16	8.333	286.00	33.33	97.420	26.86	93.44	0.176	<ПО	734	1.19	<ПО	<ПО
17	19.000	757.00	12.040	95.360	67.37	172.100	0.773	<ПО	1430	2.67	<ПО	<ПО
18	38.270	1606.00	0.040	270.300	260.50	100.700	0.746	<ПО	3298	7.66	<ПО	<ПО
19	5.55	2.47	<0.01	0.33	0.47	0.13	<0.01	0.03	1.85	<ПО	<ПО	<ПО
20	31.390	1401.00	0.04	255.400	223.90	78.750	0.745	0.5	4977	6.72	<ПО	<ПО
21	2.952	805.00	1.40	72.400	36.50	60.92	0.444	<0.1	1378	3.41	<ПО	<ПО
22	2.009	512.40	9.680	50.760	38.23	108.600	0.757	1.20	733.00	2.20	<ПО	0.66
23	2.362	664.40	10.39	55.680	41.20	129.20	0.859	1.06	892	2.48	<ПО	<ПО
24	12.64	133.00	23.03	65.76	18.36	65.94	0.190	<ПО	379	0.12	<ПО	<ПО
25	3.41	82.51	9.27	136.70	10.79	62.68	0.246	<ПО	30.4	<ПО	<ПО	<ПО
26	1.03	68.51	25.60	92.09	9.13	105.40	0.341	0.36	29	<ПО	<ПО	<ПО
27	0.12	13.33	4.80	65.02	1.45	26.70	0.090	<ПО	6.44	<ПО	<ПО	<ПО
28	10.76	117.10	22.09	64.74	16.07	55.25	0.152	<ПО	352	0.4	<ПО	<ПО
29	13.85	149.6	26.70	59.78	19.64	61.62	0.155	<ПО	489	0.6	<ПО	<ПО
30	0.21	14.02	11.22	189.00	1.18	44.11	0.088	<ПО	5.71	<ПО	<ПО	<ПО
31	0.25	10.02	5.17	136.70	2.48	15.54	0.100	<ПО	22.2	<ПО	<ПО	<ПО
32	0.17	9.93	4.76	104.60	2.10	14.59	0.093	<ПО	7.73	<ПО	<ПО	<ПО
33	3.19	44.82	10.41	36.44	5.63	33.24	36.440	<ПО	127	0.15	<ПО	<ПО
34	28.590	1095.00	0.22	136.500	75.16	39.14	0.183	0.62	1883	5.1	<ПО	<ПО
35	1.66	89.95	7.31	24.63	9.03	194.30	0.325	<ПО	105	0.17	<ПО	<ПО
36	2.68	169.35	6.61	30.41	12.03	174.70	30.410	0.38	180	0.39	<ПО	<ПО

Продолжение таблицы А.12

*	SO ₄	NH ₄	Li	Al	Sc	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu
1	337	<ПО	34.50	6.79	0.146	0.823	0.054	416.6	2.63	0.042	0.199	0.236
2	576	<ПО	33.80	14.00	0.156	0.132	0.128	1166	195.9	1.18	5.47	2.02
3	1063	1.1	28.41	44310	11.47	102.3	16.99	617.9	30780	16.34	16.65	15.00
4	1254	1.37	15.84	14.00	0.067	0.078	0.811	103.5	2.00	0.128	5.54	1.00
5	326	<ПО	83.56	22.60	0.066	0.621	2.00	2.32	30.64	0.200	7.60	4.06
6	113	<ПО	4.71	5.67	0.116	0.065	0.059	637.1	2.68	0.005	0.797	0.367
7	44.6	<ПО	0.123	497.6	0.150	3.15	0.164	50.54	679.2	0.522	0.624	1.07
8	61.5	0.06	0.104	235.6	0.180	2.91	0.134	79.61	1940	0.592	0.314	0.750
9	344	<ПО	1.19	15240	2.06	21.16	1.57	111.8	5309	0.277	1.06	0.530
10	617	<ПО	6.84	69050	35.78	110.5	10.00	466.9	25040	24.55	10.52	9.08
11	519	<ПО	368.0	13730	34.95	100.12	1.80	5820	36490	5.79	10.13	3.49
12	847	<ПО	278.5	31530	66.02	177.5	<10	7890	59680	<10	<10	<10
13	21.40	<ПО	101.8	6.62	103.2	0.241	0.045	0.152	13.053	0.004	0.320	0.347
14	245	0.79	123.4	10020	18.29	24.23	1.49	2740	12430	0.626	5.83	3.06
15	195	0.67	100.1	5334	7.92	11.19	0.286	1806	8975	0.131	0.097	0.840
16	414	<ПО	253.0	43800	54.13	152.6	<10	5653	47450	<10	<10	<10
17	305	<ПО	472.2	10.00	0.071	0.220	<10	922.4	338.5	<10	<10	<10
18	7.66	<ПО	905.8	142.7	0.208	1.43	<10	30.70	<10	<10	<10	<10
19	1	0.94	0.114	1.69	0.007	0.022	0.065	3.63	4.58	0.008	0.122	0.207
20	20	<ПО	890.9	92.20	0.196	1.10	<10	39.10	0.025	<10	<10	<10
21	34.7	<ПО	356.6	188.0	0.056	0.612	<10	105.0	36.80	<10	<10	<10
22	313.00	<ПО	192.8	10.20	0.113	0.745	<10	<10	<10	<10	<10	<10
23	365	<ПО	226.5	13.20	0.128	0.295	<10	432.3	<10	<10	<10	<10
24	487	<ПО	151.0	19060	7.59	49.13	0.855	2249	8147	0.138	3.35	1.42
25	1665	2.49	10.10	54820	14.78	104.4	4.04	507.6	33860	0.492	5.33	0.635
26	232	0.76	28.63	187.2	0.200	1.13	0.076	969.3	15.43	0.023	10.18	1.23
27	172	<ПО	3.58	5875	0.348	7.34	0.336	150.8	994.5	0.092	0.436	0.011
28	268	<ПО	54.73	12970	4.95	36.27	1.33	2113	12840	3.27	4.56	0.419
29	218	<ПО	141.3	8665	10.28	48.16	0.495	2602	7071	0.320	13.48	2.55
30	2917	0.5	8.77	141230	33.70	171.34	2.45	835.5	35500	1.45	8.87	0.647
31	1257	≤0.1	3.25	73870	9.21	75.69	1.83	311.5	18800	12.45	1.85	14.36
32	1238	0.82	3.90	66090	9.53	66.82	2.13	290.8	18980	35.12	3.11	39.36
33	200	0.73	27.00	3421	0.565	11.59	0.294	826.7	3241	0.505	0.453	0.681
34	112	<ПО	467.8	24.40	0.104	2.16	<10	<10	<10	<10	<10	<10
35	602	<ПО	75.30	643.4	0.736	0.758	0.051	516.3	216.1	0.023	0.819	0.317
36	608	<ПО	95.86	18.50	0.071	0.195	0.111	490.4	7.11	0.036	11.26	1.16

Продолжение таблицы А.12

*	Zn	Ga	As	Rb	Ag	Cd	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Sm
1	0.259	0.009	3.82	66.23	0.510	0.023	8.19	0.015	0.018	0.011	0.020	0.011
2	2.00	0.011	0.484	63.22	0.174	0.193	68.96	0.018	0.022	0.011	0.018	0.014
3	78.20	4.03	28.96	55.35	0.843	0.290	10.28	5.977	17.145	2.805	11.465	2.746
4	4.00	0.016	18.94	3.45	0.373	1.50	5.75	0.015	0.015	0.009	0.012	0.008
5	8.65	1.84	89.25	20.58	0.177	0.972	3.27	0.013	0.014	0.009	0.010	0.009
6	1.19	0.014	0.185	3.71	0.008	0.004	30.80	0.017	0.015	0.010	0.029	0.010
7	3.93	0.038	0.465	1.59	0.287	0.014	8.72	0.105	0.266	0.050	0.217	0.075
8	2.14	0.021	0.787	1.31	0.103	0.009	8.35	0.071	0.232	0.049	0.227	0.084
9	12.49	0.461	0.907	0.622	0.008	0.011	64.86	0.430	1.084	0.202	1.078	0.385
10	108.8	4.54	9.91	1.85	0.016	0.086	28.01	0.997	3.075	0.666	4.144	2.275
11	1861.0	1.65	1152	203.1	0.579	14.44	127.0	0.635	1.993	0.441	2.725	1.468
12	2363	3.92	1265	не опр.	не опр.	14.40	91.60	1.401	4.269	0.924	5.629	2.995
13	0.423	0.043	0.041	11.78	0.023	0.014	0.927	0.012	0.012	0.009	0.011	0.009
14	841.8	0.845	279.4	130.3	0.171	2.84	62.90	0.292	1.004	0.238	1.546	0.885
15	737.1	0.210	104.5	46.26	0.051	3.04	30.10	0.152	0.521	0.133	0.882	0.518
16	3645	3.06	1045	не опр.	не опр.	25.80	36.20	0.759	2.779	0.686	4.660	2.702
17	11.00	0.013	646.5	не опр.	не опр.	<10	138.3	0.011	0.011	0.009	0.012	0.015
18	<10	1.33	3946	не опр.	не опр.	<10	136.6	0.016	0.014	0.009	0.020	0.015
19	0.266	0.009	19.89	0.566	0.015	0.004	0.364	0.009	0.010	0.009	0.011	0.009
20	<10	0.937	3469	не опр.	не опр.	<10	122.4	0.011	0.013	0.008	0.011	0.015
21	<10	0.060	261.0	не опр.	не опр.	<10	12.00	0.015	0.018	0.009	0.018	0.014
22	<10	0.023	3.23	не опр.	не опр.	<10	57.90	0.014	0.015	0.010	0.015	0.010
23	<10	0.035	7.63	не опр.	не опр.	<10	69.00	0.014	0.015	0.010	0.016	0.011
24	1777	2.60	3.16	79.28	0.186	0.206	132.5	0.850	2.375	0.451	2.575	1.479
25	118.5	11.37	9.40	22.92	0.099	0.530	67.53	1.837	4.966	0.871	4.292	1.580
26	2.55	0.080	7.02	16.04	0.096	0.703	46.54	0.061	0.112	0.024	0.103	0.039
27	10.84	0.072	10.14	3.61	0.008	0.007	33.05	0.310	0.846	0.154	0.767	0.269
28	4.00	1.31	10.62	55.51	0.031	0.047	80.56	0.402	1.304	0.295	1.862	1.199
29	2541	1.98	27.94	83.12	0.535	8.05	154.3	0.376	1.335	0.324	2.122	1.540
30	88.80	8.05	8.74	7.90	0.057	0.159	27.02	2.702	8.921	1.725	8.826	2.828
31	24.86	8.55	16.42	3.00	0.010	0.155	59.04	2.059	5.048	0.750	3.116	0.874
32	22.91	8.51	24.17	2.70	0.012	0.176	11.63	1.748	4.412	0.657	2.803	0.780
33	465.9	0.281	28.93	18.33	0.010	0.589	31.64	0.115	0.396	0.096	0.621	0.407
34	<10	1.87	728.3	не опр.	не опр.	<10	<10	0.011	0.012	0.010	0.021	0.015
35	1.95	0.012	52.65	15.54	0.426	0.062	22.86	0.037	0.092	0.025	0.106	0.076
36	5.83	0.016	35.05	не опр.	0.096	0.758	17.40	0.019	0.028	0.011	0.023	0.016

Продолжение таблицы А.12

*	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Pb	Th	U
1	0.010	0.013	0.012	0.011	0.010	0.011	0.010	0.010	0.018	0.089	0.010	0.007
2	0.013	0.015	0.009	0.013	0.010	0.014	0.009	0.012	0.010	0.197	0.117	0.008
3	0.657	3.404	0.565	3.114	0.746	2.048	0.301	1.749	0.292	0.306	3.389	1.271
4	0.009	0.010	0.009	0.008	0.008	0.009	0.009	0.009	0.009	0.151	0.018	0.001
5	0.008	0.009	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.009	0.150	0.022	0.001
6	0.012	0.011	0.010	0.010	0.011	0.011	0.011	0.011	0.012	0.117	0.006	0.002
7	0.034	0.107	0.027	0.112	0.035	0.083	0.022	0.076	0.022	0.354	0.012	0.009
8	0.035	0.125	0.030	0.130	0.042	0.098	0.025	0.098	0.027	0.321	0.034	0.008
9	0.142	0.526	0.094	0.529	0.133	0.390	0.065	0.397	0.073	0.288	0.020	0.037
10	1.173	5.633	1.270	8.743	2.374	7.224	1.173	7.367	1.312	0.457	0.216	0.551
11	0.502	2.884	0.593	3.777	0.962	2.767	0.426	2.520	0.416	172.764	0.290	0.109
12	1.027	5.780	1.184	7.499	1.887	5.262	0.855	5.086	0.849	149.743	не опр.	0.197
13	0.009	0.010	0.009	0.008	0.009	0.009	0.010	0.009	0.010	0.124	0.006	0.002
14	0.317	1.815	0.379	2.403	0.616	1.778	0.276	1.632	0.274	20.296	0.018	0.078
15	0.188	1.106	0.237	1.516	0.393	1.135	0.179	1.055	0.179	11.950	0.033	0.059
16	1.053	5.753	1.214	7.820	1.994	5.750	0.886	5.229	0.868	3.531	не опр.	0.064
17	0.013	0.014	0.009	0.012	0.010	0.011	0.009	0.014	0.009	0.155	не опр.	0.003
18	0.014	0.015	0.010	0.013	0.009	0.010	0.009	0.013	0.009	0.880	не опр.	0.004
19	0.009	0.009	0.009	0.008	0.009	0.009	0.009	0.009	0.010	0.089	0.275	0.001
20	0.013	0.014	0.009	0.013	0.009	0.012	0.009	0.014	0.010	0.202	не опр.	0.003
21	0.011	0.016	0.009	0.015	0.010	0.014	0.009	0.015	0.009	0.161	не опр.	0.005
22	0.013	0.012	0.009	0.010	0.009	0.011	0.009	0.010	0.009	0.210	не опр.	0.004
23	0.014	0.012	0.009	0.009	0.009	0.010	0.009	0.010	0.009	0.167	не опр.	0.001
24	0.558	3.073	0.609	3.700	0.915	2.537	0.383	2.196	0.347	0.366	0.113	0.214
25	0.568	2.226	0.386	2.219	0.533	1.487	0.230	1.389	0.234	1.018	0.498	0.099
26	0.023	0.055	0.016	0.048	0.019	0.034	0.013	0.027	0.012	0.102	0.015	0.004
27	0.112	0.433	0.081	0.460	0.120	0.336	0.055	0.311	0.057	0.060	0.006	0.010
28	0.453	2.620	0.532	3.283	0.816	2.259	0.337	1.900	0.302	0.144	0.016	0.179
29	0.572	3.441	0.695	4.184	1.038	2.849	0.425	2.399	0.370	5.080	0.224	0.209
30	0.907	3.957	0.712	4.170	1.030	2.979	0.464	2.848	0.492	1.104	0.440	0.170
31	0.320	1.306	0.236	1.404	0.362	1.071	0.174	1.082	0.194	4.759	0.171	0.142
32	0.287	1.161	0.211	1.239	0.318	0.936	0.154	0.945	0.170	10.107	0.202	0.674
33	0.152	0.917	0.193	1.198	0.300	0.825	0.124	0.709	0.116	2.725	0.009	0.042
34	0.010	0.014	0.010	0.013	0.010	0.011	0.010	0.016	0.009	0.398	не опр.	0.007
35	0.056	0.280	0.068	0.370	0.098	0.236	0.040	0.170	0.035	0.239	0.260	0.005
36	0.016	0.055	0.018	0.064	0.023	0.042	0.013	0.027	0.012	0.308	0.005	0.010

Примечания к таблице А.12:

*

1. Источник Нескученский (90.0 °С, рН 6.6; №2, А.3).
 2. Источник Славный, Нескученская группа (89.5 °С, рН 6.4; №1, А.3).
 3. Источник Высокий, Нескученская группа (90.0 °С, рН 2.2).
 4. Прасоловский источник (30.6 °С, рН 7.7; №4, А.3).
 5. Источник Добрый Ключ (68.0 °С, рН 8.3; №5, А.3).
 6. Восточное сольфатарное поле влк. Менделеева (80.0 °С, рН 3.3).
 7. Восточное сольфатарное поле влк. Менделеева (85.0 °С, рН 3.2; №1, А.8).
 8. Озеро Овальное, Восточное сольфатарное поле влк. Менделеева (85.0 °С, рН 3.3).
 9. Верхняя группа руч. Кислый (90.0 °С, рН 2.0).
 10. Верхняя группа руч. Кислый (99.0 °С, рН 2.3; №2, А.8).
 11. Нижняя группа руч. Кислый (70.0 °С, рН 2.0).
 12. Источник Купальный, нижняя группа руч. Кислый (90.0 °С, рН 1.6; №3, А.8).
 13. Источник Дикие Ванны, Приустьевая группа руч. Кислый (30.0 °С, рН 7.2; №4, А.8).
 14. Верхнедокторский источник (25.0 °С, рН 2.1; №5, А.8).
 15. Гейзерное озеро, Верхнедокторская группа (30.0 °С, рН 2.2; №6, А.8).
 16. Источник Раковина, Нижнедокторская группа (51.0 °С, рН 2.6; №8, А.8).
 17. Бассейн водолечебницы «Кислый Ключ» (45.0 °С, рН 6.2; №9, А.8).
 18. Сброс с ГеоТЭС «Менделеевская» (100.0 °С, рН 7.9; №11, А.8).
 19. Сброс с ГеоТЭС «Менделеевская» (100.0 °С, рН 4.9; №12, А.8).
 20. Сброс с ГеоТЭС в руч. Холодный (70.0 °С, рН 7.9; №13, А.8).
 21. Третьяковские источники, северная группа (65.0 °С, рН 6.4; №16, А.8).
 22. Столбовской источник (44.0 °С, рН 7.0).
 23. Столбовской источник (82.0 °С, рН 6.8; №18, А.8).
 24. Центральное Восточное сольфатарное поле влк. Головнина (95.0 °С, рН 1.9; №5, А.9).
 25. Центральное Восточное сольфатарное поле влк. Головнина (95.0 °С, рН 1.5; №4, А.9).
 26. Центральное Восточное сольфатарное поле влк. Головнина (95.0 °С, рН 2.0).
 27. Центральное Восточное сольфатарное поле влк. Головнина (100.0 °С, рН 2.4).
 28. Центральное Восточное сольфатарное поле влк. Головнина (90.0 °С, рН 2.1; №6, А.9).
 29. Озеро Кипящее, влк. Головнина (100.0 °С, рН 2.1; №3, А.9).
 30. Центральное Западное сольфатарное поле влк. Головнина (98.0 °С, рН 1.2; №1, А.9).
 31. Центральное Западное сольфатарное поле влк. Головнина (100.0 °С, рН 1.2).
 32. Центральное Западное сольфатарное поле влк. Головнина (100.0 °С, рН 1.2).
 33. Озеро Горячее, влк. Головнина (15.0 °С, рН 2.5; №2, А.9).
 34. Пульсирующий источник Алехинской группы (100.0 °С, рН 7.3).
 35. Источник Орлиный, Алехинская группа (53.0 °С, рН 3.4; №8, А.9).
 36. Источник Банный, Алехинская группа (55.0 °С, рН 5.7; №7, А.9).
1. Определение содержания элементов с В по Sr (в мг/л) выполнено методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой на спектрометре iCAP 6500Duo (Thermo Scientific Corporation, США);
Аналитический центр ДВГИ ДВО РАН, лаборатория аналитической химии, аналитики Г.А. Горбач, Е.А. Ткалина, Н.В. Хуркало.
 2. Редкоземельные элементы (в мкг/л) определялись методом ИСП-МС. Ag, Th, Rb – определялись методом ИСП-МС. Содержания Li, Al определялись методом ИСП-АЭС, если их значения превышали 10 ppb. В пробах, где содержания этих элементов <10 ppb, использовался метод ИСП-МС. Sc, V, As – определялись методом ИСП-МС. Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Ba – определялись методами ИСП-АЭС и ИСП-МС, в зависимости от содержания этих элементов. При содержаниях >10 ppb использовался метод ИСП-АЭС. При содержаниях этих элементов <10 ppb использовался метод ИСП-МС. Значение <10 ppb указано в случае высокоминерализованных проб. Метод определения только ИСП-АЭС, а определение ИСП-МС методом этих элементов невозможно.
- Определения методом ИСП-МС выполнялись на ИСП-МС спектрометрах ELEMENT XR (Thermo, Германия), Agilent 7700 (Agilent Tech, США)

Определения методом ИСП-МС выполнили аналитики Е.В. Еловский, Т.Ю. Романова (аналитический центр ДВГИ ДВО РАН, лаборатория рентгеновских методов).

3. Результаты определения содержания ионов с F по NH_4 в образцах вод (в мг/л) методом ионной хроматографии получены на хроматографе LC-20 (Shimadzu, Япония).

Аналитический центр ДВГИ ДВО РАН, лаборатория аналитической химии, исполнители – Г.А. Бахарева, М.И. Безроднова.

4. В скобках даны значения температуры, pH и номера термальных источников из таблиц А.3, А.8, А.9, в которых представлен их химический состав.

Таблица А.13

Химический состав термальных вод острова Итуруп (в мг/дм³):

1 - озеро Теплое (влк. Меньший Брат); 2 - Рейдовский источник; 3 - скважина №3, Рейдовское месторождение; 4 - ист. Бочка, Старозаводское сольфатарное поле влк. Баранского; 5 - ист. Бирюзовый, Старозаводское сольфатарное поле влк. Баранского; 6 - ист. Молочный, Старозаводское сольфатарное поле влк. Баранского; 7 - река Кипящая, влк. Баранского; 8 - ист. Пресный в долине р. Кипящая; 9 - ист. Нагорный, влк. Тебенькова; 10 - ист. Лопастной, влк. Иван Грозный; 11 - ист. №1, пос. Горячие Ключи; 12 - источник около ист. №1, пос. Горячие Ключи; 13 - скв. №1, Дачное месторождение; 14 - скв. №5, Дачное месторождение.

Компонент	1	2	3	4	5	6	7
T, °C	37.0	30.0	82.0	40.0	89.4	46.1	40.0
pH	6.8	6.5	7.7	3.1	3.3	3.2	1.4
Na	91	1011	1059	45.9	29.0	831	111
K	12.0	59	62	18.3	6.9	196	31.2
Ca	41.6	424	408	149	16.4	52	118
Mg	16.5	18.3	15.1	41.2	7.2	21.0	30.2
NH ₄	0.75	<0.50	<0.50	<0.05	5.6	<0.05	6.1
Fe(II)	<0.05	<0.05	<0.05	0.166	0.76	2.66	0.71
Fe(III)	<0.05	<0.05	<0.05	4.1	0.79	<0.05	11.0
Cl	38.8	1600	1651	2.1	22.8	1653	1194
SO ₄	101	878	880	672	131	174	2381
NO ₃	0.83	<0.20	<0.20	<0.20	5.6	<0.20	4.0
NO ₂	<0.20	<0.20	<0.20	<0.005	<0.20	2.10	<0.005
CO ₃	<6.0	<6.0	<6.0	<6.0	<6.0	<6.0	<6.0
HCO ₃	256.2	366	311	<6.1	<5.0	<5.0	<6.1
Al	<0.04	<0.04	<0.04	13.2	0.30	0.076	84
Ba	0.0048	0.109	0.079	0.025	0.040	<0.001	0.132
Be	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.00016	0.00012	0.0001	0.00057
B	8.2	9.3	9.7	<0.05	0.096	12.2	1.21
Br	0.520	<0.05	<0.05	0.218	0.290	8.55	6.19
V	0.0050	<0.001	<0.001	0.094	<0.001	<0.001	0.24
Bi	0.012	<0.01	<0.01	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
W	<0.01	<0.01	<0.01	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Fe(II)	0.171	0.144	<0.05	3.3	<0.05	0.44	0.64
Fe(III)	<0.05	<0.05	<0.05	0.82	0.88	0.50	11.5
I	<0.10	<0.10	<0.10	<0.05	<0.05	0.0654	<0.05
Cd	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.023
Co	<0.05	<0.05	<0.05	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
Li	0.087	10.7	10.2	0.0189	0.0196	3.6	0.186
Mn	<0.005	0.68	0.53	0.89	0.117	0.19	0.35
Cu	<0.005	<0.005	<0.005	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Mo	<0.001	<0.001	<0.001	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04
As	<0.002	<0.002	0.34	0.0051	<0.01	0.051	0.204
Ni	0.47	0.84	1.13	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Hg	<0.00001	0.049	0.043	<0.00002	0.0034	0.00069	<0.00002
Pb	<0.001	<0.001	<0.001	0.0119	<0.001	<0.001	0.28
Se	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.00126	<0.0001	<0.0001
Ag	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
Sr	0.159	2.7	2.6	0.24	0.069	0.43	0.47
Sb	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
U	<0.002	0.099	0.113	<0.002	0.0106	0.048	<0.002
PO ₄	<0.25	<0.25	<0.25	<0.05	<0.25	<0.25	<0.05
F	0.60	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Cr	<0.001	<0.001	<0.001	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
CN	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Zn	<0.005	<0.005	<0.005	0.0113	0.0079	0.0153	0.108

Продолжение таблицы А.13

Компонент	8	9	10	11	12	13	14
T, °C	49.1	91.0	40.0	45.5	46.2	32.9	23.7
pH	6.8	4.0	2.0	7.3	7.6	6.5	6.8
Na	145	173	210	449	444	1010	1119
K	30.3	18.6	27.2	36.9	36.1	28.4	28.7
Ca	97	146	25.2	27.8	28.4	148	149
Mg	26.7	174	20.6	12.7	14.4	118	120
NH ₄	<0.05	<0.05	2.2	<0.05	<0.05	2.30	2.25
Fe(II)	<0.05	0.71	<0.05	0.24	0.161	<0.05	<0.05
Fe(III)	3.4	<0.05	0.33	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Cl	179	506	178	399	404	1310	1526
SO ₄	229	837	688	0.73	0.72	57	51
NO ₃	7.6	<0.20	<0.20	0.76	0.36	<0.20	<0.20
NO ₂	<0.005	<0.20	<0.20	<0.005	<0.005	1.30	1.90
CO ₃	<6.0	<6.0	<6.0	<6.0	<6.0	<6.0	<6.0
HCO ₃	256	<5.0	<5.0	708	732	2172	1775
Al	0.35	0.4	4.2	0.065	<0.04	0.076	2.1
Ba	0.084	<0.001	<0.001	0.168	0.168	0.119	0.104
Be	<0.0001	0.00012	<0.0001	<0.0001	0.000140	<0.0001	<0.0001
B	1.40	0.62	2.24	4.3	4.7	8.4	9.6
Br	1.41	2.78	1.52	4.38	5.32	8.40	13.4
V	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Bi	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
W	<0.05	<0.01	<0.01	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Fe(II)	0.56	<0.05	<0.05	0.29	<0.05	<0.05	<0.05
Fe(III)	<0.05	<0.05	0.18	0.59	0.49	0.26	6.6
I	<0.05	0.083	0.093	0.186	0.181	<0.05	0.370
Cd	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Co	<0.005	<0.05	<0.05	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
Li	0.36	0.119	0.197	0.136	0.143	2.52	2.42
Mn	0.24	7.4	1.93	<0.005	<0.005	0.19	0.144
Cu	<0.001	0.024	<0.005	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Mo	<0.04	<0.001	<0.001	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04
As	0.087	<0.01	0.082	<0.01	<0.01	0.091	0.128
Ni	<0.001	<0.05	<0.05	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Hg	0.000023	0.040	0.0096	0.0000170	<0.00001	<0.00001	<0.00001
Pb	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Se	<0.0001	0.00033	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.00026	<0.0001
Ag	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
Sr	0.37	0.231	0.039	0.093	0.211	1.46	0.56
Sb	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
U	<0.002	<0.002	0.036	0.093	0.120	<0.002	<0.002
PO ₄	<0.05	<0.25	<0.25	0.73	0.44	<0.25	<0.25
F	0.160	<0.10	<0.10	0.34	0.34	<0.10	7.5
Cr	<0.01	<0.001	<0.001	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
CN	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Zn	0.0089	0.014	0.067	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005

Примечания:

1. Анализы выполнены в 2013-2014 гг. в Центральной лаборатории ОАО «Приморгеология», начальник лаборатории Т.Б. Горбенко
2. Методы определения концентрации элементов в воде и используемые приборы указаны в таблице А.3 Приложения А.

Таблица А.14

Химический состав термальных вод острова Итуруп (2013 год).

*	B	Na	Mg	Si	K	Ca	Sr	F	Cl	Br	NO ₂	NO ₃
1	18.320	1025.0	12.810	160.600	241.80	41.530	0.153	<ПО	1756	4.6	<ПО	<ПО
2	13.510	725.8	12.750	144.200	177.40	39.730	0.158	<ПО	1649	3.45	<ПО	0.3
3	0.15	12.83	5.90	41.76	3.78	14.66	0.063	<ПО	11.1	<ПО	<ПО	<ПО
4	22.400	1251.00	14.17	265.400	26.86	64.36	0.177	<ПО	2468	4.97	<ПО	<ПО
5	0.48	29.73	18.48	82.34	11.41	40.49	0.105	0.08	40	0.07	<ПО	0.04
6	1.820	121.80	23.34	98.460	25.90	86.65	0.340	<ПО	168	0.34	<ПО	0.2
7	4.49	351.4	12.21	63.20	29.55	25.20	0.183	<ПО	328	1.18	<ПО	0.17
8	4.46	<0.01	12.34	64.08	29.56	25.410	0.185	<ПО	354	1	<ПО	<ПО
9	8.774	838.4	109.40	62.880	25.92	142.70	0.514	<ПО	1284	3.45	<ПО	<ПО
10	8.134	848.3	101.30	60.110	53.53	117.40	0.457	<ПО	1148	3.07	<ПО	<ПО

*	SO ₄	NH ₄	Li	Al	Sc	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu
1	144	8.91	2439	2310	0.501	5.77	<10	1247	2310	<10	<10	<10
2	167	<ПО	1125	14950	0.708	7.05	<10	1163	1723	<10	<10	<10
3	97.9	4.26	8.67	208.0	0.794	2.84	0.075	419.6	178.5	0.008	0.325	0.045
4	139	<ПО	2982	5197	1.14	4.79	<10	776.7	6.61	<10	<10	<10
5	184	2.91	13.07	47.58	0.099	0.456	0.127	777.6	116.1	0.117	0.658	1.35
6	199	1	196.95	4.25	0.173	0.344	0.033	652.3	121.7	0.104	0.428	0.572
7	1.02	7.26	67.30	2.39	0.122	0.243	0.066	34.46	206.5	0.017	0.267	0.786
8	1.6	7.25	67.26	3.36	0.134	0.198	0.088	38.77	168.0	0.016	0.210	0.463
9	51.7	<ПО	750.0	8.00	0.100	0.253	<10	369.0	8.00	<10	<10	<10
10	43.33	<ПО	725.0	8.00	0.080	0.374	<10	229.7	13.10	<10	530.0	<10

*	Zn	Ga	As	Rb	Ag	Cd	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Sm
1	16.00	0.418	137.8	не опр.	не опр.	<10	80.10	0.190	0.645	0.114	0.672	0.241
2	26.70	0.629	123.9	не опр.	не опр.	<10	74.20	1.462	5.452	0.887	4.780	1.396
3	3.68	0.022	1.25	10.19	0.005	0.024	30.74	0.049	0.142	0.040	0.201	0.093
4	36.80	0.762	224.9	не опр.	не опр.	<10	91.40	0.447	1.602	0.292	1.708	0.609
5	1.54	0.023	5.40	23.40	0.012	0.012	45.24	0.055	0.103	0.049	0.126	0.066
6	0.980	0.008	83.47	161.4	0.436	0.012	91.03	0.004	0.006	0.001	0.005	0.002
7	0.536	0.012	0.090	34.09	0.568	0.009	180.8	0.010	0.015	0.005	0.011	0.006
8	0.613	0.011	0.113	38.90	0.408	0.007	213.6	0.014	0.016	0.010	0.013	0.011
9	<10	0.006	206.0	не опр.	не опр.	<10	79.60	0.009	0.010	0.007	0.015	0.014
10	<10	0.004	191.5	не опр.	не опр.	<10	76.60	0.010	0.010	0.008	0.015	0.015

*	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Pb	Th	U
1	0.088	0.340	0.064	0.391	0.092	0.278	0.049	0.284	0.051	0.624	не опр.	0.019
2	0.463	2.062	0.362	2.330	0.515	1.532	0.223	1.372	0.213	0.875	не опр.	0.024
3	0.042	0.136	0.032	0.151	0.047	0.124	0.030	0.142	0.034	0.085	0.009	0.008
4	0.204	0.831	0.152	0.961	0.212	0.612	0.099	0.580	0.095	0.562	не опр.	0.024
5	0.048	0.099	0.047	0.102	0.058	0.097	0.049	0.094	0.052	0.859	0.010	0.003
6	0.005	0.002	0.001	0.002	0.001	0.002	0.001	0.002	0.001	0.171	0.005	0.005
7	0.014	0.007	0.003	0.006	0.003	0.005	0.003	0.006	0.003	0.228	0.013	0.012
8	0.019	0.013	0.010	0.011	0.010	0.011	0.010	0.011	0.010	0.221	0.009	0.006
9	0.011	0.015	0.009	0.012	0.009	0.011	0.008	0.015	0.009	0.349	не опр.	0.014
10	0.013	0.013	0.009	0.013	0.010	0.012	0.010	0.014	0.009	0.439	не опр.	0.012

Примечания:

*

1. Источник Молочный, Старозаводское сольфатарное поле влк. Баранского (№6; А.13).
2. Источник около ист. Молочный, Старозаводское сольфатарное поле влк. Баранского.
3. Источник Бирюзовый, Старозаводское сольфатарное поле влк. Баранского (№5; А.13).
4. Источник около ист. Бирюзовый, Старозаводское сольфатарное поле влк. Баранского.
5. Источник около ист. Бирюзовый, Старозаводское сольфатарное поле влк. Баранского.
6. Источник Пресный, долина р. Кипящая (№8; А.13).
7. Источник №1 в пос. Горячие Ключи (№11; А.13).
8. Источник около ист. №1 в пос. Горячие Ключи (№12; А.13).
9. Скважина №1, Дачное месторождение (№13; А.13).
10. Скважина №5, Дачное месторождение (№14; А.13).

Описание методов проведения анализов даны в таблице А.12 Приложения А.

В скобках даны номера термальных источников из таблицы А.13, в которой представлен их химический состав.

Таблица А.15

Химический состав Нагорных термальных источников
и источника Лопастной (в мг/л).

Название	Нагорные источники		источник Лопастной
	1	2	
T, °C	81.5	48.6	41.5
pH	2.8	3.8	2.6
Na⁺	67.0	232.0	128.0
K⁺	8.4	26.8	19.0
NH₄⁺	1.4	0.8	2.0
Ca²⁺	15.4	231.0	16.6
Mg²⁺	9.7	270.0	18.5
Fe²⁺	< 0.05	0.23	< 0.05
Fe³⁺	1.7	0.07	5.6
Al³⁺	1.6	15.5	5.0
H⁺	0.7	0.3	3.4
Σ_{катионов}	106.0	776.7	198.1
Cl⁻	55.0	520.0	117.0
SO₄²⁻	252.0	1528.0	466.0
Σ_{анионов}	307.0	2048.0	583.0
SiO₂	4.0	144.0	8.0
TDS	417.0	2968.7	789.2

Примечание:

Анализы выполнены в Центральной лаборатории Дальневосточного филиала ФГУНПП «Росгеолфонд» (г. Южно-Сахалинск), 2005 год.

Таблица А.16

Состав свободно выделяющихся газов термальных источников острова Итуруп:

1 - озеро Теплое, влк. Меньший Брат; 2 - грязевой котел, Рейдовское месторождение; 3 - Рейдовский термальный источник; 4 - ист. Бирюзовый, Старозаводское поле влк. Баранского; 5 - скважина с холодной водой в районе пос. Горячие Ключи; 6 - скв. №1, Дачное месторождение (2013 г.); 7 - скв. №1, Дачное месторождение (2014 г.); 8 - скв. №6, Дачное месторождение (2014 г.).

	CO ₂ , %	CO, %	O ₂ , %	N ₂ , %	CH ₄ , %	C ₂ H ₄ , %	C ₂ H ₆ , %	C ₃ H ₆ , %	C ₃ H ₈ , %	и-C ₄ H ₁₀ , %	S-газы, %
1	13.8	-	10.8	75.4	0.003	-	0.00005	-	0.0005	0.0001	-
2	19.1	-	2.2	69.1	9.5	-	0.09	-	0.00016	-	-
3	28.5	-	1.0	59.6	10.8	-	0.103	-	0.015	0.002	0.07
4	63.94	0.00009	5.99	28.05	0.162	0.000004	0.00134	0.00042	0	0.00001	1.86
5	1.1	-	0.9	55.0	42.9	-	0.03	-	0.00004	0.00003	-
6	93.92	0.00015	0.13	5.95	0.008	0	0.00000	0	0.00003	0	0
7	93.6	-	0.2	6.2	0.009	-		-	-	-	-
8	70.4	-	7.3	22.2	0.022	-		-	-	-	-

Примечание:

Анализы выполнены в 2013-2014 гг. на газовом хроматографе «КристалЛюкс 4000» в лаборатории газогеохимии ТОИ ДВО РАН (г. Владивосток).
Аналитики – О.Ф. Верещагина, к.г.-м.н. Е.В. Коровицкая.

Газовый состав термальных источников и сольфатар центральной части о. Итуруп:

1 - Рейдовский термальный источник; 2-3 - сольфатары Верхнего сольфатарного поля влк. Баранского; 4-6 - термальные источники Старозаводского сольфатарного поля влк. Баранского; 7 - Голубые Озера (верхняя воронка), р. Кипящая, влк. Баранского; 8 - Нагорный термальный источник.

Номер пробы	1	2	3	4	5	6	7	8
Компонент	С, % об.	С, % об.	С, % об.	С, % об.	С, % об.	С, % об.	С, % об.	С, % об.
Гелий	0.0059	<0.0059	<0.0059	<0.0059	<0.0059	<0.0059	<0.0059	<0.0059
Водород	0.192	<0.005	0.003	15.939	8.105	1.222	0.005	0.028
Кислород	0.02	0.11	0.75	1.15	6.39	10.31	9.34	0.46
Аргон	1.10	0.02	0.04	0.28	0.38	0.48	0.77	0.09
Азот	67.13	1.46	3.90	6.35	28.75	41.55	50.89	3.46
СО	<0.026	0.026	0.026	0.026	0.052	0.052	<0.026	0.026
СО ₂	21.91	92.27	91.11	74.37	53.49	44.95	38.17	88.41
Сероводород	0.13	<0.0086	<0.0086	<0.0086	<0.0086	<0.0086	<0.0086	<0.0086
Метан	8.760033	0.0180395	0.0729830	0.6145830	0.0890893	0.1276126	0.0528510	0.1347156
Этилен	<0.0000006	0.0004739	0.0003744	0.0006980	0.0001714	<0.0000006	<0.0000006	<0.0000006
Этан	0.1002994	0.0011123	0.0041467	0.0030052	0.0007948	0.0018522	0.000223	0.000515
Пропилен	<0.0000005	<0.0000005	<0.0000005	<0.0000005	0.0001642	<0.0000005	<0.0000005	<0.0000005
Пропан	0.0111659	0.0004475	0.0013397	0.0007112	<0.0000004	0.0003285	0.0001615	<0.0000004
И-бутан	0.0025758	<0.0000004	0.0001204	<0.0000004	<0.0000004	<0.0000004	<0.0000004	<0.0000004
п-бутан	0.0011904	0.0003668	0.0004097	0.0025333	<0.0000003	<0.0000003	<0.0000003	<0.0000003
п-пентан	0.0004198	0.0003531	0.0004295	0.0003611	<0.0000002	<0.0000002	<0.0000002	<0.0000002
SO ₂ (площадь пика, мм ²)		789.3	415.7	258.9	201.2	308.2		937.5

Примечание:

Анализы выполнены в 2013 г. в аналитическом центре ИВиС ДВО РАН (г. Петропавловск-Камчатский) на хроматографах Shimadzu GC-17A и Agilent 6890N (аналитик Н.Ю. Курносова).

Приложение Б

Рекомендации по применению термальных вод и
лечебных грязей
островов Кунашир и Итуруп

Рекомендации по наружному и внутреннему применению термальных вод
острова Кунашир [Оказание..., 2014].

Название источников	Рекомендации по наружному и внутреннему применению
Северная часть острова Кунашир	
Источник Белый Ключ, Нескученская группа	Вода источника может использоваться в санаторно-курортном лечении для наружного применения (ванны) при болезни системы кровообращения, болезни нервной системы, болезни органов дыхания, болезни костно-мышечной системы, обмена веществ, болезни кожи. Лечебно-столовая вода по аналогии с Амурским типом рекомендуется для внутреннего применения в лечебно-профилактических целях при: болезни пищевода, хроническом гастрите с нормальной и повышенной секреторной функцией желудка, неосложненной язвенной болезни желудка и 12-перстной кишки, хроническом колите и энтероколите, хроническом заболевании печени моче- и желчевыводящих путей, болезни обмена веществ.
Источник Изумрудный Ключ, Нескученская группа	Воды могут использоваться по аналогии с Горячинским типом для наружного применения в виде ванн, бассейновых купаний при: болезни системы кровообращения; болезни нервной системы; болезни костно-мышечной системы; болезни эндокринной системы; расстройства питания и нарушения обмена веществ – ожирение (алиментарное); воспалительные и невоспалительные болезни женских половых органов; болезни кожи: дерматит, экзема и др.
Источник Славный, Нескученская группа	Вода может использоваться для наружного применения в виде ванн и купаний при лечении и профилактики заболеваний опорно-двигательного аппарата, нарушений обмена веществ, болезнях сердечно-сосудистой, нервной систем, гинекологических заболеваниях и хронических заболеваниях кожи. По аналогии с Кашинским типом лечебно-столовая вода может использоваться для внутреннего применения при хроническом гастрита, язвенной болезни желудка и 12-перстной кишки, болезни кишечника, болезни печени и поджелудочной железы, болезни обмена веществ, болезни мочевыводящих путей.
Источник Прасоловский	Вода может использоваться для наружного применения в виде ванн и купаний при лечении и профилактики болезни нервной системы, болезни костно-мышечной системы, болезнях мочеполовой системы, заболеваний кожи.
Источник Добрый Ключ	По аналогии с Горячинским типом воды рекомендуются для наружного применения в виде ванн и купаний при лечении и профилактики заболеваний опорно-двигательного аппарата, нарушений обмена веществ, болезнях сердечно-сосудистой, нервной систем гинекологических заболеваниях и хронических заболеваний кожи. По аналогии с Хиловским типом лечебно-столовая вода может использоваться для внутреннего применения при болезни пищевода, хроническом гастрите, язвенной болезни желудка и 12-перстной кишки, болезни кишечника, болезни печени и поджелудочной железы, болезни обмена веществ, болезни мочевыводящих путей. Для правильного применения вод необходимо проведение экспериментально-клинических исследований, проведение бактериологического и радиологического анализов, определение возможности использования вод с повышенным содержанием ртути (содержание Hg – 0.076 мг/дм³ при норме < 0.0005 мг/дм³).

Название источников	Рекомендации по наружному и внутреннему применению
Центральная часть острова Кунашир	
Озеро Овальное, Восточное сульфатарное поле вулкана Менделеева	Вода по аналогии с Горячинским типом может использоваться для наружного применения в виде ванн и купаний при лечении и профилактики заболеваний опорно-двигательного аппарата, нарушений обмена веществ, болезнях сердечно-сосудистой, нервной систем, гинекологических заболеваниях и хронических заболеваниях кожи. По аналогии с Иркутским типом лечебно-столовая вода может использоваться для внутреннего применения при: хроническом гастрита, язвенной болезни желудка и 12-перстной кишки, болезни кишечника, болезни печени и поджелудочной железы, болезни обмена веществ, болезни мочевыводящих путей. В настоящее время в воде озера выявлено повышенное содержание ртути Hg – 0,143 мг/дм³, поэтому она не соответствует Единым санитарно-эпидемиологическим и гигиеническим требованиям к товарам, подлежащим санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю) в ГОСТ Р 54316-2011 «Воды минеральные природные питьевые» Национального стандарта РФ.
Источник Купальный, руч. Кислый	Вода по аналогии с Гайским типом рекомендована для наружного применения в виде ванн и купаний при лечении и профилактики болезни нервной систем, болезни костно-мышечной системы, болезни мужских и женских половых органов, заболеваний кожи. Использование данной воды для внутреннего применения без дополнительного изучения не рекомендуется. В настоящее время в воде определено повышенное содержание ртути – 0.044 мг/дм³ (при норме < 0.0005 мг/дм³).
Источники Верхне- докторские; источник Раковина	По аналогии с Гайским типом может использоваться для наружного применения в виде ванн и купаний при лечении и профилактики болезни нервной системы, болезни костно-мышечной системы, болезнях мочеполовой системы, заболеваний кожи.
Гидротермы бассейна водолечебницы «Кислый Ключ»	Вода аналогична кремнистой термальной воде Кульдурского типа и рекомендуется для лечебно-профилактического наружного применения при болезнях системы кровообращения, болезнях нервной системы, болезнях костно-мышечной системы, болезнях эндокринной системы, расстройства питания – ожирение (алиментарное), болезни женских половых органов, болезни кожи. В ГОСТ Р 54316-2011 «Воды минеральные природные питьевые» Национального стандарта РФ наиболее близким аналогом является маломинерализованная вода Калининградского гидрохимического типа, XXX хлоридной натриевой группы минеральных вод. По аналогии может быть рекомендована для внутреннего лечебно-профилактического применения при болезни пищевода, хронического гастрита, язвенной болезни желудка и двенадцатиперстной кишки, болезни мочевыводящих путей.
Скважина Дракон; северная группа Третьяковских источников	По аналогии с Горячинским типом может использоваться для наружного применения в виде ванн и купаний при лечении и профилактики заболеваний опорно-двигательного аппарата, нарушений обмена веществ, болезнях сердечно-сосудистой, нервной систем, гинекологических заболеваниях и хронических заболеваниях кожи. По аналогии с Калининградским типом лечебно-столовая вода может использоваться для внутреннего применения при хроническом гастрита, язвенной болезни желудка и 12-перстной кишки, болезни кишечника, болезни печени и поджелудочной железы, болезни обмена веществ, болезни мочевыводящих путей.
Столбовские источники	По аналогии с Горячинским типом может использоваться для наружного применения в виде ванн и купаний при лечении и профилактики заболеваний опорно-двигательного аппарата, нарушений обмена веществ, болезнях сердечно-сосудистой, нервной систем, гинекологических заболеваниях и хронических заболеваниях кожи. По аналогии с Каспийским типом лечебно-столовая вода Столбовских источников может использоваться для внутреннего применения при хроническом гастрита, язвенной болезни желудка и 12-перстной кишки, болезни кишечника, болезни печени и поджелудочной железы, болезни обмена веществ, болезни мочевыводящих путей.

Название источников	Рекомендации по наружному и внутреннему применению
Южная часть острова Кунашир	
Источники Центрального Восточного сульфатарного поля вулкана Головнина	Вода относится к бромной, йодо-бромной и йодной минеральной группе вод, не имеет прямых аналогов. Воды этой группы используются для наружного применения в виде ванн и купаний при атеросклерозе, тиреотоксикозе, дисфункции яичников. Для правильного применения вод необходимо проведение экспериментально-клинических исследований.
Источники Центрального Западного сульфатарного поля вулкана Головнина	По аналогии с Гайским типом может использоваться для наружного применения в виде ванн и купаний при лечении и профилактики болезни нервной системы, болезни костно-мышечной системы, болезнях мочеполовой системы, заболеваний кожи.
Источник Орлиный, Северная Алехинская группа	Может использоваться в виде ванн наружно по аналогии с кремнистыми термальными водами Горячинского типа при болезни системы кровообращения, болезни нервной системы, болезни костно-мышечной системы, болезни мочеполовой системы, болезни кожи, болезни уха. Наиболее близким аналогом является маломинерализованная вода Вологодского гидрохимического типа XIVсульфатной натриево-кальциевой группы минеральных вод, поэтому вода может быть рекомендована для внутреннего лечебно-профилактического применения при: болезни пищевода, хронического гастрита, язвенной болезни желудка и двенадцатиперстной кишки, болезни мочевыводящих путей.

Примечания:

1. В таблице приведены результаты бальнеологических заключений 2013-2014 гг., выполненных научным сотрудником научно-исследовательской лаборатории медицинской экологии и рекреационных ресурсов НИИ МКВЛ (г. Владивосток), кандидатом геолого-минералогических наук Б.И. Челноковой.
2. Для правильного применения вод всех объектов необходимо дополнительное проведение экспериментально-клинических исследований, проведение бактериологического и радиологического анализов.
3. Бальнеологическое заключение по составу и качеству природной воды наружного и внутреннего применения разрабатывается на срок не более чем 5 лет при обязательном проведении режимных наблюдений.

Рекомендации по наружному и внутреннему применению термальных вод острова Итуруп [Оказание..., 2014].

Название источников	Рекомендации по наружному и внутреннему применению
Северо-восточная часть острова Итуруп	
Озеро Теплое, вулкан Меньший Брат	Вода оз. Теплое относится к кремнистым термальным водам различного ионного состава близкий аналог воды Кульдурского типа. Может использоваться для наружного применения при болезни кровообращения, нервной системы, болезни костно-мышечной системы, при ожирении, болезни мужских и женских половых органов, болезни кожи. Воды оз. Теплое можно отнести к VIIIа сульфатно-гидрокарбонатной кальциево-натриевой, кремнистой группе минеральных вод, наиболее близкий аналог - лечебно-столовые воды Гаазовского гидрохимического типа ГОСТ Р 54316-2011 «Воды минеральные природные питьевые» Национального стандарта РФ. Однако, наличие биологически активных компонентов позволяет рекомендовать воду озера Теплое для внутреннего применения после экспериментально-клинического изучения.
Центральная часть острова Итуруп	
Гидротермы скважины №13к, район г. Курильск	Бальнеологическое заключение №14/728 от 22.11.2010 г. разработано в ФГУ «РНЦ ВМиК» (г. Москва). Для наружного применения вода показана при лечении болезни системы кровообращения, нервной системы, костно-мышечной системы, эндокринной системы, мочеполовой системы, болезни кожи. Вода относится к минеральной природной питьевой лечебной и может быть показана при лечении болезни органов пищеварения, болезни эндокринной системы, расстройств питания и нарушения обмена веществ.
Гидротермы скважины №3, Рейдовское месторождение	Вода может использоваться только для наружного применения по аналогии с Горячинским типом при болезни кровообращения, болезни нервной системы, болезни костно-мышечной системы, болезни эндокринной системы (ожирение), болезни мочеполовой системы, болезни кожи. Использование возможно только после проведения экспериментально-клинических исследований и исследований влияния повышенного содержания ртути (Hg – 0.043 мг/дм³).
Источник Бирюзовый, Старозаводское поле вулкана Баранского	Наружное применение рекомендовано по аналогии с азотно-метановыми термальными водами в виде ванн для лечения и профилактики заболеваний опорно-двигательного аппарата, нарушений обмена веществ, болезнях сердечно-сосудистой, нервной систем гинекологических заболеваниях и хронических заболеваний кожи, ожогах. Самым близким аналогом является маломинерализованная вода Кашинского гидрохимического типа XIII группы минеральных вод в ГОСТ Р 54316-2011 «Воды минеральные природные питьевые» Национального стандарта РФ. После приведения в норму органических загрязнений может применяться в лечебно-профилактических целях для внутреннего применения как минеральная лечебно-столовая вода при болезни пищевода, хроническом гастрите с нормальной, повышенной и пониженной секреторной функцией желудка, язвенной болезни желудка и 12-перстной кишки, болезни кишечника, болезни печени, желчного пузыря и желчевыводящих путей, хроническом панкреатите, нарушении органов пищеварения после оперативного вмешательства, болезни обмена веществ, болезни мочевыводящих путей.

Название источников	Рекомендации по наружному и внутреннему применению
Источник Молочный, Старозаводское поле вулкана Баранского	Наружное применение рекомендовано по аналогии с азотно-метановыми термальными водами в виде ванн для лечения и профилактики заболеваний опорно-двигательного аппарата, нарушений обмена веществ, болезнях сердечно-сосудистой, нервной систем, гинекологических заболеваниях и хронических заболеваниях кожи, ожогах. Лечебно-столовая вода является близким аналогом Калининградского (Аневского) гидрохимического типа XXX группы минеральных вод в ГОСТ Р 54316-2011 «Воды минеральные природные питьевые» Национального стандарта РФ. После приведения в норму органических загрязнений может применяться в лечебно-профилактических целях для внутреннего применения как минеральная лечебно-столовая вода при болезни пищевода, хроническом гастрите с нормальной, повышенной и пониженной секреторной функцией желудка, язвенной болезни желудка и 12-перстной кишки, болезни кишечника, болезни печени, желчного пузыря и желчевыводящих путей, хроническом панкреатите, нарушении органов пищеварения после оперативного вмешательства, болезни обмена веществ, болезни мочевыводящих путей.
Источник Бочка, Старо-заводское поле вулкана Баранского	Результаты исследований 2014 г. по изучению клинической эффективности наружного применения термальных вод источника Бочка: наружное применение воды рекомендовано по аналогии с азотно-метановыми термальными водами при лечении и профилактики заболеваний опорно-двигательного аппарата, нарушений обмена веществ, сердечно-сосудистой, нервной систем, гинекологических заболеваниях, хронических заболеваниях кожи, ожогах. Лечебно-столовая вода источника Бочка является близким аналогом Казанского гидрохимического типа XII группы минеральных вод в ГОСТ Р 54316-2011 «Воды минеральные природные питьевые» Национального стандарта РФ. после проведения экспериментально-клинических исследований на безопасность повышенных содержаний микрокомпонентов может рекомендоваться в лечебно-профилактических целях для курсового питьевого применения по назначению врача при заболеваниях органов пищеварения: хронический гастрит с нормальной и пониженной секреторной функцией желудка, при неосложненной язвенной болезни желудка и 12-перстной кишки, болезни мочевыводящих путей.
Река Кипящая, вулкан Баранского	Результаты исследований 2014 г. по изучению клинической эффективности наружного применения термальных вод реки Кипящая: наружное применение рекомендовано по аналогии с азотно-метановыми термальными водами в виде ванн при лечении и профилактики заболеваний опорно-двигательного аппарата, нарушений обмена веществ, болезнях сердечно-сосудистой, нервной систем, гинекологических заболеваниях и хронических заболеваниях кожи, ожогах. Ультракислая реакция среды и повышенное содержание аммония не позволяет рекомендовать воду для внутреннего применения в качестве природной лечебно-столовой воды.
Источник Пресный, долина реки Кипящая	Наружное применение рекомендовано по аналогии с азотно-метановыми термальными водами в виде ванн для лечения и профилактики заболеваний опорно-двигательного аппарата, нарушений обмена веществ, болезнях сердечно-сосудистой, нервной систем, гинекологических заболеваниях и хронических заболеваниях кожи, ожогах. Данную воду необходимо выделить в самостоятельный гидрохимический тип. Самым близким аналогом воды источника Пресный является мало-среднеминерализованная вода Евгеньевского гидрохимического типа XXI группы минеральных вод в ГОСТ Р 54316-2011 «Воды минеральные природные питьевые» Национального стандарта РФ. В лечебно-профилактических целях для внутреннего применения может применяться как минеральная лечебно-столовая вода при болезни пищевода, хроническом гастрите с нормальной, повышенной и пониженной секреторной функцией желудка, язвенной болезни желудка и 12-перстной кишки, болезни кишечника, болезни печени, желчного пузыря и желчевыводящих путей, хроническом панкреатите, нарушении органов пищеварения после оперативного вмешательства, болезни обмена веществ, болезни мочевыводящих путей.

Название источников	Рекомендации по наружному и внутреннему применению
Источники Нагорные, вулкан Тебенькова	По аналогии с Горячинским типом может использоваться для наружного применения в виде ванн и купаний при лечении и профилактики заболеваний опорно-двигательного аппарата, нарушений обмена веществ, болезнях сердечно-сосудистой, нервной систем, гинекологических заболеваниях и хронических заболеваниях кожи. По аналогии с Иркутским типом лечебно-столовая вода может использоваться для внутреннего применения при: хроническом гастрите, язвенной болезни желудка и 12-перстной кишки, болезни кишечника, болезни печени и поджелудочной железы, болезни обмена веществ, болезни мочевыводящих путей. Для правильного лечебно-профилактического применения вод необходимо проведение экспериментально-клинических исследований, проведение бактериологического и радиологического анализов, определение возможности использования вод с повышенным содержанием ртути ($Hg - 0.040 \text{ мг/дм}^3$).
Источник Лопастной, вулкан Иван Грозный	По аналогии с Гайским типом воды могут использоваться для наружного применения в виде ванн и купаний при лечении и профилактики болезни нервной системы, болезни костно-мышечной системы, болезнях мочеполовой системы, заболеваний кожи. Для правильного лечебно-профилактического применения вод необходимо проведение экспериментально-клинических исследований, проведение бактериологического и радиологического анализов, определение возможности использования вод с повышенным содержанием ртути ($Hg - 0.0096 \text{ мг/дм}^3$).
Источники Горячие Ключи	Наружное применение рекомендовано по аналогии с азотно-метановыми термальными водами в виде ванн для лечения и профилактики заболеваний опорно-двигательного аппарата, нарушений обмена веществ, болезнях сердечно-сосудистой, нервной систем, гинекологических заболеваниях и хронических заболеваниях кожи, ожогах. Данную воду необходимо выделить в самостоятельный гидрохимический тип. Самым близким аналогом слабоминерализованной лечебно-столовой воды является Обуховский гидрохимического типа XXVIII группы минеральных вод в ГОСТ Р 54316-2011 «Воды минеральные природные питьевые» Национального стандарта РФ. После приведения в норму органических загрязнений вода может применяться в лечебно-профилактических целях для внутреннего приема как минеральная лечебно-столовая вода при болезни пищевода, хроническом гастрите с нормальной, повышенной и пониженной секреторной функцией желудка, язвенной болезни желудка и 12-перстной кишки, болезни кишечника, болезни печени, желчного пузыря и желчевыводящих путей, хроническом панкреатите, нарушении органов пищеварения после оперативного вмешательства, болезни обмена веществ, болезни мочевыводящих путей.
Южная часть острова Итуруп	
Гидротермы месторождения Дачное	Наружное применение рекомендовано по аналогии с азотно-метановыми термальными водами в виде ванн при лечении и профилактики заболеваний опорно-двигательного аппарата, нарушений обмена веществ, болезнях сердечно-сосудистой, нервной систем, гинекологических заболеваниях и хронических заболеваниях кожи, ожогах. Данную воду необходимо выделить в самостоятельный гидрохимический тип. Самым близким аналогом маломинерализованной лечебно-столовой воды являются Азовский и Сочинский гидрохимические типы. После приведения в норму органических загрязнений может применяться в лечебно-профилактических целях для внутреннего применения как минеральная лечебно-столовая вода при болезни пищевода, хроническом гастрите с нормальной, повышенной и пониженной секреторной функцией желудка, язвенной болезни желудка и 12-перстной кишки, болезни кишечника, болезни печени, желчного пузыря и желчевыводящих путей, хроническом панкреатите, нарушении органов пищеварения после оперативного вмешательства, болезни обмена веществ, болезни мочевыводящих путей. Клинические исследования по изучению лечебного действия лечебно-столовой минеральной воды месторождения Дачное, проведенные в НИИ МКВЛ в 2014 г., показали позитивную динамику клинических симптомов функции желчного пузыря, показателей функционального состояния печени и липидного обмена у пациентов с заболеваниями билиарной системы.

Примечания к таблице Б. 2:

1. В таблице приведены результаты бальнеологических заключений 2013-2014 гг., выполненных научным сотрудником научно-исследовательской лаборатории медицинской экологии и рекреационных ресурсов НИИ МКВЛ (г. Владивосток), кандидатом геолого-минералогических наук Б.И. Челноковой.
2. Для правильного применения вод всех объектов необходимо дополнительное проведение экспериментально-клинических исследований, проведение бактериологического и радиологического анализов.
3. Бальнеологическое заключение по составу и качеству природной воды наружного и внутреннего применения разрабатывается на срок не более чем 5 лет при обязательном проведении режимных наблюдений.

Таблица Б.3

Рекомендации по использованию лечебных грязей островов Кунашир и Итуруп [Оказание..., 2014].

Название объекта	Краткая характеристика грязевой массы и рекомендации по ее использованию
Остров Кунашир	
Грязи Нескученских источников	Внешние признаки: грязь неоднородная коричневая (темно-серая) с ржавыми прожилками, без запаха, разжиженная. Влажность исследуемого образца составляет 46.1-58.0 % соответствует значению требований, предъявляемых к лечебным грязям 25-75%. Объемный вес 1.71 г/дм³ соответствует норме сопочных грязей 1.3-1.7 г/д³. Однако внешние признаки грязи (неоднородная коричневая с ржавыми прожилками) и величина сопротивления сдвигу – 1060 дин/см² наличие растительных включений приближают к сапропелевым грязям (1000-2000 дин/см²), а наличие повышенной температуры характерно для термальных грязей. Грязевой раствор характеризуется как пресный (М – 0.877 мг/дм³) сульфатно-гидрокарбонатный (HCO₃⁻ – 48 мг-экв%; SO₄⁻ – 41 мг-экв%) магниевно-натриево-кальциевый (Ca²⁺ – 43 мг-экв%; Na⁺+K⁺ – 34 мг-экв%; Mg²⁺ – 22 мг-экв%), кремнистый (H₂SiO₃ –140 мг/дм³), с щелочной реакцией среды (рН – 7.13-8.35). Для правильного использования грязей в лечебно-профилактических целях необходимо проведение экспериментально-клинических исследований. Использование грязей по данным исследования невозможно в связи с повышенным содержанием кобальта.
Грязи Восточного сольфатарного поля вулкана Менделеева	Внешние признаки: грязь неоднородная светло-серого цвета, ржавые прожилки, без запаха, без видимых включений. Средняя влажность исследуемого образца составляет 46.5 % при норме (40-75%), объемный вес (1.32 г/дм³) при норме (1.3-1.7 г/дм³), величина сопротивления сдвигу – 1208 дин/см² норма (1000-2500 дин/см²) соответствуют гидротермальным (сопочным) грязям. Грязевой раствор характеризуется как пресный (М – 0.384 мг/дм³) сульфатный (SO₄²⁻ – 97 мг-экв%) магниевно-кальциевый (Ca – 47 мг-экв%; Mg – 37 мг-экв%), кремнистый H₂SiO₃ – 100 мг/дм³ с кислой реакцией среды (рН – 2.87). Гидротермальные (сопочные) пресные сульфатные магниевно-кальциевые, кремнистые грязи требуют дополнительного изучения по содержанию микроэлементов, радиоактивности и экспериментально-клинических исследований. Использование грязей по данным исследования невозможно в связи с превышением содержаний токсичных элементов - ртути и кобальта.
Грязи Верхней группы источников руч. Кислый, вулкан Менделеева	Внешние признаки: грязь тонкодисперсная однородная светло-серого цвета, без запаха. Средняя влажность исследуемого образца составляет 49.47% при норме 40-75% и объемный вес 1.43 г/дм³ при норме 1.3-1.7 г/дм³, величина сопротивления сдвигу – 1398 дин/см² при норме 1000-4000 дин/см², что соответствует гидротермальным (сопочным) грязям. Грязевой раствор характеризуется как пресный (М – 0.956 мг/дм³) сульфатный (SO₄⁻ – 99 мг-экв%) кальциевый (Ca²⁺ – 81 мг-экв%), железистый, кремнистый (H₂SiO₃ – 191 мг/дм³), с кислой реакцией среды (рН – 2.76). Грязи требуют дополнительного изучения по содержанию микроэлементов, радиоактивности и экспериментально-клинических исследований. Использование грязей по данным исследования невозможно в связи с превышением содержаний токсичных элементов – ртути и кобальта.

Название объекта	Краткая характеристика грязевой массы и рекомендации по ее использованию
Грязи Столбовских источников	Внешние признаки: грязь неоднородная, темно-коричневого цвета, с запахом сероводорода. Средняя влажность исследуемого образца составляет 51.37 %, что соответствует требованиям, предъявляемым к сопочным (термальным) грязям (40-75%). Объемный вес (1.38 г/дм³) соответствует норме (1.3-1.7 г/дм³). Величина сопротивления сдвигу – 1011 дин/см² отвечает норме (1000-2500 дин/см²). Грязевой раствор характеризуется как маломинерализованный (М – 2.118 мг/дм³) гидрокарбонатно-хлоридный (Cl⁻ – 67 мг-экв%; HCO₃⁻ – 26 мг-экв%) кальциево-натриевый (Na⁺+K⁺ – 76 мг-экв%; Са – 21 мг-экв%), кремнистый. Реакция среды щелочная (рН – 8.03). Грязи относятся к маломинерализованным гидрокарбонатно-хлоридным кальциево-натриевым, кремнистым гидротермальным (сопочным) грязям. Изученных аналогов нет. В грязи в большом количестве присутствует марганец, поэтому без экспериментально-клинических исследований использование данных грязей не рекомендуется.
Грязи Центрального Восточного сольфатарного поля вулкана Головнина	Внешние признаки: грязь неоднородная черного цвета, без запаха. Средняя влажность исследуемого образца составляет 43,11% и близка к нижнему значению требований, предъявляемых к гидротермальным (сопочным) грязям (40-75%). Объемный вес (1.6 г/дм³) соответствует норме (1.3-1.7 г/дм³). Величина сопротивления сдвигу – 797 дин/см² ниже норм (1000 дин/см²), поэтому необходимо частичное обезвоживание перед применением. Грязевой раствор характеризуется как слабоминерализованный (М – 1.125 мг/дм³) сульфатный (SO₄⁻ – 100 мг-экв%) кальциевый (Са – 83 мг-экв%; Na+K - 10 мг-экв%; Mg – 4 мг-экв%), кремнистый. Реакцией среды кислая (рН – 1.94). Грязи относятся к гидротермальным (сопочным) слабоминерализованным сульфатным кальциевым, кремнистым. Применение данных грязей не рекомендуется в связи с повышенным содержанием токсичного элемента - свинца.
Грязи Центрального Западного сольфатарного поля вулкана Головнина	Внешние признаки: грязь однородная светло-серая, без запаха. Средняя влажность исследуемого образца составляет 52.06% при норме (40-75%), а объемный вес (1.58 г/дм³) при норме (1.3-1.7 г/дм³), что соответствует показателям гидротермальных (сопочных) грязей. Величина сопротивления сдвигу – 767 дин/см² ниже нормы (1000-2500 дин/см²), для проведения процедур перед применением необходимо частичное обезвоживание грязи. Грязевой раствор характеризуется как слабоминерализованный (М – 1.679 мг/дм³) сульфатный (SO₄⁻ – 99 мг-экв%) магниево-натриево-кальциевый (Са – 42 мг-экв%; Na+K – 25 мг-экв%; Mg – 24 мг-экв%) кремнистый, кислая реакция среды (рН – 1.71). Грязи относятся к слабоминерализованным сульфатным магниево-натриево-кальциевым, кремнистым гидротермальным (сопочным) грязям. По аналогии с гидротермальными грязями Италии они могут оказывать выраженное терапевтическое воздействие при болезни системы кровообращения, болезни нервной системы, болезни костно-мышечной системы, болезни органов пищеварения, болезни кожи.
Остров Итуруп	
Грязи котла Подкова, Старозаводское сольфатарное поле вулкана Баранского	Внешние признаки: грязь белого цвета, без запаха, пластичная, без видимых включений. Влажность исследуемой грязи изменяется от 53.4- 68.60% и относится к пределу требований, предъявляемых к сопочным грязям (40-80 %). Объемный вес (1.32 г/дм³) соответствует норме (1.3-1.7 г/дм³). Величина сопротивления сдвигу – 6634 дин/см² превышает норму (1500-2500 дин/см² для грязей подготовленных к процедурам), поэтому для проведения процедур грязь можно развести до нужной консистенции. Минерализация грязевого раствора (М – 0.550 мг/дм³) относит его к пресным. Состав грязевого раствора характеризуется как сульфатный (SO₄⁻ – 76 мг-экв%) натриево-магниево-кальциевый (Са – 38 мг-экв%; Mg – 30 мг-экв%; Na+K - 22 мг-экв%; Fe²⁺ – 6 мг-экв%; NH₄ – 4 мг-экв%) кислой реакцией среды (рН – 3.24). Для правильного использования лечебных грязей в лечебно-профилактических целях необходимо проведение экспериментально-клинических исследований.

Примечания к таблице Б.3:

1. В таблице приведены результаты бальнеологических заключений 2013-2014 гг., выполненных научным сотрудником научно-исследовательской лаборатории медицинской экологии и рекреационных ресурсов НИИ МКВЛ (г. Владивосток), кандидатом геолого-минералогических наук Б.И. Челноковой.
2. Оценка физико-химического состава образца грязи, а также возможности ее использования для лечебных целей выполнены в соответствии с методическими указаниями № 2000/34 «Классификация минеральных вод и лечебных грязей для целей их сертификации».
3. Для правильного применения вод всех объектов необходимо дополнительное проведение экспериментально-клинических исследований, проведение бактериологического и радиологического анализов.
4. Бальнеологическое заключение по составу и качеству лечебной грязи разрабатывается на срок не более чем 5 лет при обязательном проведении режимных наблюдений.

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

Монография

**Рафаэль Владимирович
ЖАРКОВ**

ТЕРМАЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЮЖНЫХ КУРИЛЬСКИХ ОСТРОВОВ

Ответственный редактор: д.г.-м.н. О.В. Чудаев

Рецензенты: к.г.-м.н. А.В. Рыбин, к.г.-м.н. О.В. Веселов

Электронная верстка: А.В. Пинчук

Дизайн обложки: А.В. Пинчук

Корректор: И.П. Кремнева

Отпечатано с оригинал-макета,
подготовленного в Институте морской геологии и геофизики ДВО РАН,
минуя редподготовку в «Дальнауке»

Подписано в печать 26.08.2015 г.
Усл. печ. лист. 43,9. Уч.-изд. лист. 35,9.
Формат 60х84/8. Бумага «Color copy».
Тираж 250 экз. Заказ №7778.
Печать офсетная.

Издательство «Дальнаука» ДВО РАН
690041, г. Владивосток, ул. Радио, 7.

ФГБУН Институт морской геологии и геофизики
Дальневосточного отделения РАН
693022, г. Южно-Сахалинск, ул. Науки, 1Б.
Офсетный цех