

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 550.834+550.837

**ИНЖЕНЕРНО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ ПРИ КАРТИРОВАНИИ  
ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ИМЕРЕТИНСКОЙ НИЗМЕННОСТИ**

*С.А. ГРОХОЛЬСКАЯ, В.В. РОМАНОВ*

*Российский государственный геологоразведочный университет  
117997, Россия, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 23; e-mail: roman\_off@mail.ru*

Рассмотрены особенности применения основных методов инженерной геофизики (инженерная сейсморазведка, электроразведка на постоянном токе и георадиолокация) при изучении подтоплений на территории Имеретинской низменности (г. Сочи, Краснодарский край). Геофизические исследования позволили уточнить геологическое строение и гидрогеологический режим в районе работ, а также определить основные физико-геологические параметры грунтов. Было установлено слоистое строение геолого-геофизического разреза до глубины 100 м, для каждого слоя найдены скорости продольных (300–1950 м/с) и поперечных (100–250 м/с) волн, диапазон значений удельного электрического сопротивления (50–1000 Ом·м), относительная диэлектрическая проницаемость (20–60 ед).

Ключевые слова: инженерная сейсморазведка; инженерная электроразведка; подтопление; георадиолокация.

**ENGINEERING GEOPHYSICAL RESEARCH FOR MAPPING  
OF HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS OF IMERETI LOWLAND**

*S.A. GROKHOLSKAYA, V.V. ROMANOV*

*Russian State Geological Prospecting University  
117997, Russia, Moscow, Miklouho-Maklay's street, 23; e-mail: roman\_off@mail.ru*

The work is devoted to the use and results of the main methods of engineering geophysics in the study of flooding on the territory of Imereti lowland (Sochi, Krasnodar region). The complex research includes the methods of engineering seismic works, electrical DC (direct current) and GPR (ground penetrating radar). Geophysical surveys allowed to specify the geological structure and hydrogeological conditions in the study area, as well as to define the basic physical parameters of soils. It was found that the geological section has a layered structure to a depth of about 100 m, for the each layer the geophysical parameters were found, including the velocity of longitudinal (300–1950 m/s) and transverse waves (100–250 m/s), as well as a range of values of the electrical resistance (50–1000 Ohm·m), relative dielectrical permeability (20–60 units).

Key words: near-surface seismic; engineering electromagnetics; flooding; ground penetrating radar.

Имеретинская низменность расположена в Адлерском районе г. Сочи на побережье Чёрного моря в междуречье рек Мзымта и Псоу [5]. На территории низменности находятся Олимпийский парк и другие объекты, возведённые к XXII Олимпийским играм 2014 г.

Основными элементами рельефа являются долина р. Мзымта и склоны обрамляющих её хребтов преимущественно «общекавказского» субширотного простирания. Абсолютные отметки растут вверх по течению р. Мзымта от 0 (Имеретинская низменность) до 550 м (Красная Поляна). В области развития среднегорного рельефа отметки хребтов достигают 1000–2000 м. Верховья бассейна р. Мзымта расположены в зоне высокогор-

ного рельефа с абсолютными отметками водоразделов, превышающими 2300 м. Важнейшими факторами формирования рельефа района являются процессы ледниковой, речной, гравитационной и морской денудации, развивающиеся весьма активно в связи с интенсивными новейшими тектоническими движениями, значительными колебаниями уровня Чёрного моря и своеобразной климатической обстановкой [5].

Имеретинская низменность отличается неглубоко залегающим уровнем грунтовых вод (1–2 м), которые периодически подтапливают наземные и подземные хозяйственные объекты. До ввода в эксплуатацию осушительной системы между реками Псоу и Мзымта существовало большое число болот. Причина-

ми подтопления являются природные факторы: геоморфологические, геолого-литологические и гидрогеологические [5]. В настоящее время подтопление и повторное заболачивание пониженных участков возникает во время продолжительных дождей ежегодно в сентябре—декабре.

В западной части Имеретинской низменности находится группа Лебединых прудов, являющихся остатками древних лагун, отшнурованных от моря в поздненимфейское время береговыми валами [1]. Однако эти озёра, по всей видимости, имеют искусственное происхождение. В контурах Лебединых прудов, судя по отметкам берегов, осуществлялись как выемки, так и подсыпки (обвалование) грунтов. Уровень воды в озёрах в последнее десятилетие фиксируется на абсолютных отметках около 0,30 м, что на 0,5 м превышает уровень воды в море (-0,20 м). Водные массы озёр имеют прямую связь с водоносным горизонтом нимфейской террасы, в разрезе которой отсутствуют глинистые экранирующие поверхности, которые мешали бы такой связи.

Геологический разрез Имеретинской низменности сформировался в четвертичное время (плейстоцен и голоцен) в результате циклически повторяющихся регрессии и трансгрессии моря. В целом отложения низменности являются природными дисперсными грунтами, которые подстилаются полускальными грунтами палеогена и неогена [1].

Во время трансгрессии в четвертичном периоде слагались морские песчано-галечниковые осадки, когда море отступало — алевролиты и глины. Во время регрессии в древних лагунах накапливались иловатые глины и торфяники. Морские отложения низменности относятся к единому черноморскому горизонту (верхний плейстоцен  $Q_{III}$  — голоцен  $Q_{IV}$ ). В речных долинах формировались аллювиальные отложения, а среди морских осадков голоцена выделяются прибрежно-морские, лиманные (лагунные) и пляжевые [1].

Лиманные фации сложены глинами, прибрежные и пляжевые — гравием, галечником и песками. Ниже по разрезу залегают средне- и верхнеплейстоценовые отложения карангатской террасы ( $mQ_{II-III}kg$ ), которые на Имеретинской низменности сохранились от размыва в виде высоких останцовых поверхностей только в притыловой части, где они погребены под делюви-

альными и пролювиальными отложениями и перекрыты лиманными глинами черноморских слоев. В приустьевом участке р. Мзымта эти отложения замешаются мощной толщей одновозрастного аллювия ( $aQ_{II-III}$ ), слагающего левобережную высокую (20 м) надпойменную террасу. В долине р. Псоу отложения высоких надпойменных террас сохранились в виде небольших фрагментов [1, 5].

Вся территория низменности является подтопленной и по глубине залегания уровня грунтовых вод подразделяется на подзоны сильного (до 0,3 м) и умеренного (до 2 м) подтопления [2]. В контурах распространения водоупорных лиманных глин развивается сильное подтопление. Подтопление возникает из-за наличия открытых, протяжённых (1,5 км) и мощных (40—50 м) зон разгрузки в морские четвертичные отложения вод аллювиальных водоносных горизонтов [5, 8].

Дифференциация разновозрастных влажных и сухих грунтов по сейсмoeлектрическим свойствам предопределила использование и высокую эффективность геофизических работ.

### Методика геофизических работ

Геофизические исследования на территории Имеретинской низменности выполнялись для уточнения гидрогеологических условий и геологического строения разреза до глубины 100 м. Для решения поставленных задач применялись методы сейсморазведки, электроразведки (ВЭЗ) и георадиолокация.

На стадии опытных работ в пониженных участках местности, где мощность четвертичных отложений составляла до 90 м, на сейсмической записи выделялись выраженные отражённые поперечные ( $S$ ) волны, поэтому при формировании системы наблюдений было решено использовать метод отражённых волн [12] (рис. 1).

Для реализации сейсмических методов исследования применялась 48-канальная сейсмостанция «Лакколлит-24М» и две схемы наблюдений:  $Z-Z$  и  $Y-Y$ . Первая схема предусматривала возбуждение продольных сейсмических волн вертикальными ударами кувалдой по металлической подложке и регистрацию вертикальными приёмниками GS-20DX. Схема  $Y-Y$  реализовывалась с помощью возбуждения поперечных волн касательными к

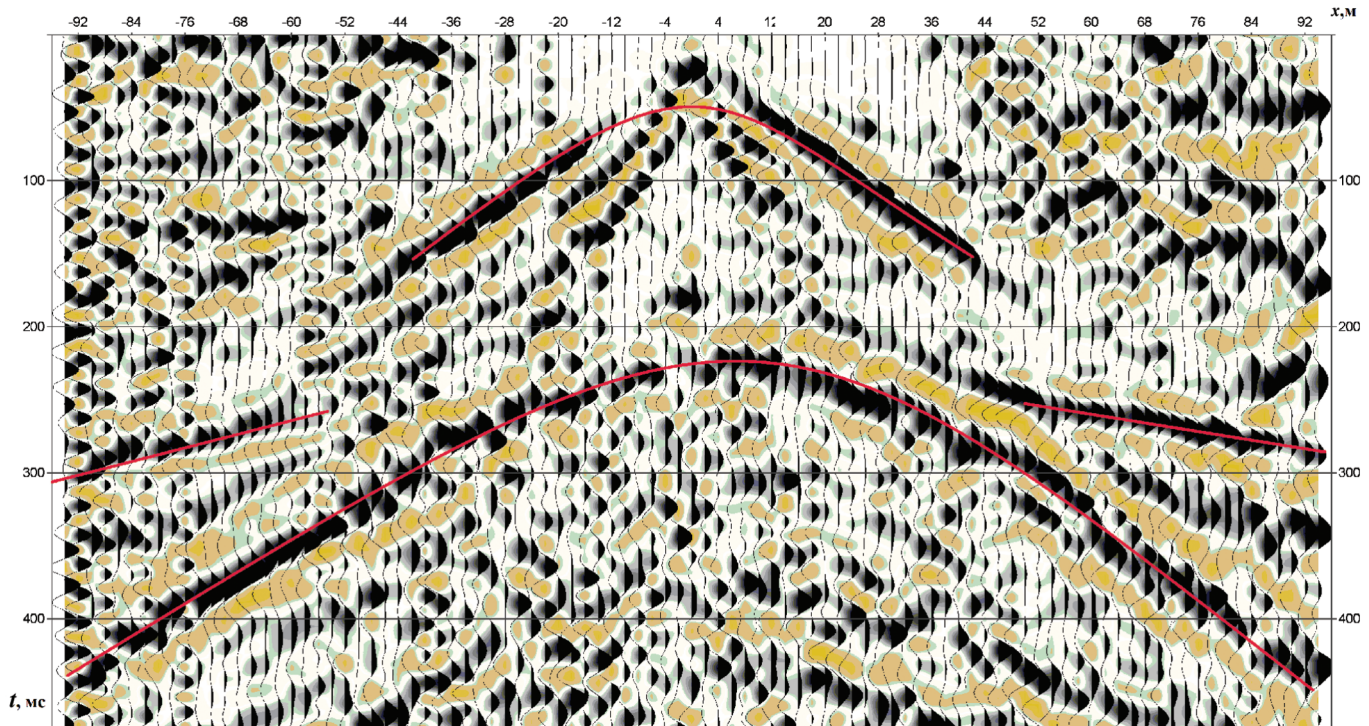


Рис. 1. Сейсмограмма с выделенными отражёнными (гиперболы) и преломлёнными (прямые) волнами

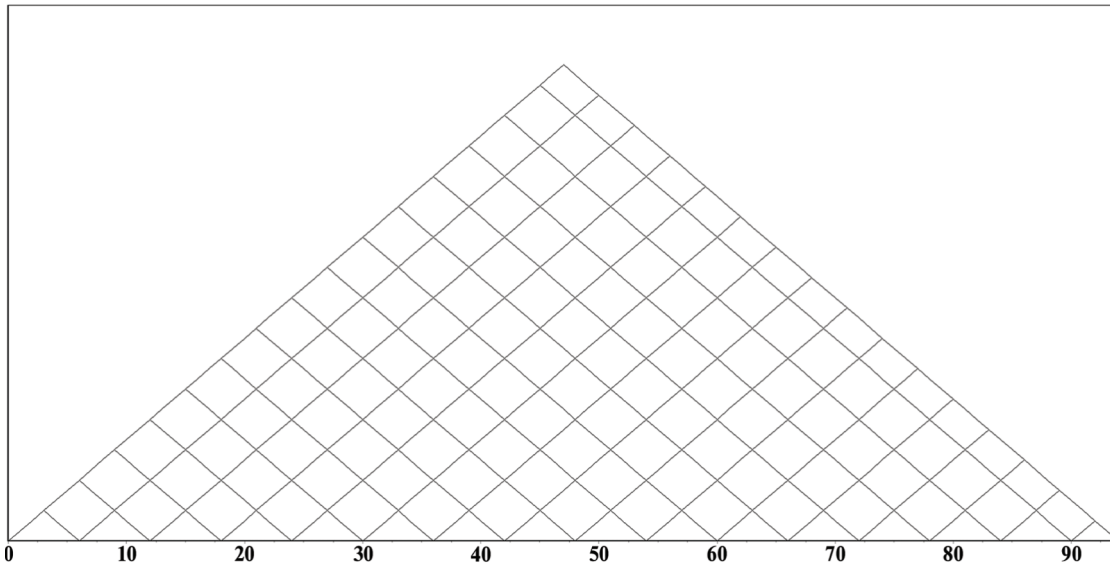


Рис. 2. Система наблюдений сейсморазведки методом отражённых волн на обобщённой плоскости

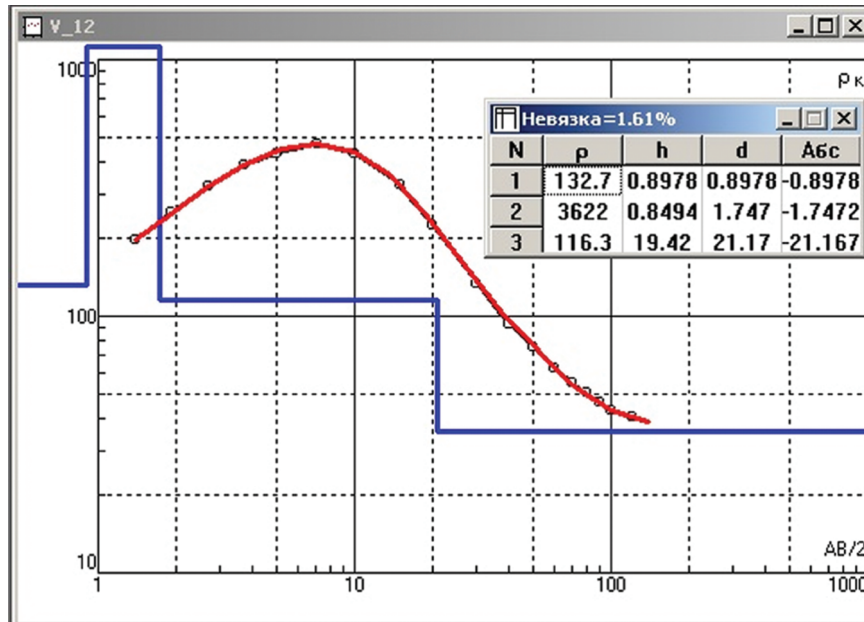


Рис. 3. Кривая ВЭЗ для установки AMNB с результатами интерпретации

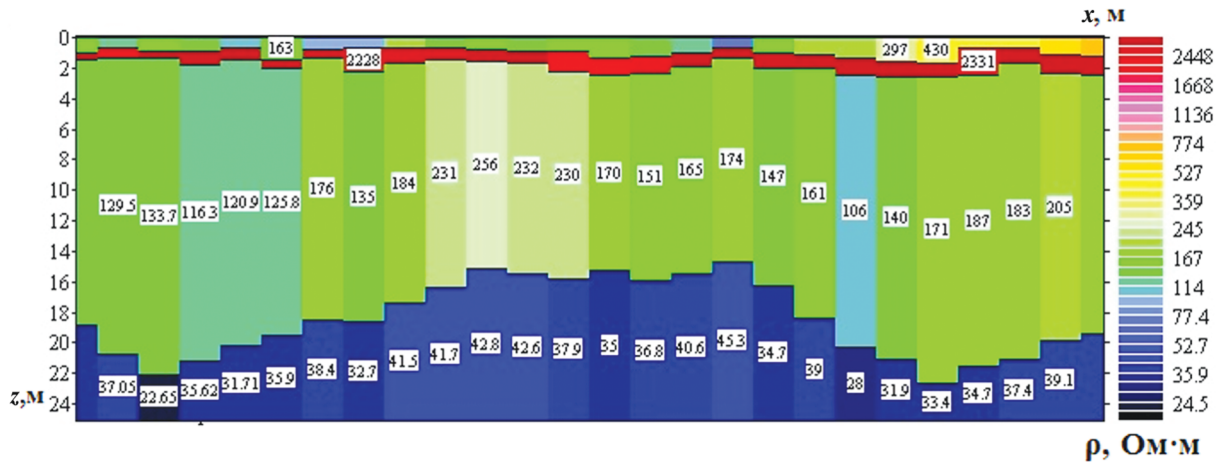


Рис. 4. Результаты интерпретации данных ВЭЗ в программе IPI2Win

поверхности земли ударами кувалдой перпендикулярно профилю и использования горизонтальных приёмников GS-20DX. Использовалась смешанная система наблюдения с шагом приёма 2 м, шагом возбуждения 6 м и расстановка приёмников длиной 94 м. Пункт возбуждения перемещался по неподвижной расстановке, обеспечивая кратность 16 в её центре (рис. 2). Интервал сейсмической записи составила 500 мс при регистрации продольных волн и 1000 мс — поперечных. Шаг дискретизации был выбран 0,5 мс, что обеспечило регистрацию сейсмических сигналов с частотами 5—500 Гц. Обработка выполнялась в программном комплексе RadExPro [4] (ООО «Деко-геофизика СК»), предназначенном для преобразования информации методов преломлённых и отражённых волн.

МГУ). На рис. 3 представлена кривая вертикального электрического зондирования, на рис. 4 — результаты интерпретации данных ВЭЗ по одному из профилей.

Георадиолокационные исследования выполнялись для выделения глинистых и торфяных толщ в заболоченных участках. Георадиолокация проводилась с использованием прибора «ОКО-2» (группа компаний «Логис-Геотех») при помощи антенного блока АБ-250 (250 МГц), обеспечивающего глубину исследования около 3 м в глинистых грунтах [3, 9].

Обсуждение результатов геофизических работ

В результате обработки и интерпретации геофизических данных был установлен геолого-геофизический разрез, в котором выделено три слоя (сверху вниз):

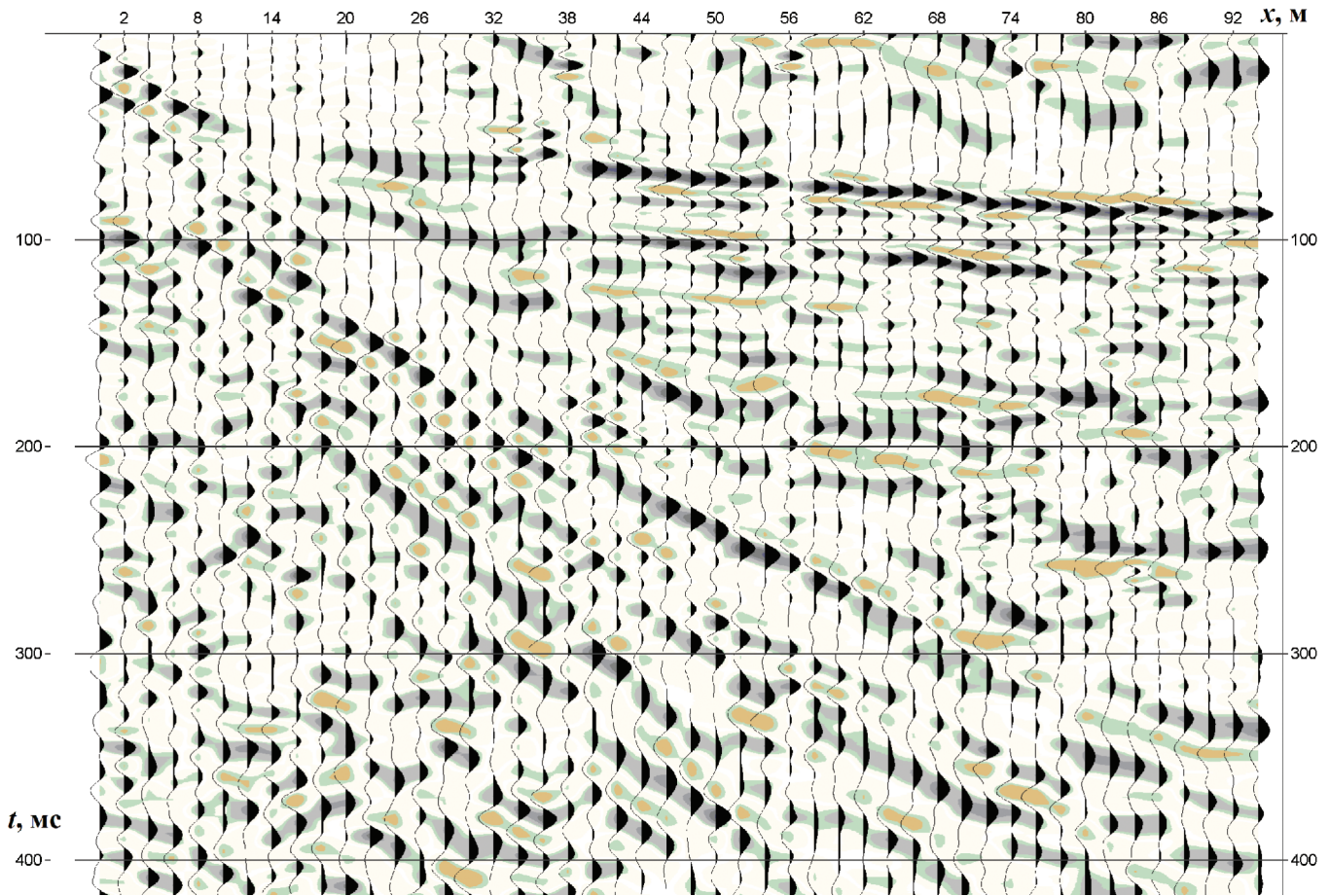


Рис. 5. Сейсмограмма схемы Z-Z, в первые вступления выходят прямые и преломлённые волны

Электроразведочные работы применялись с целью уточнения геологического строения и литологического состава горных пород, а также получения дополнительной информации о геоэлектрических свойствах пород. Наблюдения проводились методом вертикальных электрических зондирований (ВЭЗ) классической четырёхэлектродной симметричной установкой Шлюмберже (AMNB) [13]. Максимальная длина питающей линии при электроразведочных работах достигала 325 м, приёмной — 50 м. Данные параметры установки обеспечивали необходимую глубину исследования в 100 м. Использовалась универсальная электроразведочная аппаратура низкой частоты ЭРП-1 [7], работающая на частоте 4,88 Гц.

Количественная интерпретация кривых ВЭЗ проводилась в рамках горизонтально-слоистой модели, методом интерактивного подбора с использованием пакета программ IPI2Win [6] (разработана на кафедре геофизики геологического факультета

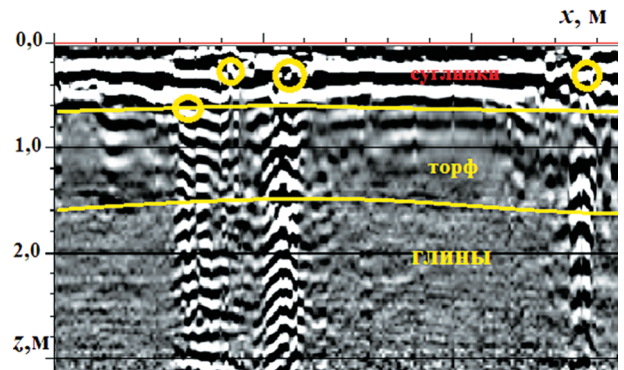


Рис. 6. Проинтерпретированный георадиолокационный разрез с отмеченными геологическими границами и выделенными техногенными неоднородностями

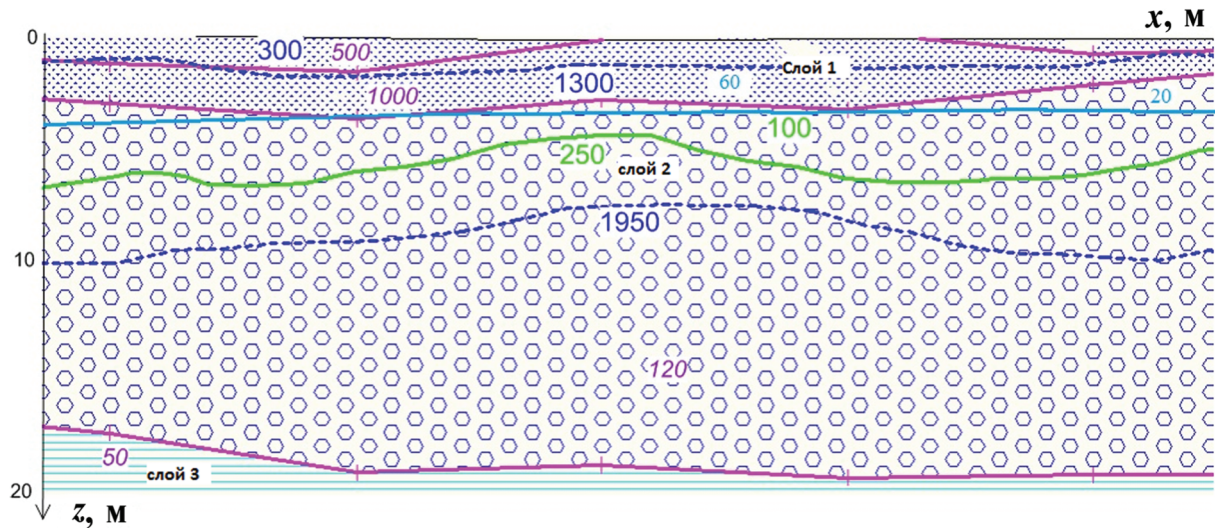


Рис. 7. Обобщённая физико-геологическая модель: синим цветом нанесены значения скорости продольных волн (м/с), зелёным — скорости поперечных волн (м/с), розовым — УЭС (Ом м), голубым — относительная диэлектрическая

1. Слой торфоглинистых отложений мощностью 6–7 м с пониженными скоростями поперечных волн  $V_S$  100–140 м/с и высоким, но невыдержанным по простиранию, удельным электрическим сопротивлением (15–400 Ом м). На сейсмограммах, полученных по схеме Z–Z, в первых вступлениях выделялась преломлённая волна (рис. 5), соответствующая уровню грунтовых вод на глубинах от 1–2 до 6–7 м. Скорость продольных волн ( $V_P$ ) в неводонасыщенной части слоя составила 250–300 м/с, ниже уровня грунтовых вод  $V_P$  — 1300–1400 м/с. Прослой торфа, выделенные в первом слое георадиолокацией, имеют практически горизонтальное залегание и находятся в водонасыщенном состоянии. Из-за существенного затухания электромагнитных волн в обводнённых глинистых грунтах подошва торфяной толщи отмечалась нечётко. Многочисленные техногенные объекты — трубы, строительный мусор, валуны выявлялись на разрезах георадара по осям дифрагированных волн (рис. 6). Относительная диэлектрическая проницаемость торфа,

установленная по скорости электромагнитных волн при георадиолокации [9], составила 60 ед.

2. Переслаивание обводнённых морских и лиманных отложений мощностью от 20 до 60–90 м. Для толщи характерны небольшие значения скорости поперечных волн 140–400 м/с, скорость продольных волн достигает 1600–2000 м/с. Значительное различие скоростей указывает на невысокую консолидацию водонасыщенных отложений [10, 11]. Относительная диэлектрическая проницаемость отложений 20 ед.

3. Слой глин с удельным сопротивлением 10–50 Ом м.

Таким образом, результаты геофизических исследований (рис. 7) соответствуют данным бурения. Выполненные работы позволили детализировать геологическое строение части Имеретинской низменности и уточнить особенности гидрогеологического режима. Был откартирован уровень грунтовых вод, колебания которого оказались в пределах от 1–2 до 6–7 м. Методом георадиолокации околнурены торфяные толщи на заболоченных участках.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Астахов Н.Е. Развитие юго-восточных берегов черноморской впадины в плиоцен-четвертичное время // Bulletin Moskovskogo obshchestva ispytatelei prirody; Bulletin of the Moscow Society of Naturalists. Geological series. 1967. С. 32.
2. Воронов Ю.В., Ширкова Т.Н. Создание системы инженерной защиты территории и объектов от подтопления // Вестник МГСУ. 2012. № 2. С. 121–124.
3. Жданов М.С. Электроразведка. М.: Недра, 1986.
4. Заключение И.С., Шалимова Е.А. Обработка данных наземной сейсморазведки преломленными и отраженными волнами в системе Radexpro // В сборнике: Геология в развивающемся мире (Мат. VII научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием): в двух томах. М., 2014. С. 207–211.
5. Клименко В.И. Количественная оценка сложности инженерно-геологических условий Черноморского побережья Кавказа (методические рекомендации) / В.И. Клименко, В.Ф. Безруков // Адлерская гидрогеологическая лаборатория ПНИИИС Госстроя СССР. Сочи. 1978.
6. Комплекс IPI-1D — одномерная профильная интерпретация данных ВЭЗ и ВЭЗ-ВП [Электронный ресурс]: IPI2Win. URL: <http://geoelectric.ru/ipi2win.htm> (дата обращения: 25.05.2016).
7. Малое частное предприятие «Линия». Комплекс аппаратурный электроизмерительный низкочастотный для геофизических исследований «ЭРП-1х». Руководство по эксплуатации [Электронный ресурс]: ЭРП-1. URL: [http://www.1-line.com.ua/doc/RE-ERP-1X\\_26\\_10\\_2010.pdf](http://www.1-line.com.ua/doc/RE-ERP-1X_26_10_2010.pdf) (дата обращения: 10.07.2016).
8. Миндель И.Г. и др. Особенности проявления сейсмических воздействий в районе размещения олимпийских объектов на Имеретинской низменности в Сочи // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2010. № 2. С. 161–170.
9. Помозов В.В., Семейкин Н.П. Георадар, как универсальный поисковый прибор // Специальная техника. 2001. № 2. С. 2–6.
10. Романов В.В. Изучение четвертичных отложений Подмосквы инженерной сейсморазведкой // Геофизика. 2014. № 3. С. 41–48.
11. Романов В.В., Рахматуллин И.И. Инженерная геофизика при изучении гляциальных отложений Дмитровского района Подмосквы // Известия вузов. Геология и разведка. 2014. № 3. С. 86–88.
12. Турчков А.М. Метод отражённых волн в модификации общей глубинной точки в инженерной сейсморазведке // Технологии сейсморазведки. 2013. № 2. С. 98–111.
13. US 1913739728A, 02.01.1913, Schlumberger Conrad (Fr) Process for determining the nature of the subsoil by the aid of electricity // United States Patent, № 1163468. 1913.