

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ОСОБЕННОСТЕЙ РАЗВИТИЯ И ФОРМИРОВАНИЯ НАЛЕДИ НА УЧАСТКЕ НЕФТЕПРОВОДНОЙ СИСТЕМЫ

ENGINEERING-GEOLOGICAL MONITORING OF THE DEVELOPMENT AND FORMATION FEATURES OF AN ICING IN AN OIL PIPELINE SYSTEM AREA

ГРИБ Н.Н.

Заместитель директора по научно-исследовательской работе Технического института (филиала в г. Нерюнгри) Северо-Восточного федерального университета имени М.К. Аммосова (ТИ (ф) СВФУ), г. Нерюнгри, д.т.н., профессор, grib@nfygu.ru

СЯСЬКО А.А.

Начальник отдела информационных технологий и безопасности ТИ (ф) СВФУ, к.т.н., г. Нерюнгри

КУЗНЕЦОВ П.Ю.

Заведующий отделом научных исследований и инновационной деятельности ТИ (ф) СВФУ, к.г.-м.н., доцент, г. Нерюнгри, KuznetsovPU@gmail.com

ПАВЛОВ С.С.

Директор ТИ (ф) СВФУ, к.г.-м.н., г. Нерюнгри

КАЧАЕВ А.В.

Заведующий лабораторией физики мерзлых пород ТИ (ф) СВФУ, г. Нерюнгри

GRIB N.N.

The deputy director for research work of the Technical Institute (the branch in Neryungri) of the M.K. Ammosov Northeastern Federal University (TI (b) NEFU), PhD (candidate of science in Technics), professor, Neryungri, grib@nfygu.ru

SYASKO A.A.

The head of the Section of Information Technologies and Data Security of the TI (b) NEFU, PhD (candidate of science in Technics), Neryungri

KUZNETSOV P.YU.

The head of the Section of Research and Innovative Activities of the TI (b) NEFU, PhD (candidate of science in Geology and Mineralogy), associate professor, Neryungri, KuznetsovPU@gmail.com

PAVLOV S.S.

The director of the TI (b) NEFU, PhD (candidate of science in Geology and Mineralogy), Neryungri

KACHAEV A.V.

The head of the Laboratory of Frozen Rock Physics of the TI (b) NEFU, Neryungri

Ключевые слова:

нефтепроводная система; водоприток; наледь грунтовых вод; температурный режим; геоэлектрический разрез.

Key words:

oil pipeline system; water inflow; groundwater icing; temperature regime; geoelectric section.

Аннотация

По результатам инженерно-геологического мониторинга особенностей развития и формирования наледи на участке нефтепроводной системы установлено, что основной водоприток при ее образовании происходит по траншее нефтепровода. Происхождение этих вод является надмерзлотным, но из-за близости Чульмаканского разлома вероятно поступление в траншею также подмерзлотных вод.

Целью выполненных авторами исследований на объекте трубопроводной системы Восточная Сибирь — Тихий океан, проходящей по территории Южной Якутии, являлось выяснение природы наледообразования в зоне расположения технических и производственных сооружений для дальнейшей разработки мероприятий, обеспечивающих безаварийную эксплуатацию вышеупомянутой системы.

Размер рассматриваемой наледи в плане примерно составляет от 100×120 до 100×150 м, ее максимальная мощность равна 1,9 м, средняя мощность — 1,0 м, объем — около 12 000 м³. По площади и объему она относится к средним наледям [1]. По результатам режимных наблюдений [2] выявлено, что рост наледей на рассматриваемой территории начинается в октябре–ноябре и продолжается в течение всей зимы.

Место наблюдаемой наледи (рис. 1) в классификации подобных объектов должно отражать основные особенности ее генезиса, ее тип и соответствующие особенности развития и формирования. Перечисленным требованиям наиболее хорошо соответствует классификация наледей, представленная в словаре-справочнике [1].

Причиной образования наледей грунтовых вод является нарушение естественного режима грунтового потока в результате сезонного промерзания или строительных работ. При промерзании в фильтрационном потоке

Abstract

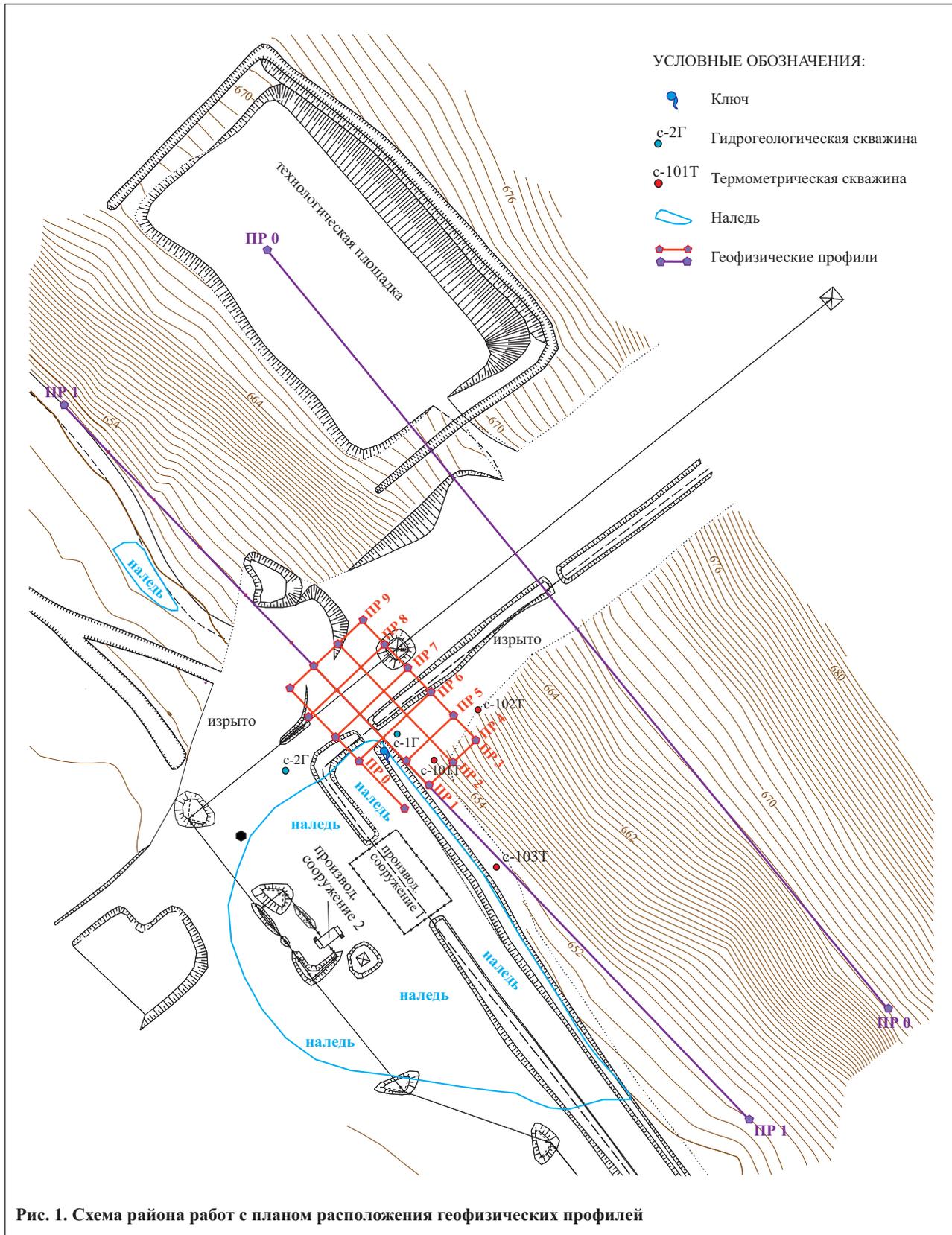
The results of engineering-geological monitoring of the development and formation features of an icing in an oil pipeline system area determine that the main water inflow for its formation takes place through the pipeline trench. The origin of the water is over-permafrost, but subpermafrost inflow into the trench is also possible because of the Chulmakan fault proximity.



возникает напор, под действием которого вода выходит на поверхность, растекается, замерзает и образует наледь. Выход воды на поверхность происходит в местах с толстым моховым покровом или у кустарника, где обычно бывает толстый снежный покров, защищающий грунт от промерзания. В таких местах под слоем снега грунт промерзает мало или в нем могут оставаться окна таликов, через которые грунтовая вода под небольшим напором может выходить на поверхность.

На рисунке 2 схематично отображен механизм образования наледи грунтовых вод за счет нарушения режима грунтового потока вследствие подрезки склона при строительных работах.

Обычно наледи, питаемые грунтовыми водами, развиваются в первой половине зимы. Особенно не продолжительным их развитие бывает, когда верхняя граница многолетней мерзлоты или коренные породы залегают в пределах слоя зимнего промерзания.



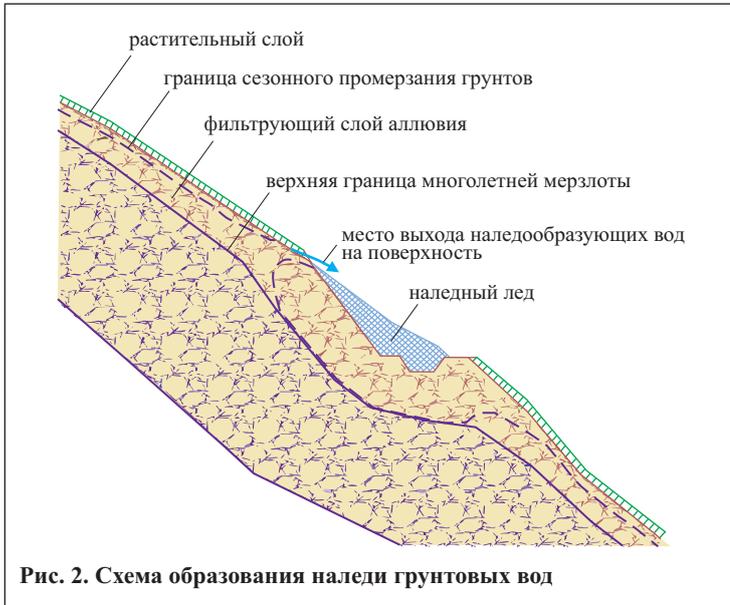


Рис. 2. Схема образования наледи грунтовых вод

При этом слой сезонного промерзания быстро смыкается с водоупором, и дальнейшее развитие наледи прекращается.

Форма грунтовых наледей обычно бывает вытянутой поперек направления стока. Они занимают небольшую площадь, их мощность не превышает 1 м. Питающие их грунтовые воды, выходящие на поверхность, слабо окрашены в цвет грунтов водоносного слоя (желтый, бледно-коричневый или др.). Лед в та-

ких наледях является косослоистым, зернистым, с включениями оледеневших прослоек снега.

Рассмотрим общую характеристику наледей грунтовых вод с водоупором на границе многолетней мерзлоты. На рисунке 3, а приведен разрез по линии II-II, проходящий через термометрические скважины 101Т и 102Т. Инженерно-геологический разрез на этом рисунке совмещен с георадиолокационным по геофизическому профилю 4, проходящему в непосредственной близости от инженерно-геологического профиля (см. рис. 1).

Отметим, что в течение всего периода наблюдений по скважине 102Т отмечались положительные температуры в интервале глубины от 2,5 м до ее забоя (рис. 3, б), уровень грунтовых вод в ней установился на глубине 5,8–6,0 м. При проходке скважины 1Г, находящейся в непосредственной близости от 101Т, грунтовые воды были встречены на глубине 2,7 м, установившийся уровень грунтовых вод составил 1,15 м. По скважине 101Т ежемесячно наблюдался уровень льда на глубине 1,4–1,2 м, что хорошо соотносится с данными по 1Г. Помимо того, начиная с глубины 3,4 м и до забоя скважины 1Г установлено наличие мерзлых пород массивно-слоистой криотекстуры. Таким образом, обводненный интервал от 2,7 до 3,4 м можно с достаточной уверенностью рассматривать как межмерзлотный талик.

Выделенное данным георадиолокации зеркало грунтовых вод (линия синего цвета на рис. 3, а) по уровню полностью совпадает с данными по термометрическим и гидрогеологическим скважинам 101Т,

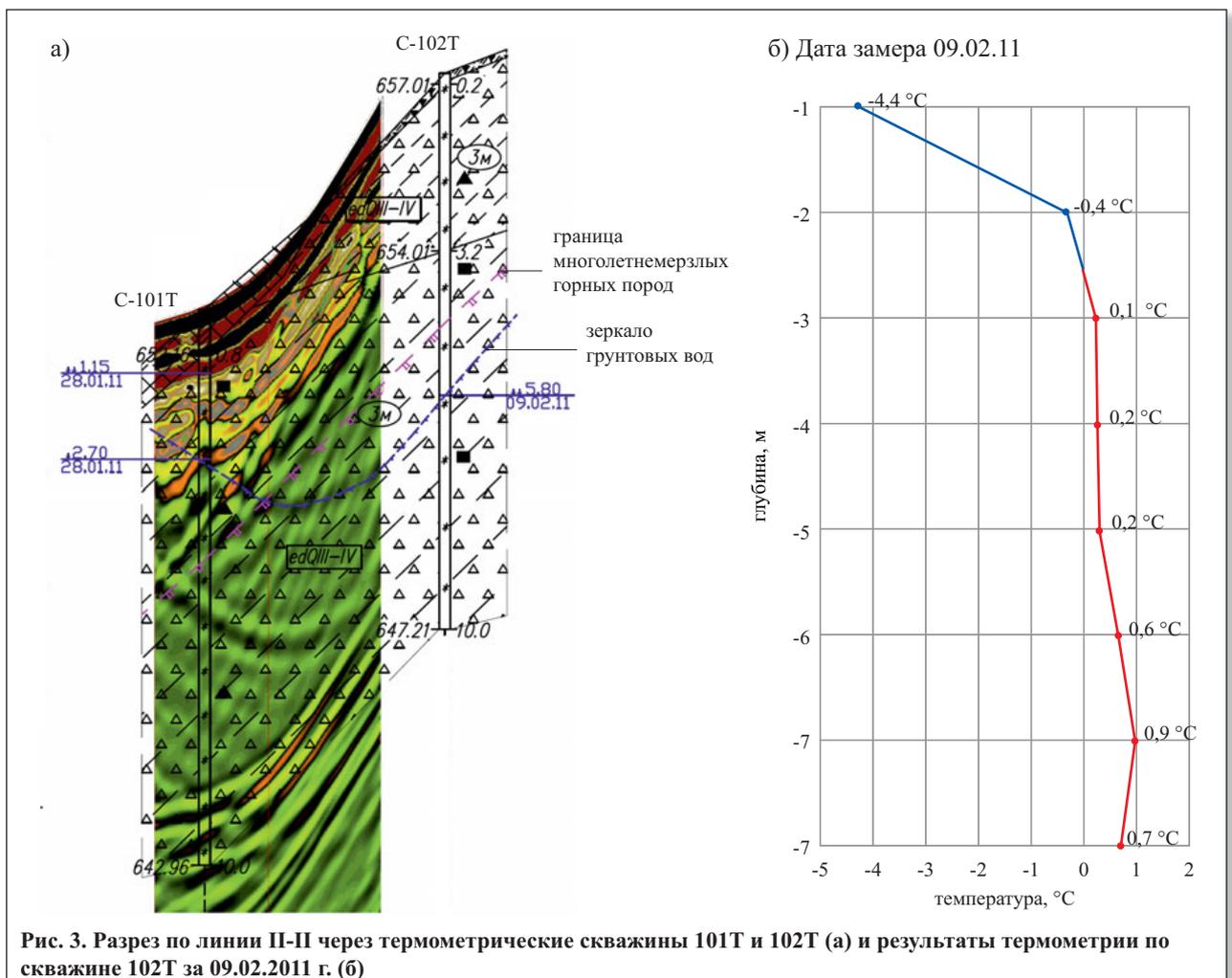


Рис. 3. Разрез по линии II-II через термометрические скважины 101Т и 102Т (а) и результаты термометрии по скважине 102Т за 09.02.2011 г. (б)



Рис. 4. Наледь грунтовых вод и водоотводная канава (январь 2011 г.)

102Т и 1Г. Грунтовые воды на георадиолокационном разрезе выделены исходя из типичного для подобной ситуации вида аномалии: выдержанная непрерывная поверхность (по пунктиру синего цвета на рис. 3) с явно выраженными переотражениями ниже по разрезу. Аналогичного вида аномалии установлены на всех геофизических профилях, проходящих поперек склона.

Склон между скважинами 101Т и 102Т был подрезан при строительных работах. Таким образом, приведенная на рис. 2 модель образования наледи грунтовых вод и ситуация, наблюдаемая по разрезу (см. рис. 3, а), полностью совпадают. Рассматриваемую наледь в соответствии с классификацией С.М. Большакова [1] можно отнести к типу П.4 (наледи грунтовых вод рыхлой толщи), подтипу П.4.2 (с водоупором из многолетнемерзлых грунтов). Она приурочена к участку с нарушенным растительным покровом. Лед наледи зернистый, с включениями оледенелого снега, слабо окрашенный в цвета грунтов, вмещающих водный поток (рис. 4). В подтверждение гипотезы о ее происхождении можно привести фотографию, представленную на рис. 5 (аналогичного вида наледь наблюдается примерно на той же абсолютной отметке на перегибе рельефа ниже технологической площадки, справа от производственного сооружения 1 (см. рис. 1)).

На фотографии, представленной на рис. 6, отчетливо видна разница между льдом наледи грунтовых вод (желтоватым, зернистым, с включениями грунта), наблюдаемой на подрезанном склоне, и льдом наиболее опасной основной наледи (вероятно, смешанных вод), перенесенным из водоотводной канавы.

Для установления генетического типа основной наледи обратимся к данным дипольного электрического зондирования (ДОЗ). На рисунке 7 представлены разрезы кажущегося сопротивления по данным ДОЗ. Первый сверху разрез построен по результатам исследований, выполненных в мае 2010 г. Далее (сверху вниз) — по итогам исследований февраля, марта, апреля и мая



Рис. 5. Наледь в нижней части склона напротив технологической площадки



Рис. 6. Наледный лед различного генезиса (март 2011 г.)

2011 г. [2]. На разрезах зафиксирована область аномально низкого сопротивления грунтов, совпадающая с точкой пересечения профилем нефтепровода (пикетом 165 м геофизического профиля 1). Слева от этой точки наблюдается область низких сопротивлений (выделена красным цветом), обусловленная растеплением грунтов водотоком по водоотводной канаве.

Если рассматривать процесс в динамике, можно установить наличие полного цикла изменения температурного режима грунтов в непосредственной близости от нефтепровода. Максимальное их растепление наблюдается в зимний период. По мере промерзания почвы область растепленных грунтов уменьшается, выходя на минимум к маю (в июне наблюдения не про-

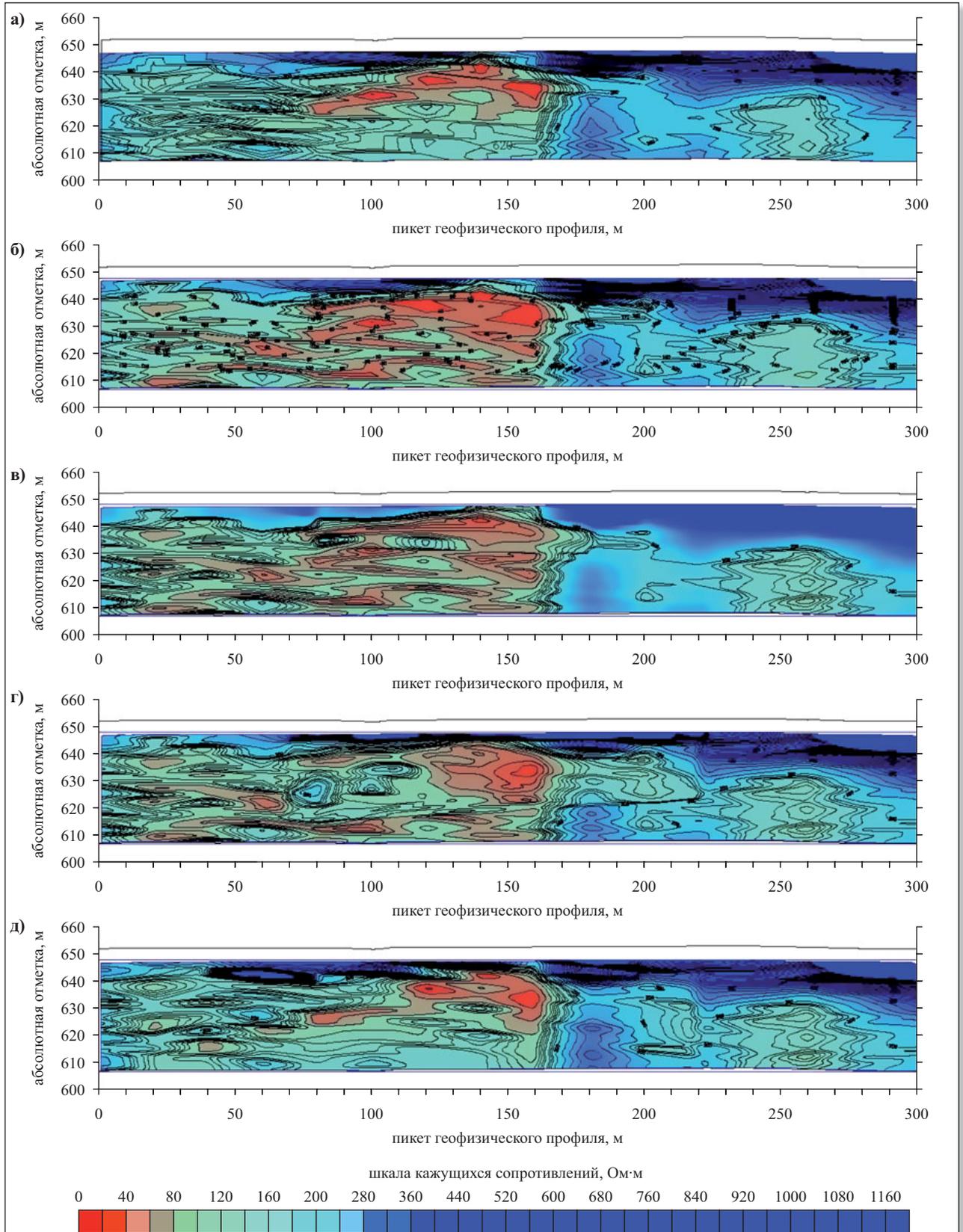


Рис. 7. Разрезы кажущегося сопротивления по данным дипольного осевого зондирования (ДОЗ): а — май 2010 г.; б — февраль 2011 г.; в — март 2011 г.; г — апрель 2011 г.; д — май 2011 г.



Рис. 8. Водоприток по водоотводной канаве 15.01.2011 г. при температуре наружного воздуха минус 40 °С

водились). О полноте цикла можно судить, основываясь на практически полной идентичности геоэлектрической картины на разрезах мая 2010 г. и мая 2011 г.

Хорошо коррелируют с данными ДОЗ результаты натурных наблюдений. Период максимального водопритока по водоотводной канаве приходится на декабрь–январь (рис. 8), к марту наблюдается его полное прекращение. Но при этом поступление вод в технологические колодцы производственных сооружений продолжается. При рассмотрении этого процесса принципиально важными оказались данные наблюдений по гидрогеологической скважине 2Г, пробуренной в непосредственной близости от вершины угла поворота трассы трубопровода к производственному сооружению 1 (см. рис. 1).

При бурении скважины 28 января 2011 г. были пройдены мерзлые грунты от устья скважины до забоя. Наблюдения февраля 2011 г. показали отсутствие поло-

жительных температур по всему стволу скважины (рис. 9, а). В марте 2011 г. наблюдалось уменьшение водопритока в водоотводной канаве и одновременно с этим повышение температур с частичным растеплением грунтов в скважине 2Г (рис. 9, б). В апреле водоприток по канаве прекратился, в до этого сухой скважине 2Г были отмечены установившийся уровень грунтовых вод на глубине 4,9 м и положительные температуры, начиная с той же глубины (рис. 9, в). В мае 2011 г. в скважине 2Г был зафиксирован лед на глубине 0,4 м.

Очевидно, что изменение температурного и гидрогеологического режима по скважине 2Г обусловлено целым комплексом причин. Во-первых, вследствие постоянной механизированной зачистки водоотводной канавы грунты в непосредственной близости от нее были заморожены, что затруднило, а к апрелю 2011 года и окончательно перекрыло приток грунтовых вод в эту

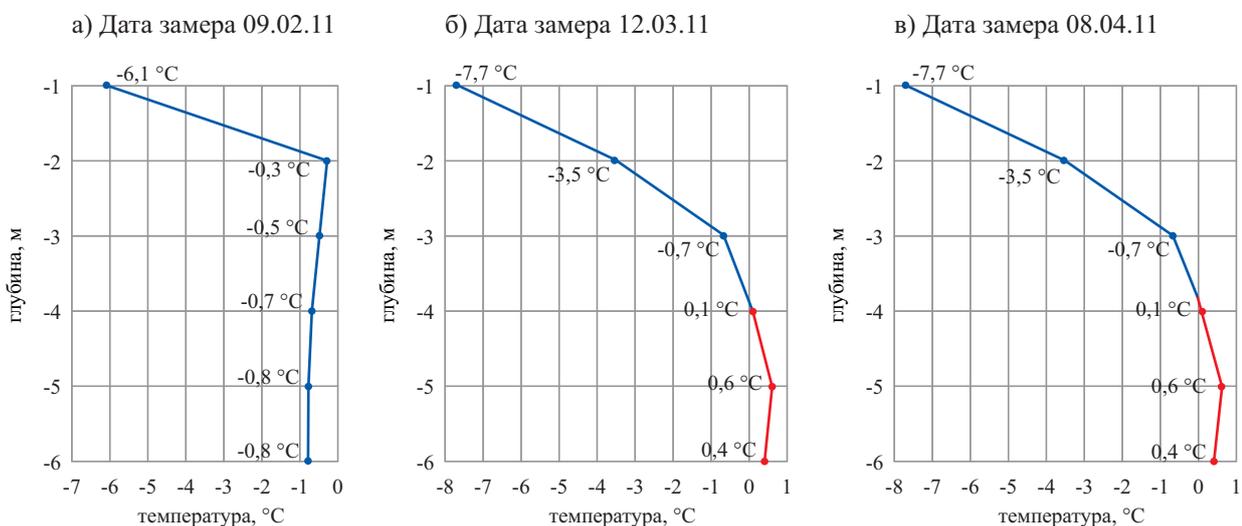
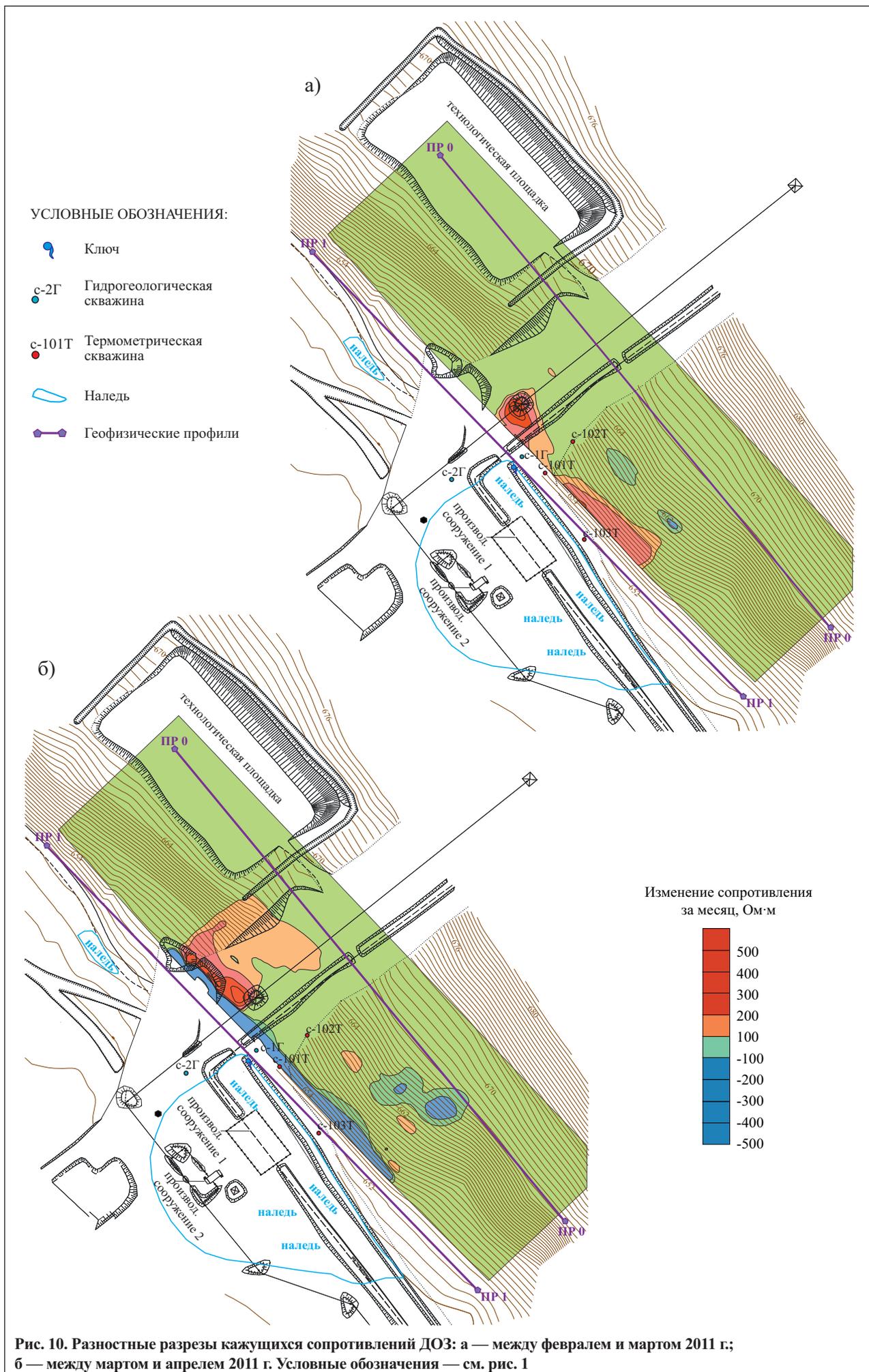


Рис. 9. Термометрия по гидрогеологической скважине 2Г. Синие линии — для отрицательных температур, красные — для положительных



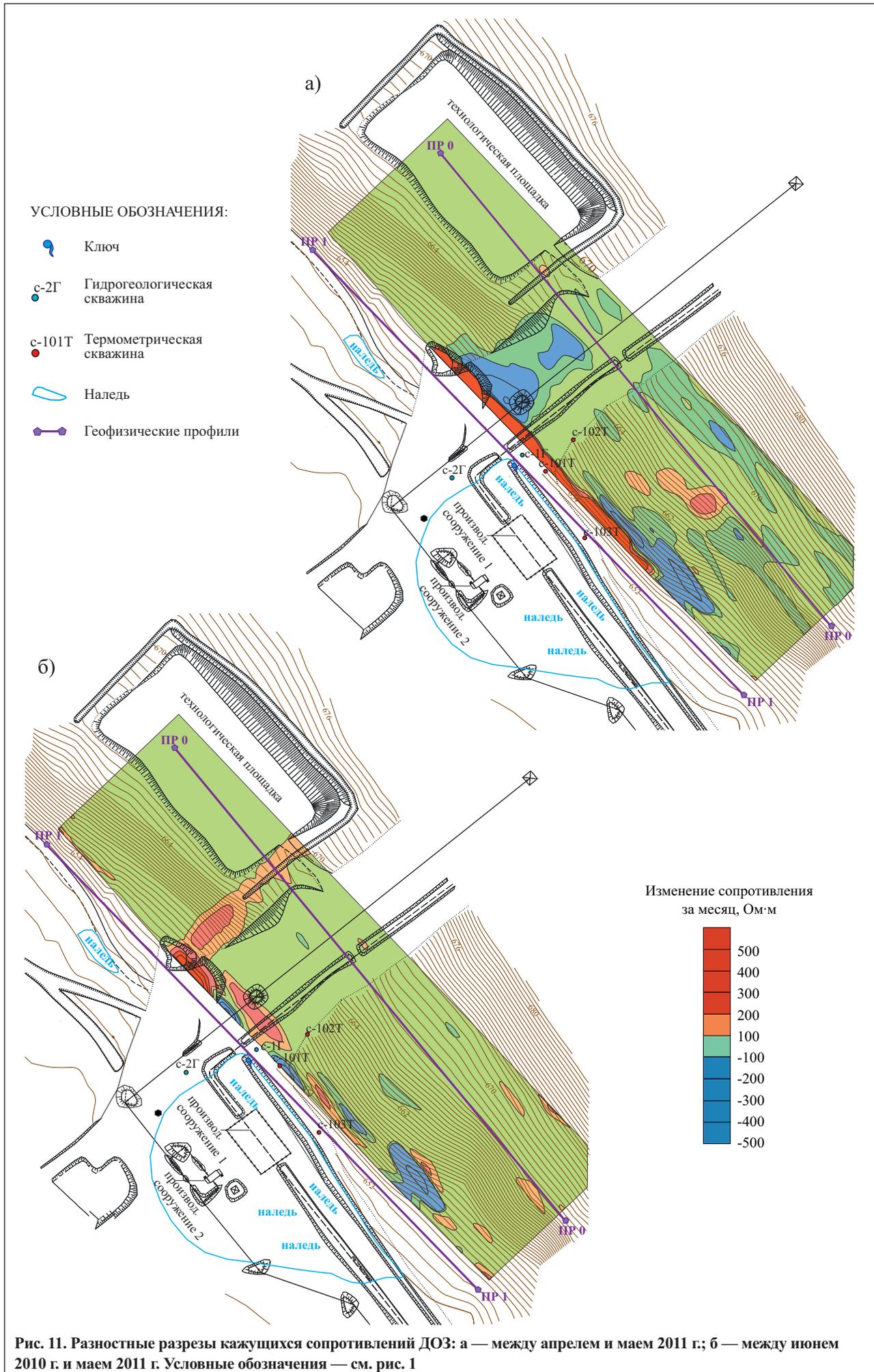


Рис. 11. Разностные разрезы кажущихся сопротивлений ДОЗ: а — между апрелем и маем 2011 г.; б — между июнем 2010 г. и маем 2011 г. Условные обозначения — см. рис. 1

канаву. Во-вторых, увеличение дебита потока по трансшее нефтепровода (как следствие перекрытия потока по водоотводной канаве) растеплило грунты и в направлении траншеи нефтепровода первого варианта прокладки, в непосредственной близости от которой пробурена скважина 2Г.

Исходя из результатов мониторинга, с большой долей вероятности можно предположить, что основной водопристок при образовании наледи на объекте исследований происходит по траншее нефтепровода. Большая площадь водосбора обеспечивает достаточно постоянный дебит потока, несколько уменьшающийся к весенним месяцам. Происхождение вод по большей части является надмерзлотным, но, учитывая близость Чульмаканского разлома, нельзя также исключить поступление в траншею нефтепровода подмерзлотных вод. По типу питания и виду выхода наледи на поверхность ее можно классифицировать как наледь подземных вод (ключевую).

Подводя итог, можно сделать вывод, что по генетическому типу наблюдаемая наледь относится к типу III.6 (наледи смешанных поверхностных и подземных вод) [1]. Сформировавшуюся на участке исследования наледь можно разделить как минимум на два типа:

- тип II.4 — наледь грунтовых вод рыхлой толщи, подтип II.4.2 — с водоупором из многолетнемерзлых грунтов (наледи приурочена к участку с нарушенным растительным покровом, она наименее опасная);
- тип II.5 — наледь подземных вод глубоких горизонтов, подтип II.5.1 — ненапорных вод (она опасная) [1].

Для выяснения термического режима вдоль основного профиля наблюдений был выполнен дополнительный анализ данных электрического зондирования. Суть этого анализа состояла в том, что для лучшей визуализации ежемесячных изменений из разреза ДЗО за каждый месяц вычитался профиль за предыдущий месяц (например, из февральского — мартовский) (см. рис. 7). В результате получились разностные разрезы кажущихся сопротивлений, отражающие увеличение или уменьшение электрического сопротивления за каждый месяц. Они были помещены на топографический план (рис. 10–11). Области синего оттенка на приведенных разрезах обозначают повышение сопротивления (проморозку интервала) за месяц, области красного оттенка — оттайку (понижение сопротивления).

Отраженные на рис. 10–11 изменения полностью согласуются с данными инженерно-геологических наблюдений. Разрез «февраль–март» (рис. 10, а) отражает растепление ВЧР¹ в интервале пикетов 80–180 м по профилю 1. Именно этот интервал на местности проходит по поверхности, затронутой строительными работами, со снятым растительным покровом и отсыпкой. В феврале по водоотводной канаве наблюдался активный водоток, который и обеспечил существенное растепление по разрезу активной части профиля; в скважине 2Г наблюдалось изменение отрицательных температур на положительные, скважина сухая. На разрезе «март–апрель» (рис. 10, б) наблюдается существенное растепление в интервале коридора траншей

нефтепровода и проморозка ВЧР в районе водоотводной канавы и активной (затронутой строительными работами) части профиля. К апрельским наблюдениям водоток по водоотводной канаве прекратился, в скважине 2Г граница растепленной зоны переместилась ниже по скважине, в скважине появилась вода. Для разреза «апрель–май» (рис. 11, а) наблюдается растепление (оттаивание) верхней части активного интервала при относительном понижении температур ниже по разрезу (особенно интенсивные изменения наблюдаются в активном интервале профиля). Водоток по канаве отсутствует, скважина 2Г перемерзла, ледяная пробка начинается практически от поверхности.

Интересен разрез, приведенный на рис. 11, б, отражающий разницу сопротивлений между июнем 2010 г. и маем 2011 г. При практически полном совпадении разрезов наблюдаются две зоны заметного растепления — непосредственно под нефтепроводом и на границе коридора с поверхностью, не затронутой планировочными работами. Конфигурация зоны растепления под нефтепроводом свидетельствует о наличии водотока по его траншее. Подобную геоэлектрическую картину (узкую зону низких сопротивлений, расширяющуюся вниз по разрезу) дает подрусловый талик.

Таким образом, данные представленного в статье исследования подтверждают выдвинутую гипотезу о происхождении наледных вод и генетическом типе рассматриваемой наледи. Учитывая установленный тип наледи, в качестве основных инженерных мероприятий, ориентированных на обеспечение безопасности функционирования изучаемого объекта, можно рассмотреть следующие варианты решения данной проблемы: (1) перенос объектов производственных сооружений вверх по склону; (2) создание комплекса противоналедных мероприятий.

При рассмотрении первого варианта, опираясь на имеющиеся данные о ландшафтно-гидрогеологических условиях района, можно с уверенностью утверждать: перенос производственных сооружений вверх по склону не гарантирует того, что не появятся новые наледи, поскольку при переносе неизбежны планировочные работы, сопряженные со снятием растительного покрова и изменением естественного режима грунтового потока. С этой точки зрения выбор второго варианта, ориентированного на создание комплекса противоналедных мероприятий, выглядит более предпочтительно как с инженерно-геологической, так и с экономической точки зрения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев В.Р. Наледеведение: словарь-справочник. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. 438 с.
2. Гриб Н.Н., Сясько А.А., Кузнецов П.Ю., Качаев А.В. Выделение возможных причин наледообразования комплексом геофизических методов в пределах участка перехода трубопроводной системы ВСТО через р. Чульмакан // Проблемы геологии и разведки недр Северо-Востока России: материалы региональной научно-практической конференции, посвященной 55-летию инженерного образования в Республике Саха (Якутия), г. Якутск, 30 марта 2011 г. Якутск: Издательско-полиграфический комплекс СВФУ, 2011. С. 143–146.

¹ ВЧР — грунты верхней части разреза.