УДК 550.8

Результаты георадарных исследований на территории Дагинской гидротермальной системы (остров Сахалин)

© В. Ю. Павлова¹, Р. В. Жарков^{*2}

¹Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга, Петропавловск-Камчатский, Россия ²Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, Россия *E-mail: rafael_zharkov@mail.ru

Обобщены состояние изученности, геологическая, гидрогеологическая и геофизическая характеристики Дагинской гидротермальной системы. Описаны результаты георадиолокационного исследования ее территории, имеющие значимость для дальнейшего изучения и практического освоения.

Ключевые слова: остров Сахалин, Дагинская гидротермальная система, зона разгрузки, георадиолокация, георадарный профиль.

GPR surveys of the discharge zone of the Daginsky hydrothermal system (Sakhalin Island)

Veronika Yu. Pavlova¹, Rafael V. Zharkov^{*2}

¹Vitus Bering Kamchatka State University, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia ²Institute of Marine Geology and Geophysics, FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia *E-mail: rafael zharkov@mail.ru

The paper presents the results of GPR surveys of the discharge zone of the Daginsky thermal springs to map geological structures – the restoration of the geometry relatively long borders, boundaries between layers. Application of GPR surveys has demonstrated its significance to further studies and practical use. **Keywords:** Sakhalin Island, the Daginsky hydrothermal system, the discharge zone, the GPR surveys.

Введение

Термальные источники на о. Сахалин довольно широко распространены на северовостоке в пределах Северо-Сахалинского гидрогеологического бассейна напорных вод (Дагинские и Лунские термальные источники). Небольшие термопроявления известны на западном побережье и в долинах рек центрального Сахалина, на п-ове Крильон (рис. 1).

Дагинская гидротермальная система (ГС) расположена в Ногликском районе Сахалин-

ской области на восточном побережье северной части о. Сахалин в прибрежной полосе Северо-Сахалинской низменности, вблизи нефтяной площади Монги. Рядом находится Ныйский залив, который отделен от моря песчано-галечниковыми дюнами, иногда достигающими значительной ширины. С 1948 г. здесь проводились различные геолого-геофизические работы. Геологическое картирование выполнено посредством маршрутных обследований по долинам рек и площадных геологических съемок различных масштабов.

Исследования выполнены в рамках госзадания ИМГиГ ДВО РАН при поддержке РФФИ (проект № 11-05-00602) и Министерства образования и науки РФ (в рамках программы стратегического развития ФГБУ ВПО «Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга» на 2012–2018 гг.).



Рис. 1. Схема расположения термальных источников Сахалина. Группы термальных источников: I – Паромайские; II – Дагинские; III – Лунские; IV – Агневские; V – Лесогорские; VI – Амурские; VII – Приточные.

Одновременно проводились грави- и магнитометрическая съемка (1948–1952 гг.) и электроразведочные работы методом ВЭЗ (1953-1954 гг.). В 1971 г. под руководством Б.Е. Клинка на Восточно-Дагинской площади были проведены поисково-структурные работы масштаба 1:25 000, куда вошла и территория, прилегающая к Дагинской ГС. Для разведки запасов подземных вод было пробурено 6 скважин глубиной до 180 м. Выполнены опытно-эксплуатационные откачки, режимные наблюдения и лабораторные определения химического состава воды, включая газовую составляющую. В результате всех работ в районе выделено большое количество антиклинальных структур, закартирована очень сложная разрывная тектоника. Основное нарушение выделяется как Центральный разлом, в северной части которого находится Дагинское месторождение термальных вод. Его площадь 0.3 км², оно приурочено к зоне разлома СВ простирания шириной 100-150 м. С 1977 г. на площади Монги, расположенной к северу от Дагинской ГС, пробурено несколько скважин глубиной от 50 до 300 м. Вскрывались водоносные пласты в отложениях нутовской и окобыйской свит. Всеми скважинами были получены пресные питьевые холодные воды [Разведочные работы..., 1991; Современная изученность..., 1991].

В 1951 г. В.М. Левченко впервые произвел специальное обследование Дагинских термоминеральных источников. Им отобраны первые пробы воды источников на химические анализы. В августе 1953 г. Дагинские источники более детально обследованы конторой Геоминвод Центрального НИИ курортологии и физиотерапии под руководством В.В. Иванова при изучении курортных ресурсов Сахалина [Иванов, 1954]. Большой вклад в исследование источников также внесли Н.Д. Цитенко [1961], М.А. Штейн [1962, 1967], Б.Т. Комиссаренко [1964]. Последующие исследования Дагинских источников связаны с изучением гидрогеологии нефтеносных отложений северного Сахалина. Летом 1969 г. по заданию объединения «Сахалиннефть» контора Геоминвод провела детальные комплексные исследования термальных вод Дагинских источников и грязевых отложений района. В 1972 г. отобраны пробы воды на полные физико-химические анализы из основных источников, замерены температуры более чем в 60 источниках. В 1988 г. Сахалинской гидрогеологической экспедицией в связи с предполагаемой постановкой разведочных работ обследованы каптированные источники Центрального участка, оценены ресурсы основного источника «Центральный». Результаты этих исследований опубликованы не были, хранились в архиве экспедиции. Одновременно сотрудником Южно-Сахалинского педагогического института В.А. Ведмицким в рамках той же работы были детально рассмотрены бальнеологические свойства термоминеральных вод [Разведочные работы..., 1991; Современная изученность..., 1991].

В геологическом плане район изучен достаточно детально, однако следует подчеркнуть слабую изученность разрывной тектоники высокого порядка. Работ, обобщающих гидрогеологические условия района, в литературе нет. В задачи наших исследований входило детальное изучение строения верхней толщи Дагинской гидротермальной системы с применением такого современного геофизического метода, как георадиолокационная съемка. Современная георадиолокационная съемка в пределах Дагинского месторождения была проведена впервые, информативность результатов георадиолокационных измерений высокая, так как позволяет судить о слоистых структурах, геологических неоднородностях, хотя и на небольших глубинах. Дагинские термальные источники применяются в бальнеологических целях, здесь планируется благоустройство территории и строительство туристско-рекреационного комплекса, поэтому результаты малоглубинных георадиолокационных исследований могут иметь практическое значение.

Геологическая характеристика района исследований. На севере Сахалина отмечаются морские плиоценовые отложения: песчаники, алевролиты, аргиллиты. В геологическом строении района принимают участие миоценовые отложения дагинской и окобыйской свит и плиоценовые – нутовской свиты. Неогеновые отложения повсеместно перекрыты четвертичными образованиями различного генезиса. В районе наших исследований к плиоцену относятся отложения нутовской свиты мощностью до 3500 м. Нижняя, средняя и верхняя подсвиты нутовской свиты сложены преимущественно осадками прибрежно-морских фаций: песками, глинами, гравелитами. Породы зоны разлома СВ простирания гидротермально изменены и подроблены. Структурный план месторождения являет собой мозаику тектонических блоков, образованных двумя системами разломов меридионального и субширотного простирания [Разведочные работы..., 1991; Современная изученность..., 1991].

Гидрогеологическая характеристика района исследований. Северо-Сахалинская равнина, в прибрежной полосе которой расположена Дагинская ГС, представляет собой артезианский бассейн, выполненный мощными слабодислоцированными, главным образом рыхлыми отложениями третичного возраста. Литологически они представлены преимущественно песками, в значительной мере обводненными [Региональная гидрогеология..., 1962].

Дагинская ГС приурочена к водоносным горизонтам нутовской свиты, состоящей из слоев водоупорных глин и водоносных песков. Отложения свиты перекрыты четвертичными образованиями. Термальные источники пространственно тяготеют к зоне разлома СВ простирания и оперяющим ее мелким разрывам восточного и ЮВ простирания. Водоносные горизонты, приуроченные к четвертичным отложениям, имеют небольшую площадь распространения и мощность. Неогеновые водоносные горизонты широко распространены по площади, выдержаны по простиранию, имеют сложное строение из-за наклонного залегания, чередования водоносных и водоупорных пластов, а также интенсивной разрывной тектоники, создающей отдельные блоки небольших размеров. Подземные воды в большинстве случаев напорные, и только на участках распространения четвертичных водоносных горизонтов и выхода непосредственно на поверхность отдельных водоносных слоев неогеновых отложений режим безнапорный. Питание безнапорных вод осуществляется на всей площади района, а для напорных вод в основном на участках выхода отдельных слоев и проницаемых зон разломов на дневную поверхность на возвышенных в рельефе участках, причем в связи с падением пород на восток-северо-восток с увеличением глубины залегания вод область их питания сменяется на запад-юго-запад. Разгрузка подземных вод приповерхностной циркуляции осуществляется в водотоки, глубокозалегающих – в акваторию Охотского моря, иногда по зонам разрывных нарушений на дневную поверхность [Разведочные работы..., 1991; Современная изученность..., 1991].

По химическому составу термоминеральные воды Дагинского месторождения относятся к хлоридным натриевым. Температура источников и скважин на изливе составляет 25–55 °C, pH 7–8, минерализация от 1.2 до 9 г/л. Температура и минерализация источников зависят от степени разбавления холодными грунтовыми и поверхностными водами (северная группа-морские воды; центральная и южная группы – болотные воды). Дебиты отдельных источников замерялись путем откачки воды из каптажа и расчетом скорости подъема уровня воды в каптаже: средний дебит наиболее крупных источников достигает 5 л/мин, дебит скважины № 5 (единственная доступная самоизливающаяся скважина на месторождении) составляет 30 л/мин. Заполнение депрессионной воронки происходило довольно интенсивно: 50%-е восстановление уровня в наблюдательных скважинах было достигнуто в скв. № 5 через 5 ч, а в скв. № 6 – через 10 ч после прекращения откачки. Участки вокруг источников на суше заболоченные, со злаково-разнотравными лугами на болотных почвах. На периферии групп источников, в местах, несколько возвышающихся над заболоченной территорией, расположены лиственничные кустарниково-вейниковые леса на подзолистых почвах [Жарков, 2008].

Разгрузка термальных вод в Дагинской ГС наблюдается в местах вскрытия зоны разрывного нарушения эрозионными врезами. Первый очаг разгрузки (участок Южный: ист. 17-19 на рис. 2) шириной 40-80 м расположен в юго-западной части исследуемой территории. Источники термальных вод выходят в небольшой долине ручья, в основном в его русле, сложенном мелкозернистыми песками. Второй групповой выход восходящих источников (участок Центральный: ист. 7-16 на рис. 2) протягивается с юго-запада на северо-восток в виде полосы шириной 60-150 м. Источники расположены в прибрежной густо поросшей камышом заболоченной низине. Выходы сосредоточены в воронках различного размера в плотном глинистом грунте, разгрузка осуществляется в болото. Источники северо-восточной части (участок Северный: ист. 2-6 на рис. 2) разгружаются в пределах литоральной зоны Ныйского залива, покрытой глинистым илом, и в прилив заливаются морскими водами. Источники заполняют воронкообразные котлы диаметром до 3 м и глубиной более 1 м. Здесь же встречаются небольшие грязевые грифоны. Повсеместно распространены отложения четвертичного и плиоценового возраста. Преимущественный тип коллектора поровый. Водовмещающими являются торфяники, пески, редко гравийники среди слабопроницаемых глинистых пород. Только на глубинах более 1000 м залегают литифицированные отложения с трещинным и трещинно-жильным типом коллектора – песчаники, алевролиты, аргиллиты, вскрытые поисковым бурением. Температурный фон подземных вод в целом по району подчиняется изменению геотермического градиента. Пресные подземные воды обычно имеют температуру в пределах 6-8 °C. Однако встречаются отклонения. Например, одна из скважин, пробуренных на площади Монги, вывела на поверхность с глубины 200 м воды с температурой 14 °C. Воды глубокой циркуляции



Рис. 2. Схема Дагинских термальных источников. 1 – источники термальных вод и их номер на схеме; 2 – термальный источник с надкаптажным сооружением и его номер; 3 – заболоченные участки с зарослями осоки; 4 – лиственничный лес; 5 – насыпь бывшей железной дороги; 6 – георадарный профиль (цифрами обозначены начало и конец профиля); 7 – гидрогеологический разрез.

по температуре также имеют некоторые особенности. Средний температурный градиент в регионе составляет 2.9 °С. На ближайшей к участку работ площади Монги (в 3–4 км к западу) средний градиент также 2.9 °С, однако по замеренным пластовым температурам в интервале глубин 1600–3100 м градиент составляет только 2.4 °С. То есть вышележащая толща должна характеризоваться градиентом не менее 3.8 °С, что аномально для северного Сахалина [Разведочные работы..., 1991].

Геофизическая характеристика района исследований. Условия залегания горизонтов термальных вод на этом месторождении изучались с помощью электроразведки ВЭЗ. На общем фоне кажущихся сопротивлений (КС) для плиоценовых отложений этого района (100-400 Ом · м) резким контрастом в плане откартирована зона с КС от 3-10 до 40 Ом · м в виде полосы субмеридионального простирания, где расположены Дагинские термальные источники. Ширина полосы на Центральном участке достигает 150-180 м. В разрезе месторождения зона низких КС прослежена в виде «столба» до глубины 100 м, а скважинами – до 160 м. Низкоомные отложения разделены более высокоомными в интервале 50-80 м (водоупорный, или опорный слой) [Разведочные работы..., 1991].

Методы исследования

Георадиолокационные исследования позволяют выделять вертикальные зоны повышенной неоднородности (раздробленности) и обводненности подстилающих пород ландшафтов, по которым разгружаются термальные воды [Шварцман и др., 2013]. Это дает возможность использовать данный метод для изучения зон разгрузки термальных вод и верхней части гидротермальных систем. Можно сказать, что это новое направление использования данного метода исследования с целью изучения приповерхностной зоны гидротермальных систем. Георадар серии «ОКО-150» изготовлен НИИ приборостроения им. В.В. Тихомирова (г. Жуковский). Базовый комплект георадара серии «ОКО-150» включает в себя приемный и передающий антенные блоки, оптический преобразователь, аккумулятор, оптический и электрический кабели связи, датчик перемещения, подвеску с ноутбуком и блоком управления, штангу-ручку.

Георадиолокационные исследования авторы проводили в 2012 г. Средняя глубина зондирования достигала 10 м, что позволило получить представление о строении приповерхностной толщи рыхлых отложений Дагинской ГС. По результатам измерения были получены радарограммы основной части гидротермальной системы (рис. 2).

Преимущества метода георадиолокации в том, что на протяженных участках получаются непрерывные данные по геологическому строению и определению влажности грунтов в их естественном залегании [Федорова, Куляндин, 2017].

Анализ радарограмм начинается с выделения осей синфазности отраженных волн, которые не связаны с наличием реальных границ в разрезе, а являются волнами-помехами (воздушные, кратные и неполнократные отражения). Для удаления помех применяется ряд процедур: частотная фильтрация с использованием разного рода фильтров (полосовой и режекторный, горизонтальный полосовой, медианный); выделение контура; сглаживание или обострение сигнала; вычитание среднего. Все процедуры проводятся в модуле обработки файлов программы GeoScan32. После этого радарограммы интерпретируются с целью получения максимально полной информации о геологическом строении объекта исследования. С этой целью привлекают имеющуюся геологическую информацию об объекте (карты, разрезы по скважинам). Для каждого выделенного геологического слоя производится подсчет значений скорости распространения электромагнитной волны V по формуле 2H/t в точках соответствующих профиля. положению скважин, с учетом толщины слоя Н и времени прихода отраженной волны t. Затем для каждого слоя рассчитывается значение диэлектрической проницаемости Е по формуле 30/V² с учетом уже рассчитанной скорости электромагнитной волны V в данной точке [Старовойтов, 2008; Рекомендации..., 2008].

При интерпретации данных георадиолокации сложных объектов необходимо учитывать, что есть отложения, в которых содержание флюида (например, воды) может меняться, что приводит к изменению диэлектрической проницаемости. Согласно Пархоменко, 1965; Старовойтов, 2008; Федорова, Куляндин, 2017], экспериментальные значения диэлектрической проницаемости у разных сред варьируют в широких диапазонах: вода (пресная и морская) – 81, песок сухой – 2.93, песок с 1.5 % воды – 5, с 3.0 % воды – 11, с 4.5 % воды – 39.1, глина – от 2.4 до 18.6 (при влажности от 0 до 16 %). В то же время экспериментальные значения скорости распространения электромагнитной волны в этих средах имеют следующие значения: вода (пресная и морская) – 3.3 см/нс, песок сухой –17, песок с 1.5 % воды – 13, с 3.0 % воды – 9, с 4.5 % воды – 5, глина – от 19 до 7 см/нс (при влажности от 0 до 16 %). Таким образом, с увеличением влажности грунтов увеличиваются значения диэлектрической проницаемости и, соответственно, уменьшаются скорости распространения электромагнитной волны. Исходя из этих данных, можно интерпретировать полученные радарограммы с выделением на них геологических слоев.

Результаты георадарного исследования и их обсуждение

Георадиолокационный профиль 1-2 проходит вдоль гидрогеологического разреза А-Б (рис. 3), построенного по данным разведочных работ на Дагинском месторождении термоминеральных вод в 1990–1991 гг. [Разведочные работы..., 1991]. В георадиолокационном профиле выделяются сухие пески с гравием и галькой (скорость распространения электромагнитной волны – 20.3 см/нс, диэлектрическая проницаемость – 2.19). Данные отложения перекрываются влажными песками глинистыми (до 1.5 % воды) с гравием и галькой в области скважин № 5 и № 4 (скорость распространения электромагнитной волны – 14.9 и 14.0 см/нс, диэлектрическая проницаемость – 4.0 и 4.6) и сухими песками в области скважины № 6 (скорость распространения электромагнитной волны – 26.3 см/нс, диэлектрическая проницаемость – 1.29). Выделяются в разрезе слои алевритов высокой влажности мощностью до 1 м, что видно из значений скорости распространения электромагнитной волны (3.8 и 3.7 см/нс) и диэлектрической проницаемости (60.3 и 65.6). Перекрыты данные отложения (в начале профиля) песками глинистыми,



Рис. 3. Сопоставление гидрогеологического разреза А–Б с георадиолокационным профилем 1–2. Вверху – гидрогеологический разрез А–Б по скважинам № 5, № 4, № 6 [Разведочные работы..., 1991] (цифры над стрелкой – установившийся напорный уровень от поверхности земли: +18, +2.45 + 3.00 м соответственно). 1 – торф; 2 – пески с гравием и галькой; 3 – пески глинистые с гравием и галькой; 4 – алевриты; 5 – пески глинистые, алевритовые, алеврито-глинистые; 6 – депрессионная кривая при опытно-эксплуатационной откачке (имеет асимметричный вид из-за наличия зоны питающего разлома, от которого напор распространяется к юго-востоку на 100 м, к северо-западу (по восстанию пластов) на 300–350 м); 7 – зона дробления; 8 – пьезометрический уровень. Внизу – георадиолокационный профиль 1–2. Цифры 1, 2, 3, 4, 5, 7 соответствуют условным обозначениям к гидрогеологическому разрезу А–Б по скважинам № 5, № 4, № 6.

алевритовыми, алеврито-глинистыми, мощностью слоя до 2 м (скорость распространения электромагнитной волны – 22.8 см/нс, диэлектрическая проницаемость – 1.7). Также на поверхности залегает торф (в конце профиля), мощность которого достигает 2 м (скорость распространения электромагнитной волны -20.2 и 22.2 см/нс, диэлектрическая проницаемость – 1.8 и 2.1). На радарограмме хорошо видна зона дробления. Участки с подобной записью [Лунина и др., 2016; Соколов и др., 2013] смещаются друг относительно друга по вертикали в виде проходящих электромагнитных волн, пересекающих горизонтально расположенные оси синфазности.

Частые переходы одних литологических разностей пород в другие указывают на лагунно-морской, аллювиальный и элювиально-делювиальный характер образования осадков.

Георадиолокационный профиль 3-4 (рис. 4) находится вблизи морского побережья, на нем до глубины 2 м выделяется горизонтальная граница соленой воды. Остальные оси синфазности на радарограмме ниже 2 м - это результат отражения от уровня соленой воды. На радарограмме хорошо выделяется основной признак многократных отражений – это кратное увеличение времени прихода отраженной волны.

На всех остальных георадиолокационных профилях (рис. 5) выделяются отложения торфа мощностью до 2 м.



Рис. 4. Граница соленой воды на георадиолокационном профиле 3-4.



Рис. 5. Георадиолокационные профили 5–6, 6–7, 8–9, 10–11, 12–13, 14–15, 16–17.

На всех радарограммах конфигурация осей синфазности является очевидной для интерпретации, по ним можно выделить два типа областей: 1) с ярко выраженными осями синфазности георадиолокационных сигналов, что указывает на ненарушенные геологические слои отложений; 2) с низкими значениями амплитуд сигналов, что указывает на ослабленность горных пород вследствие дробления и трещиноватости. Благодаря этому хорошо видна морфология погребенных палеодолин – наличие ложбин стока на глубинах около 6 м и расширение источников сноса и увеличение количества обломочного материала, сносимого в морской бассейн. Это привело к накоплению в относительно короткое время песчано-алеврито-глинистых отложений.

Георадарными исследованиями в пределах Дагинской гидротермальной системы установлено наклонное залегание слоев и чередование влажных и сухих песков глинистых, алевритовых, алеврито-глинистых. На радарограммах можно проследить смену георадарных фаций, обусловленных степенью влажности отложений и осложненной литологией [Лунина и др., 2016; Baker, 1991; Csaba Ekes, Hickin, 2001]. Выделяются как минимум три участка, на которых смена георадарных фаций выражается в изменении конфигурации осей синфазности отраженных волн, их интенсивности и протяженности, а также в изменении скоростей электромагнитных волн: 1) субгоризонтальное расположение осей синфазности, первый слой от поверхности, представленный в основном отложениями торфа; 2) наклонное и хаотическое расположение осей синфазности, второй слой от поверхности, представленный в основном песками глинистыми с гравием и галькой; 3) хаотическое расположение осей синфазности, наличие дифракций, что указывает на наличие зон трещиноватости.

Выделяется повсеместно плотный глинистый грунт до 2 м, что, очевидно, создает слой пород с низкой проницаемостью. Он перекрывает проницаемые породы, представленные песками разного состава. Этот слой может служить как барьером для циркуляции конвекционных потоков теплоносителя, так и теплоизолятором, способствующим увеличению температуры в гидротермальной системе.

На георадарном профиле 1–2 (рис. 3) на Центральном участке месторождения удалось зафиксировать зону дробления. Возможно, она входит в серию термовыводящих разрывных нарушений, пересекающихся с несколькими пологими проницаемыми зонами, и в систему разломов меридионального и субширотного простирания, характерных для этой территории и составляющих мозаику тектонических блоков. Можно сделать вывод, что кепрок на данной территории состоит из пачки водоупоров и проницаемых зон.

Заключение

Установленная георадарными исследованиями морфология погребенных палеодолин (отмечаются на глубине около 6 м) указывает на наличие ложбин стока, накопление песчано-алеврито-глинистых отложений, повсеместно перекрытых образованиями торфа мощностью до 2 м. Возможно, что по ним происходит перетек и уже локальная разгрузка термальных вод ближе к побережью. Результаты георадиолокационной съемки хорошо согласуются с реальными опорными гидрогеологическими разрезами территории, что подтверждает успешность применения этого метода неразрушающего контроля для получения достоверных данных о гидрогеологической обстановке района исследований. Данная работа представляется полезной, так как в некоторой степени может быть эталонной для других районов с подобным геологическим строением. В будущем планируется продолжение георадиолокационных исследований с более детальной съемкой всей территории гидротермальной системы с целью, в том числе, представить общую схему подземного стока.

Полученные георадарные данные позволяют уточнить наиболее пригодные участки для будущего некапитального строительства рекреационно-туристского комплекса на базе Дагинских термальных источников. По мнению авторов, такое строительство возможно на территории к западу от Центральной группы источников и севернее Южной группы источников, на участках, где наименьшая мощность торфа и поверхности палеодолин (с относительно устойчивыми грунтами) расположены ближе к дневной поверхности.

Авторы выражают благодарность Александру Викторовичу Рыбину, заведующему лабораторией вулканологии и вулканоопасности ИМГиГ ДВО РАН, за поддержку полевых работ и сотруднику лаборатории тепломассопереноса ИВиС ДВО РАН Ивану Федоровичу Делеменю за полезные консультации в обработке полученных результатов.

Список литературы

1. Жарков Р.В. Дагинское месторождение термоминеральных вод на севере о. Сахалин // Природные катастрофы: изучение, мониторинг, прогноз: сб. материалов II Сахалинской молодеж. науч. шк., Южно-Сахалинск, 4–10 июня 2007 г. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2008. С. 285–290.

2. Иванов В.В. Курортные ресурсы Сахалина и перспективы их лечебного использования: отчет комплексного отряда Сахалинской экспедиции. М.: Центральный ин-т курортологии, 1954. 265 с.

3. Комиссаренко Б.Т. Минеральные источники и лечебные грязи Сахалина и Курил. Южно-Сахалинск: Сахалин. кн. изд-во, 1964. 115 с.

4. Лунина О.В., Гладков А.С., Афонькин А.М., Серебряков Е.В. Стиль деформаций в зоне динамического влияния Мондинского разлома по данным георадиолокации (Тункинская впадина, юг Восточной Сибири) // Геология и геофизика. 2016. Т. 57, № 9. С. 1616–1633. [Lunina O.V., Gladkov A.S., Afonkin A.M., Serebryakov E.V. Deformation style in the damage zone of the Mondy fault: GPR evidence (Tunka basin, southern East Siberia). Russian Geology and Geophysics, 2016, 57(9): 1269-1282. https://doi. org/10.1016/j.rgg.2016.08.012]

5. Пархоменко Э.И. Электрические свойства горных пород. М.: Наука, 1965. 164 с.

6. Разведочные работы на Дагинском месторождении термальных вод в Ногликском районе в 1990– 1991 гг. / исполн.: И.Г. Завадский. Южно-Сахалинск: Сахалингеология, 1991. 218 с. Инв. № 7078 (Росгеолфонд, Центральное фондохранилище).

7. Региональная гидрогеология Сибири и Дальнего Востока: сб. науч. тр. / отв. ред. П.Ф. Перлович. Иркутск: СО АН СССР, 1962. С. 224–228. 8. Рекомендации по проведению георадиолокационных измерений для решения геологических задач. Раменское: ООО «Логические системы», 2008. 28 с.

9. Современная изученность гидротермоминеральных ресурсов Сахалина и Курильских островов и перспективы их использования в народном хозяйстве: геол. отчет за 1990–1991 гг. / исполн.: Розорителева Т.С., Прядко В.Е., Спалило Е.Л. Южно-Сахалинск: Сахалингеология, 1991. 895 с. Инв. № 461852 (Росгеолфонд, Центральное фондохранилище).

10. Соколов К.О., Попков П.А., Прудецкий Н.Д. Возможности георадиолокации при исследовании разрывных нарушений на месторождениях полезных ископаемых криолитозоны // Горн. информ.-аналит. бюл.: науч.-техн. журн. 2013. № 3. С. 351–355.

11. Старовойтов А.В. Интерпретация данных георадиолокационных наблюдений. М.: Изд-во МГУ, 2008. 192 с.

12. Федорова Л.Л., Куляндин Г.А. Методика георадиолокационной оценки влажности дисперсных горных пород // *Наука и образование* / АН Республика Саха (Якутия). 2017. № 4. С. 72–76.

13. Цитенко Н.Д. Воды Дагинских горячих ключей на о. Сахалине // *Труды ВНИГРИ*. 1961. Вып. 181. С. 203–213.

14. Щварцман Ю.Г., Игловский С.А., Горшков Д.П. Выявление гидрогеологических особенностей гидротермального урочища Пымвашор (гряда Чернышева) методом георадиолокации // Изв. Коми НЦ УрО РАН. 2013. Вып. 3 (15). С. 81–86.

15. Штейн М.А. Определение параметров и глубин залегания термальных подземных вод // *Труды СахКНИИ*. Южно-Сахалинск, 1962. Вып. 12. С. 162–165.

16. Штейн М.А. Термальные воды Сахалина и вопросы их использования // Региональная геотермия и распространение термальных вод в СССР. М.: Наука, 1967. С. 274–280.

17. Baker P.L. Response of ground penetrating radar to bounding surfaces and lithofacies variations in sand barrier sequences // *Exploration Geophys.* 1991. Vol. 22 (1). P. 19–22. https://doi.org/10.1071/eg991019

18. Csaba Ekes, Hickin E.J. Ground penetrating radar facies of the paraglacial Cheekye Fan, southwestern British Columbia, Canada // *Sedimentary Geology*. 2001. Vol. 143 (3-4). P. 199–217. https://doi.org/10.1016/s0037-0738(01)00059-8

Сведения об авторах

ПАВЛОВА Вероника Юрьевна, старший преподаватель кафедры географии, геологии и геофизики физико-математического факультета – Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга, Петропавловск-Камчатский; ЖАРКОВ Рафаэль Владимирович, кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории вулканологии и вулканоопасности – Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск.