



Российская Академия Наук

Департамент по недропользованию по СКФО
Академия наук Чеченской Республики
Геофизический институт ВНЦ РАН
ИИЕТ им С.И. Вавилова РАН
Институт геологии ДНЦ РАН
ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова
Чеченский государственный университет

**СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ
ГЕОЛОГИИ, ГЕОФИЗИКИ И ГЕОЭКОЛОГИИ
СЕВЕРНОГО КАВКАЗА**

Том IX

Коллективная монография
по материалам IX Всероссийской научно-технической конференции
«Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа»
10-12 октября 2019 г., г. Ессентуки

Научные редакторы:

*д.ф.-м.н., профессор,
академик Академии наук Чеченской Республики И.А. Керимов
д.ф.-м.н., профессор В.Б. Заалишвили
д.г.-м.н., профессор В.И. Черкашин*

Москва 2019

УДК 55(470.6)

ББК 26.3 (235.7)+26.2(235.7)+20.1(235.7)

*Печатается по решению Ученого совета ИИЕТ РАН (протокол № 3 от 23.05.2019)
и Президиума Академии наук Чеченской Республики (протокол № 6 от 24.09.2019)*

Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. Том IX /
Под ред. И.А. Керимова, В.Б. Заалишвили, В.И. Черкашина. М.: ИИЕТ РАН, 2019. 727 с.

Рецензенты:

д.г.-м.н., профессор Е.А. Рогожин (ИФЗ им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва)

д.г.н., член-корреспондент РАН В.А. Снытко (ИИЕТим. С.И. Вавилова РАН, ГУЗ, г. Москва)

д.г.н., профессор В.А. Широкова (ИИЕТим. С.И. Вавилова РАН, ГУЗ, г. Москва)

Авторский коллектив:

*Керимов И.А., Заалишвили В.Б., Черкашин В.И., Абрамова Т.Т., Абубакарова Э.А.,
Абумуслимов А.А., Акиаяков З.Т., Алахвердиев Ф.Д., Анаев М.Т., Анахаев Х.А., Антонов В.А.,
Архиреева И.Г., Астапова Д.А., Ахмедова М.М., Багаева С.С., Бадаев С.В., Банкурова Р.У.,
Барановский А.Ф., Бачаева Т.Х., Беккиева С.А., Белуженко Е.В., Беляев Е.В., Березий А.Е.,
Богущи И.А., Бойко Н.И., Борисенко З.Г., Бубнова М.Б., Бурдзиева О.Г., Бурым Ю.А.,
Бычинский В.А., Васьков И.М., Вержбицкая В.В., Вержбицкий В.В., Верисокин А.Е., Верозуб Н.В.,
Войтенко В.Н., Волков В.Н., Волошина В.Н., Вольфман Ю.М., Гагаева З.Ш., Гайдук В.В.,
Гайрабеков У.Т., Гайсумов М.Я., Гайсумов О.М., Гацаева Л.С., Гацаева С.С.-А., Гегиев К.А.,
Геккиева С.О., Гергокова З.Ж., Глазырин Е.А., Голованов К.С., Голубев Д.А., Гонгадзе М.,
Гонсировский Д.Г., Горожанцев С.В., Гридин В.А., Губарев М.В., Гуния А.Н., Гусейнов А.А.,
Дагаева Н.И., Даукаев А.А., Дашкова Е.В., Дементьева И.Е., Денекин И.А., Дзобелова Л.В.,
Димитриади Ю.К., Дмитриева И.Ю., Додуев А.А., Долова М.Л., Домарева А.Е., Доценко В.В.,
Еремينا Н.В., Забурева Х.Ш., Земцов П.А., Зорин А.Б., Ибаев Ж.Г., Иваненко Т.А., Иванушь И.В.,
Инякина Е.И., Исаева Н.А., Исаков С.И., Кагермазов А.Х., Казанкова Э.Р., Калинин В.В.,
Кануков А.С., Караев Ю.И., Керимов А.-Г.Г., Керимов А.М., Керимова Е.Г., Кешева Л.А.,
Климов В.В., Коваленко А.С., Козуб А.П., Кокин А.В., Колбовский Е.Ю., Колесникова Е.Я.,
Коломийцев А.В., Кондаков В.М., Корбесова К.В., Корнилова Н.В., Крупская Л.Т., Кузнецова Д.Р.,
Куранов Ю.В., Курашева О.А., Куропаткина Т.Н., Кутовой А.С., Ларионова Н.А., Лебедева А.М.,
Лебедева Е.Т., Лобжанидзе Н.Е., Лолаев А.Б., Ломинадзе Г., Лукьянов В.Т., Лысенко А.В.,
Лысенко И.О., Магомадов И.А., Магомедов Р.А., Магомедов Ш.А., Магомедов Ш.Ф., Мамаев С.А.,
Маммаев Б.О., Маммаев О.А., Маргошвили М.Т., Мацапулин В.У., Мельков Д.А., Мельников П.Н.,
Микерина Т.Б., Минченко Ю.С., Мирошниченко П.Н., Молдаков В.В., Моллаев З.Х., Мясников А.В.,
Мячев С.Б., Назаренко О.В., Немцов И.Н., Немцов Н.И., Останин А.М., Парада С.Г., Петров Л.А.,
Петрушина М.Н., Пинчук Т.Н., Пономарёва Н.Л., Попков В.И., Попков И.В., Попов Ю.В.,
Проскурин В.С., Прошляков С.Л., Пустовит О.Е., Пустовитенко Б.Г., Расулов Г.С.,
Решетняк О.С., Рожнова А.А., Рябов Г.В., Савина Ю.А., Сазонов И.Г., Салтанова А.Г.,
Самусев Д.Д., Саяпина А.А., Серитханов С.М., Сианисян Э.С., Силаев В.И., Скворцов М.Б.,
Скляр А.А., Снежко В.А., Снежко В.В., Созаева Л.Т., Соколенко Е.В., Степанов А.Н.,
Степанова И.Э., Стерленко З.В., Стогний В.В., Стогний Г.А., Сутормина Э.Н., Тамаева М.Р.,
Ташилова А.А., Теунова Н.В., Тотурбиев А.Б., Тотурбиев Б.Д., Трфилова Т.В., Троян В.В.,
Труфанов А.В., Труфанов В.Н., Тулышева Е.В., Туманова Е.Ю., Улановская Т.Е., Фадеева Ю.Б.,
Федин М.М., Филиппов В.Н., Фоменко Н.Е., Фортунатова Н.К., Хандзель А.В., Харченко В.М.,
Харыбина А.С., Хаустов В.В., Хучунаев Б.М., Хучунаев Б.М., Черненко К.И., Чотчаев Х.О.,
Чудненко К.В., Чупалаев Ч.М., Шахбазян Т.З., Шерстюков М.П., Шерхов А.Х., Щербуль З.З.,
Эзирбаев Т.Б., Эльжаев А.С., Эльмурзаев Р.С., Юмашева А.К., Юсупов А.Р., Юферева В.В.,
Якушев В.М., Яндарбиев Н.Ш., Ярыльченко Т.Н.*

Материалы публикуются в авторской редакции.

ISBN 978-5-98866-073-6

© ИИЕТ им. С.И. Вавилова РАН, 2019

© Академия наук Чеченской Республики, 2019

© Коллектив авторов, 2019

**ОПЫТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
НА ПЕРЕШЕЙКЕ МЕЖДУ ОЗЕРОМ МАЛЫЙ ЛИМАН И ЧЕРНЫМ МОРЕМ**© ¹Фоменко Н.Е., ²Молдаков В.В., ¹Коваленко А.С., ¹Решетняк О.С.¹Институт наук о Земле ЮФУ, Ростов-на-Дону
²ООО «ИнжСтройКонсалтинг», г. Краснодар

Представлены результаты геофизических исследований на перешейке между озером Малый Лиман и акваторией Чёрного моря. Анализ данных показал гетерогенное строение разреза. Степень обводнения возрастает в юго-западном направлении. В северо-восточной части перешейка уровень грунтовых (подземных) вод понижается. Установлено, что инфильтрационные процессы в массиве перешейка имеют место и возрастают в юго-западном направлении. Области инфильтрации распределены неравномерно и носят локальный характер. Диффузионно-адсорбционные процессы в прибортовых к озеру породах в явной форме не прослеживаются.

Ключевые слова: геофизические исследования, электрическая и сейсмическая томография, озеро Малый Лиман, перешеек, гетерогенная толща пород, инфильтрация.

Введение

Изучение дамб и плотин на предмет их состояния и протечек (инфильтрации подземных вод) относится к одной из задач, решаемых инженерной геофизикой [6, 10, 15-19]. Существуют и естественные гидрологические перегородки. Одной из них является каменная коса (перешеек) шириной около 30 м, отделяющая озеро Малый Лиман от Черного моря. Вода в озере пресная. Питание озера осуществляется за счёт подземного притока воды по толще четвертичных отложений, слагающих участок старого русла реки Абрау [9]. Озеро является памятником природы и принадлежит Абраускому государственному природному заказнику. Присвоение озеру статуса памятника природы стало вынужденной мерой по борьбе с загрязнением водоема из-за активной туристической деятельности [2]. Выше по течению старого русла, на расстоянии 1,5 км находится другое уникальное озеро Абрау, более глубокое и обширное. Оба озера по химическому составу воды являются карбонатно-кальциевыми, а по минерализации – пресными маломинерализованными. Значения pH варьируют в пределах слабощелочной реакции от 7,42 до 7,96 [8]. Выпадающие осадки на территорию озер практически полностью расходуется на испарение и транспирацию. Актуален вопрос о геологической структуре и строении перешейка, поскольку морская вода в озеро не проникает.

Выполнение опытно-экспериментальных геофизических исследований проведено с постановкой следующих задач:

1. Изучение геологического разреза на глубину до 25 м методами электропотенциального томографического зондирования (ЭПТЗ), электрической (ЭТ) и сейсмической (СТ) томографии.
2. Выявление инфильтрационных процессов комплексом электроразведочных методов постоянного естественного электрического поля (ЕП), симметричного электрического профилирования (СЭП), срединного градиента в двух модификациях (СГ и БИЭП) и ЭПТЗ в модификации электропрофилирования.
3. Исследование берегового склона водоема георадарным зондированием.

Полевые исследования проведены в июле 2019 г. сотрудниками и студентами института наук о Земле ЮФУ в рамках учебной комплексной практики. Схематическая карта озера Малый Лиман и расположение профиля геофизических наблюдений на перешейке приведена на рисунке 1.

В геологическом отношении полуостров Абрау и прилегающая к нему территория представлены в виде невысоких отрогов Главного Кавказского хребта. Максимальные высоты достигают 450-500 м. Средняя крутизна склонов варьирует от 25 до 35 градусов. Вдоль береговой линии полуострова проходит Утришский разлом, окаймляющий новейшую впадину Чёрного моря. Коренные породы на всем протяжении побережья представлены отложениями флиша. Это мощные толщи (250-350 м) раннепалеогеновых черных и зеленых известковистых аргиллитов с частыми прослоями желтовато-серых песчаников и алевролитов. В речных долинах местами вскрываются нижележащие отложения позднемелового возраста (темно-серые известковистые мергели с прослоями известняков, алевролитов и глин). Днища долин заполнены современными гравийно-галечниковыми, песчаными отложениями с подчиненными прослоями глин и суглинков. Общая мощность этих отложений достигает 15 м. Озерные водоемы на полуострове образовались действием землетрясений силой до 8 баллов посредством нарушения равновесий склонов долин с образованием провалов [9].

Методика геофизических исследований

Геофизические наблюдения выполнялись на перешейке на территории пляжа лагеря Лиманчик, где вдоль берега озера Малый Лиман на расстоянии 5 м был проложен профиль длиной 60 м с поикетной разбивкой в 2 м (см. рис.1). На каждом пикете измеряемые параметры регистрировались в полевом журнале и на компьютере с одновременным построением графиков. Это позволяло в реальном режиме времени контролировать качество первичных материалов. Ниже приводится в краткой форме методика геофизических исследований методами ЭПТЗ, СЭП, СГ, СГ-БИЭП, ЭТ, СТ и ЕП. Подробное описание этих методов и технологий дано в работах [1, 3-7, 10-14].



Рис. 1. Схематическая карта участка работ

ЭПТЗ реализовано посредством использования ортогональной установки. Электрод *A* размещался на геофизическом профиле, а электрод *B* на расстоянии 35 м по перпендикуляру к профилю в грунте морского дна. Измерительная линия *MN* равнялась 2 м и перемещалась по профилю в одну и другую стороны от каждой точки зондирования с шагом 2 м. Точки зондирования располагались через 10 м, что обеспечивало перекрытие измерительных интервалов по всей длине профиля с целью последующего сопоставления и анализа результатов в форме электропрофилирования и электротзондирования.

СЭП производилось установкой Шлюмберже *A4M2N4B* с шагом перемещения этой установки по профилю 2 м. Использовалась аппаратура ЭРА-В-ЗНАК на частоте 4,88 Гц.

СТ выполнялось в типовом низкочастотном варианте на частоте 4,88 Гц и технологией БИЭП (бесконтактное измерение электрического поля) на частоте 625 Гц. Питающая линия AB длиной 180 м располагалась по береговой кромке моря симметрично центру профиля геофизических наблюдений с заземлением питающих электродов в грунт морского дна. В каждой точке профиля, находящегося внутри линии AB , измерялись разность потенциалов ΔU (использовалась линия MN длиной 2 м) и компоненты электромагнитного поля E_x и E_y , (применялась электрическая антенна). Наблюдения проводились аппаратурой ЭРА-В-ЗНАК. Шаг перемещения по профилю составлял 2 м.

ЭТ выполнялась со стандартными установками Шлюмберже ($AMNB$) и дипольной осевой ($ABMN$). Запись показаний производилась аппаратурой Скала-48, предусматривающей полную автоматизацию по соответствующему протоколу.

СТ реализована применением методики преломленных волн (МПВ). Регистрирующей аппаратурой являлась телеметрическая сейсмостанция ТЕЛСС-3. Наблюдения проводились по схемам $Z-Z$ и $Y-Y$, т.е. осуществлялась регистрация продольных и поперечных волн. Шаг между соседними сейсмоприемниками в расстановке соответствовал 2 м. Плотность лучевого покрытия обеспечивалась системой пунктов возбуждения с шагом 10 м. На каждом пункте число ударов равнялась 5.

ЕП проводился на профиле способом потенциала с использованием неполяризующихся электродов и цифрового микровольтметра с высокоомным входом. Шаг наблюдений составлял 2 м. Неполяризующиеся электроды помещались в смоченные водой тряпичные чехлы (мешочки). Таким способом осуществлялся контакт неполяризующихся электродов с грунтом. Перед измерением величины и знака потенциалов постоянного естественного электрического поля (U_{EP}) в заранее подготовленные на профиле лунки заливалась вода.

Георадарное зондирование проводилось аппаратурой ОКО-2 с антенным блоком 400 МГц. Аппаратура устанавливалась на дно резиновой лодки, перемещаемой ортогонально южному берегу озера по натянутому между берегами электроразведочному проводу.

Первичная обработка полевых данных сводилась к формированию массива данных по каждому методу с построением графиков профилирования и зондирования. Использовалась программа Excel.

Последующая интерпретация заключалась в истолковании отдельных графиков на предмет выявления и анализа аномальных значений различной физической природы. Построение электро- и сейсмотомографических разрезов осуществлялось программным комплексом Zond.

Результаты работ и их обсуждение

Решение первой задачи выполнено посредством качественной и количественной интерпретации полевых наблюдений ЭПТЗ, ЭТ и СТ.

На рисунке 2-а приведены результаты электроразведочных исследований технологией ЭПТЗ. Сопоставлены кривые в форме электроразведочного (билогарифмический масштаб). Красный цвет у графиков, зарегистрированных по измерениям при увеличении разносов между питающим (AB) и измерительным (MN) диполями (линиями) на юго-восток, а черный цвет у кривых – при аналогичных измерениях с увеличением разносов на северо-запад. Попикетное рассмотрение кривых ЭПТЗ позволяет выделить в разрезе верхнюю высокоомную и нижнюю, более низкоомную, толщи, при том, что в нижней имеет место тенденция нарастания электропроводности в юго-западной части профиля (от точки 5 к точке 7). Расхождение кривых разнонаправленных разносов в верхнем горизонте в точках зондирования ТЗ-3,4,5,6 свидетельствует о гетерогенном строении этого горизонта. Т.е., ввиду неоднородного строения верхней толщи, происходит перераспределение силовых линий электрического поля по разные стороны от питающего диполя. Отмеченные

диагностические признаки позволяют выполнить конкретизацию томографических разрезов, приведенных на рисунках 2-б и 2-в.

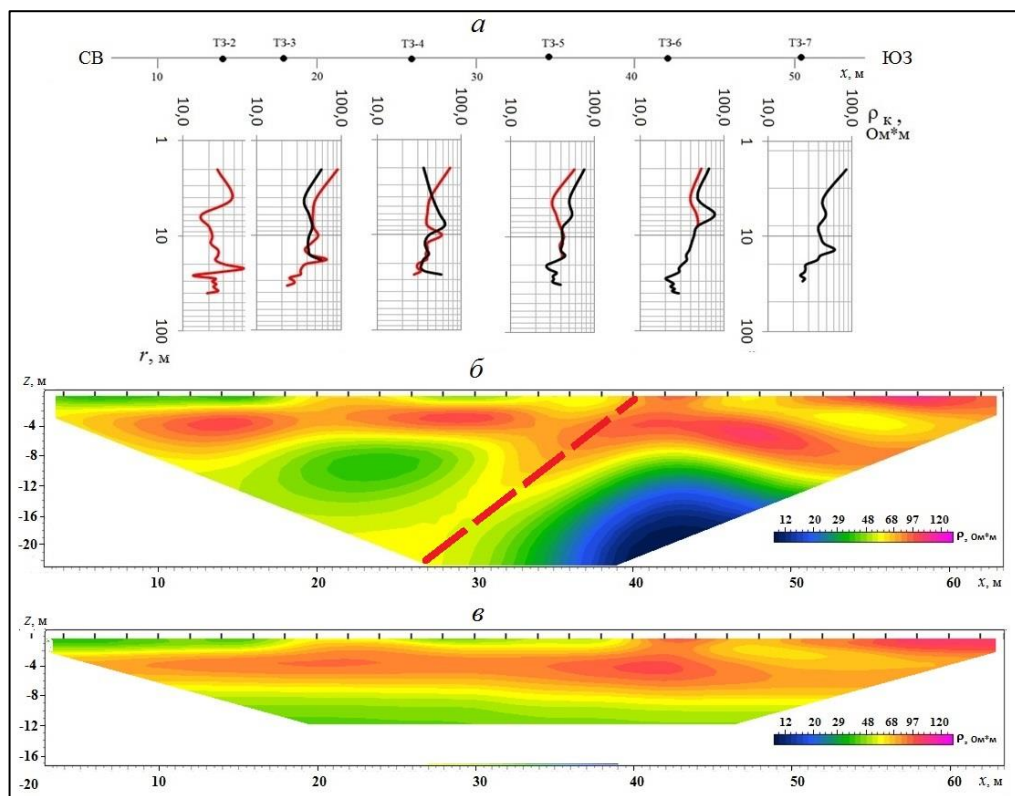


Рис. 2. Результаты электроразведочных исследований технологиями ЭПТЗ (а) и ЭТ (б, в) на перешейке между озером Малый Лиман и Черным морем

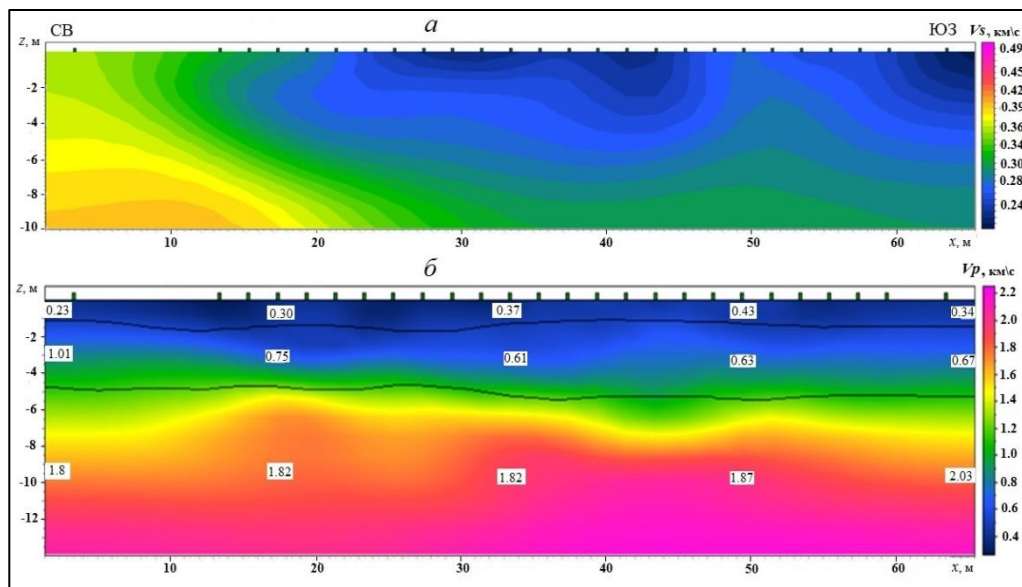


Рис. 3. Сейсмические разрезы на перешейке между озером Малый Лиман и Черным морем по данным поперечных (а) и продольных (б) волн

На фрагменте 2-б показан разрез сопротивлений, построенный по результатам количественной интерпретации в программе Zond полевых наблюдений установками Шлюмберже и дипольной осевой. Здесь в нижней части, также, как и на кривых ЭПТЗ выделяется область пониженных значений удельного электрического сопротивления, вызванная повышенной обводненностью. Область с наибольшей электропроводностью отмечается на юго-западном участке профиля ниже отметки 8 м между пикетами 35-50. На разрезе фиксируется и С-эффект (показано пунктирной линией), вызванный влиянием приповерхностного высокоомного объекта. Последний, как будет показано ниже, проявляется и на графиках электропрофилирования.

На фрагменте 2-в приведен результат интерпретации параметров поля, полученных только на установке Шлюмберже. Этот разрез по сравнению с разрезом дипольной осевой установки менее глубокий и контрастный, что согласуется с теоретическими положениями. В то же время рассмотрение разреза дает представление об изучаемой толще перешейка в упрощенном виде, т.е. состоящего из верхнего, более высокоомного, и нижнего, более низкоомного, горизонтов.

Особенности строения геологического разреза перешейка подтверждаются и дополняются анализом разрезов СТ. Разрез на рисунке 3-а, построен по данным регистрации поперечных волн (V_s), которые, как известно, распространяются только в твердых средах. Рассмотрение разреза позволяет получить представление о структурных и литологических особенностях верхней толщи перешейка. Во-первых, можно видеть разделение толщи на верхнюю (синий цвет) и нижнюю (зеленый цвет). Верхняя толща низкоскоростная вследствие высокой пористости, а нижняя - более консолидированная. Разуплотненное состояние верхней толщи перешейка по существующим гипотезам является результатом обрушения склонов окаймляющих гор, спровоцированных землетрясениями. Сформировался как бы «природный насыпной грунт». В северо-восточной части профиля за пределами озера между нулевым и двенадцатым пикетами скорость распространения упругих волн во флишевой толще более высокая. Это свидетельствует о ненарушенности здесь структуры прибортовой части каньона. Следует отметить, что на разрезе фиксируются и приповерхностные неоднородности. Наибольшая из них выделяется темно синим цветом между 38-м и 46-м пикетами. Эта же неоднородность, как было выше отмечено, проявляется на разрезе дипольной установки в форме С-эффекта.

Разрез на рисунке 3-б построен по данным регистрации продольных волн (V_p), которые распространяются в любых средах. На этом разрезе, как и на выше рассмотренных, выделяются два основных горизонта. В породах нижнего горизонта новым диагностическим признаком следует считать наличие резко повышенных по отношению к вышележащей толще скоростей распространения упругих волн, что свидетельствует об обильной обводненности пород в этой части разреза. Степень обводнения возрастает в юго-западном направлении (происходит увеличение скоростей распространения упругих волн от 1.82 до 2.03 км/с). В северо-восточной части перешейка, т.е. в отложениях прибортовой зоны каньона значения V_p уменьшаются, следовательно, уровень грунтовых (подземных) вод понижается. На разрезе можно видеть и четко прослеживаемый интервал капиллярного поднятия (желтый цвет).

Решение второй задачи по изучению фильтрационных процессов в толще пород перешейка выполнялось посредством сопоставления аномалий самопроизвольной поляризации пород в толще перешейка (метод ЕП) с аномалиями электрических методов наведенного (искусственно созданного) электрического поля (методы ЭПТЗ-профилирования, СЭП, СГ, СГ-БИЭП). Последние позволяют произвести детализацию разреза по простиранию и на глубину. Графики электропрофилирования приведены на рисунке 4.

На графике ЭПТЗ-профилирования в интервалах перекрытий фиксируется повторение формы аномалий, что свидетельствует о наличии в разрезе приповерхностных неоднородностей, а в местах расхождения формы кривых - присутствие глубинных неоднородностей. Между 36-м и 40-м пикетами в разрезе отмечается приповерхностная высокоомная неоднородность, а также в менее явном виде приповерхностные неоднородности в интервалах пикетов 15÷21 и 42÷50. Неоднородности в интервалах 15÷21 и 36÷40, фиксируются и на графике СГ-625 Гц, где кривая напряженности электрического поля E_y отражает изменение удельного сопротивления пород, а график E_x – изменение электропроводности толщи.

Кривая СГ-4,88 Гц характерна тем, что метод отличается наибольшей глубиной (не менее 25-35 м при длине питающей линии $AB=180$ м). График $\Delta U_{СГ}$, соответственно, отражает интегральную характеристику толщи перешейка. В силу глубинности метода, по кривой $\Delta U_{СГ}$ отчетливо прослеживается тенденция уменьшения удельного сопротивления толщи перешейка в юго-западном направлении. Это выше подчеркивалось и при анализе кривых ЭПТЗ-зондирования, а также на томографических разрезах ЭТ дипольной установки и на разрезах СТ в вариантах поперечных и продольных волн.

График метода СЭП отражает изменение самого верхнего горизонта отложений перешейка, так как его глубинность при длине $AB=10$ м не превышает 2-3 м. По этой причине форма кривой $\Delta U_{СЭП}$ определенным образом отличается от графиков СГ-4,88 Гц, ЭПТЗ-профилирования и БИЭП.

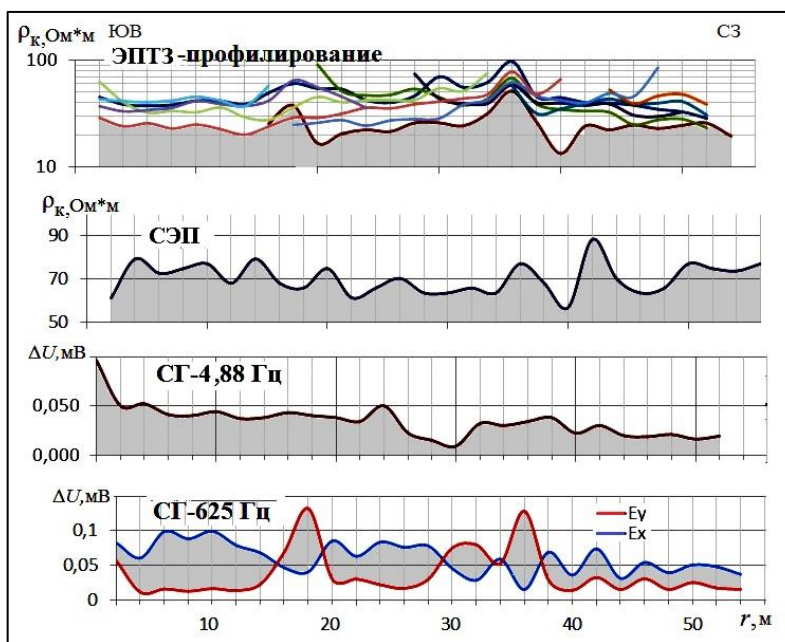


Рис. 4. Сопоставление графиков ЭПТЗ-профилирования, СЭП, СГ, СГ-БИЭП на геофизическом профиле вдоль перешейка между озером Малый Лиман и Черным море

Совокупное рассмотрение всех графиков наведенного (искусственно созданного) электрического поля (ЭПТЗ-профилирования, СЭП, СГ, СГ-БИЭП), показывает отсутствие строгой коррелируемости кривых, что априори обусловлено неоднородным составом исследуемой толщи как по простиранию, так и по стратиграфической глубиной. По этой причине для выявления инфильтрационных процессов в толще пород перешейка произведено сопоставление результатов наиболее глубинного метода СГ-4,88 Гц с графиком ЕП, поскольку, согласно теоретическим

положениям, признаком существования инфильтрационных процессов в геологических разрезах является несоответствие (отсутствие корреляции) между значениями электропроводности пород и потенциалами собственной поляризации. Сопоставление кривых показано на рисунке 5.

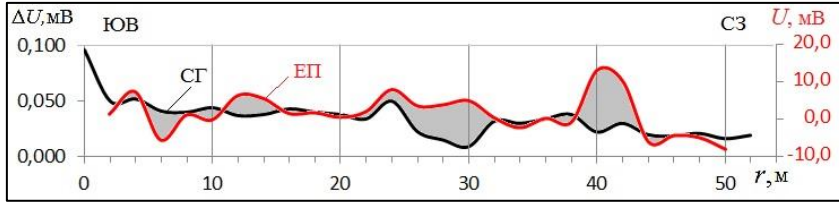


Рис. 5. Сопоставление графиков СГ и ЕП на предмет выявления инфильтрационных аномалий на геофизическом профиле вдоль перешейка между озером Малый Лиман и Черным морем

Можно видеть, что в целом на изучаемом участке перешейка корреляция кривых не прослеживается. Следовательно, инфильтрационные процессы в массиве горных пород перешейка имеют место с возрастанием в северо-западном направлении. Области инфильтрации распределены неравномерно, т.е. носят локальный характер. Соответственно, они приурочены к нижнему обводненному горизонту. Знак U_{EP} для большинства аномалий положительный. Это значит, что инфильтрация происходит по направлению от озера к морю. Диффузионно-адсорбционные процессы, фиксируемые по устойчивой корреляции между значениями электропроводности пород и потенциалами собственной поляризации вследствие взаимодействия вод различной концентрации, по линии геофизического профиля не прослеживаются. Возможно, они сглаживаются влиянием инфильтрационных процессов.

В заключение отмечаем, что на основе полученных результатов, установлено обводнение нижней толщи пород перешейка с глубины 5-6 м и, следовательно, уровень грунтовых вод находится ниже поверхности озера. Удельное сопротивление обводненных пород (ρ_n) в среднем составляет 30 Ом*м и в юго-западной части на глубинах более 15 м уменьшается до 15-20 Ом*м при ρ_n воды в озере (по данным резистивиметрии) 18 Ом*м. Эти показатели указывают на преимущественно пресный состав грунтовых вод в толще пород перешейка. В то же время изменение ρ_n по простиранию и с глубиной неравномерное. Дополнительным подтверждением являются исследования ЭТ с установкой Шлюмберже в шельфе южного берега озера (рис. 6). Электроразведочная коса раскладывалась в воде в двух метрах от берега озера и параллельно основному геофизическому профилю на расстоянии порядка 6 м от него. На разрезе хорошо видны области понижения удельного сопротивления. Здесь же, на врезке, показана геологическая структура берегового склона, полученная по данным георадарной съемки на акватории озера.

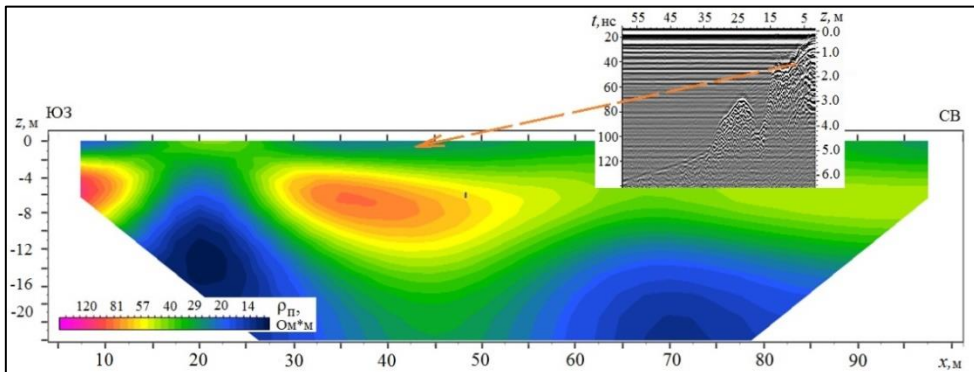


Рис. 6. Разрез сопротивлений шельфа южной береговой зоны озера Малый Лиман (на врезке показано строение берегового склона в северном направлении по данным георадарной съемки на акватории озера)

На радарограмме видно, что разрез состоит из чередования пластов складчатой флишевой толщи. Склон крутой, осложнен каньоном малого порядка и при повсеместном его контакте с водой озера трудно предположить, что он является непроницаемым водоупором. Безусловно, по простиранию существуют тектонические разрывные нарушения, зоны обрушения и трещиноватости и другие пористые структуры. Следовательно, существование контакта озерной и морской воды нельзя исключить. Другим объяснением пониженных значений ρ_n с увеличением глубины озера может быть вещественно-петрографический состав илистого дна. В этом аспекте целесообразно планировать дополнительные исследования, предусматривающие выполнение СТ и ЭТ на морском шельфе перешейка, а также изучение строения дна озера комплексом аквальных геофизических методов и, соответственно, контрольного бурения с методами изучения динамики движения подземных вод.

Выводы

1. Изучен методами электропотенциального томографического зондирования электрической и сейсмической томографии геологический разрез перешейка между озером Малый Лиман и Черным морем на глубину до 25 м. Установлено гетерогенное строение толщи и ее обводнение в нижней части разреза с глубины 5-6 м, что предопределяет факт нахождения уровня грунтовых вод ниже поверхности озера. Удельное сопротивление обводненных пород в среднем составляет 30 Ом*м и в юго-западной части на глубинах более 15 м уменьшается до 15-20 Ом*м при удельном сопротивлении воды в озере 18 Ом*м. В северо-восточной части перешейка уровень подземных вод понижается до глубин 8-10 м.
2. Сопоставлены аномалии самопроизвольной поляризации пород в толще перешейка с аномалиями электрических методов наведенного (искусственно созданного) электрического поля. Анализ проведен на основе наиболее глубинного метода электропрофилеирования – срединного градиента на квазипостоянном токе. Выявлено, что инфильтрационные процессы в массиве горных пород перешейка имеют место и возрастают в юго-западном направлении. Области инфильтрации распределены неравномерно, носят локальный характер и приурочены к нижнему обводненному горизонту. Знак аномалий потенциалов самопроизвольной поляризации в большинстве положительный, что означает направление инфильтрации от озера к морю. Диффузионно-адсорбционные процессы, фиксируемые по устойчивой корреляции между значениями электропроводности пород и потенциалами собственной поляризации, не прослеживаются.

Георадарная съемка на акватории озера позволила установить, что разрез южного берегового склона озера состоит из чередования пластов складчатой флишевой толщи, повсеместно контактирующей с водой. Априори не исключается существование в склоне тектонических разрывных нарушений, зон обрушения, трещиноватости и других пористых образований, что предопределяет контакт озерной и морской воды. Поэтому целесообразно планировать дополнительные исследования, предусматривающие выполнение СТ и ЭТ на морском шельфе перешейка, а также изучение строения дна озера комплексом аквальных геофизических методов совместно с контрольным бурением и наблюдениями динамики движения подземных вод.

Литература

1. Электротомография: аппаратура, методика и опыт применения [Электронный ресурс] / Балков Е.В., Панин Г.Л., Ю. А. Манштейн, Манштейн А.К., Белобородов В.А. – Режим доступа: <http://www.nemfis.ru/etom.pdf>.
2. *Бекух З.А., Щеглова З.П., Ромащук В.А.* Озера - памятники природы Краснодарского края, их современное состояние и перспективы использования / В сборнике: Географические исследования Краснодарского края / Под общей редакцией *А.В. Погорелова*. Краснодар, 2015. С. 176-179.
3. Электротомография методом сопротивлений и вызванной поляризации / *Бобачев А.А., Горбунов А.А., Модин И.Н., Шевнин В.А.* // Приборы и системы разведочной геофизики. 2006, № 2. С. 14-17.
4. *Боганик Г.Н., Гурвич И.И.* Сейсморазведка. Учебник для вузов. Тверь: Изд-во АИС, 2006. 744с.
5. Геоэкологическое обследование предприятий нефтяной промышленности / Под ред. проф. В.А.Шевнина и доц. И.Н.Модина. М.: РУССО, 1999. 511 с.
6. Геофизические исследования на земляной плотине иркутской ГЭС с целью изучения ее фильтрационной устойчивости / *Ескин А.Ю., Джурик В.И., Серебренников С.П., Брыжак Е.В.* // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2014. № 11 (94). С. 64-71.
7. *Ефимова Е.А., Рудерман Е.Н.* Возможности применения цифровой томографии для интерпретации геофизических данных. М.: ВИЭМС, 1982. 55 с.
8. *Комаров Р.С.* Гидрохимические особенности озера Малый Лиман (Краснодарский край) // Материалы международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «География в современном мире: вековой прогресс и новые приоритеты», посвященной 100-летию создания первого в России специального географического высшего учебного заведения – Географического института, проведенной в рамках XIV Большого географического фестиваля. Санкт-Петербург: Свое Издательство, 2018. С. 44-47.
9. Комплексное экологическое обследование особо охраняемых природных территорий регионального значения в целях снятия с них статуса особо охраняемой природной территории в связи с утратой ими своей ценности, как природных объектов или вхождением в границы более крупной особо охраняемой природной территории: МО город-Новороссийск. Краснодар, 2013. 66 с.
10. *Фоменко Н.Е.* Диагностика состояния прудовых плотин комплексом электроразведочных методов // Изв. вузов. Геология и разведка, 2015. № 1. С. 26-32.
11. *Шевнин В.А.* Распознавание аномалий естественного электрического поля диффузионно-адсорбционного происхождения // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология, № 2, 2018. С. 93-98.
12. *Шевнин В.А.* Распознавание природы аномалий ЕП – важный шаг качественной интерпретации // Геофизика, № 1, 2019. С. 21-24.
13. *Яновская Т.Б.* Проблемы сейсмической томографии // Проблемы геотомографии. М.: Наука, 1997. С. 86–98.
14. *Alex Kaminsky.* Zond Software, ресурс интернета, 2001-2019.
15. *Antoine R., Fauchard C., Fargier Y., Durand E. (2015)* Detection of leakage areas in an earth embankment from GPR measurements and permeability logging. *Int J Geophys* 2015:1-9.
16. *Bièvre G., Lacroix P., Laurent O., David G., Guy M., Fargier Y. (2017)* Integration of geotechnical and geophysical techniques for the characterization of a small earth-filled canal dyke and the localization of water leakage. *J Appl Geophys* 139:1-15.
17. *Camarero P.L., Moreira C.A. (2017)* Geophysical investigation of earth dam using the electrical tomography resistivity technique // *REM: Int. Eng. J., Ouro Preto*, 70(1), pp. 47-52.
18. *Chao C., Jiangping L., Jianghai X. and Zhenyu Li (2006).* Integrated geophysical techniques in detecting hidden dangers in river embankments. *J Environ Eng Geophys* 11:83-94. <https://doi.org/10.2113/JEEG11.2.83>
19. *Sentenac, P., Benes, V. & Keenan, H. (2018)* Reservoir assessment using non-invasive geophysical techniques. *Environ Earth Sci.* 77: 293. <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7463-x>