

УТОЧНЕНИЕ СЕЙСМИЧНОСТИ ПЛОЩАДКИ ЧАВЫЧА НА ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА ПЕТРОПАВЛОВСКА-КАМЧАТСКОГО

Константинова Т.Г.¹, Бубнов А.Б.²

¹*Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г. Петропавловск-Камчатский, lrg334@emsd.ru*

²*Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга, г. Петропавловск-Камчатский*

Введение

Представленный материал является результатом проведения геофизических работ в 2012 г., включающих в себя сейсморазведочное и электроразведочное профилирование на площадке очистных сооружений «Чавыча» в микрорайоне Моховая. Для определения реакции грунтов на сильные землетрясения выполнено математическое моделирование с расчётом акселерограмм, спектров Фурье и частотных характеристик исследованных грунтов.

Геологическое строение участка работ

Территория района исследований расположена на выровненной вершинной поверхности Петропавловского горста и представляет собой слабо всхолмленную аккумулятивную поверхность, сформированную накоплением техногенных, делювиально-пролювиальных отложений, накопившихся на речных террасах, врезанных в склоны горста. Делювиальные отложения представлены: щебенистыми грунтами - с песчаным заполнителем средней крупности 5-40 %, средней степени водонасыщения, темно-серого цвета, с включением валунов андезитового состава; дресвяными отложениями с песчаным заполнителем средней крупности до 45 %, средней степени водонасыщения, темно-серого цвета, с включением валунов андезитового состава; песком дресвяным, серого цвета, средней плотности, средней степени водонасыщения. Современные почвенно-пирокластические отложения голоценового возраста (почвенно-пирокластический чехол) представлены супесью дресвяной, коричневого цвета, пластичной, и супесью макропористой, бурого цвета, пластичной. Техногенные отложения представлены насыпными грунтами, которые залегают практически на всей территории участка; их мощность меняется от 0.5 до 5.4 м. Пролувиальные отложения представлены супесями и песками, имеющими подчиненное значение в разрезах скважин. Залегают они среди крупнообломочных грунтов и являются остатками пролювиальных отложений временных водотоков. На большей части территории породы вулканогенного комплекса перекрыты техногенными отложениями и подстилаются скальными отложениями.

Гидрогеологические условия

Анализ отметок высоты залегания уровня грунтовых вод позволил сделать вывод о том, что на рассматриваемой территории имеются два горизонта подземных вод различного происхождения. Грунтовые воды приурочены преимущественно к пескам и дресвянистым отложениям, в меньшей мере – к щебенистым грунтам с повышенным содержанием песчаного наполнителя. В зоне элювия обводнены те участки разреза, где щебенистые отложения содержат линзы и прослойки песка. Воды порового типа, питание их происходит инфильтрационным путем, и распространены они на всей территории участка. По данным электроразведочных работ на профилях 1 и 2 глубина залегания уровня грунтовых вод составляет 6.1 – 10.8 м. Верховодка формируется в проницаемых толщах осадочных пород в приповерхностной части разреза. Она сформировалась на участке залегания супесей дресвянистых в западном борту иловых полей. В феврале 2011 г. в керне скважины С-211 на глубине 2.5 м была описана дресвяная супесь текучая с остатками растений, водонасыщенность которой была объяснена им как следствие утечек из иловых карт. Здесь же, на профиле 3, глубина залегания водоносного горизонта составляет 2.7 – 6.1 м. Питание верховодки смешанное – за счет инфильтрации атмосферных осадков и утечек из иловых карт. Вероятно, происходит переток воды из верховодки на большие глубины с последующей скрытой разгрузкой в сеть трещин в скальном основании. При обследовании берега наблюдается источник, представляющий собой зону высачивания. В периоды ливней и снеготаяния расход воды увеличивается.

Методика инженерно-геофизических исследований

Уточнение сейсмичности площадки проводилось с помощью сейсморазведочного метода КМПВ и электроразведочного метода ВЭЗ. Выполнено математическое моделирование с расчётом

акселерограмм, спектров Фурье и частотных характеристик грунтов. В полевых условиях на исследуемой территории сейсмические свойства грунтов исследованы с помощью 10 сейсморазведочных профилей. Длина сейсморазведочных профилей составляла 57.5 и 115 м при шаге между приемными каналами (соответственно) 2.5 и 5 м. Для уточнения волновой картины и повышения глубины исследований использованы выносные пункты возбуждения ударов на расстояниях от 5 до 25 м.

Обработка сейсмограмм заключалась в корреляции первых вступлений продольных и поперечных волн, построении годографов этих волн, определении скорости и мощности каждого слоя. При интерпретации годографов использовались программы RedExPro и GODOGRAF. На сейсмограммах было сложно выделить продольные и поперечные волны из-за наложения рефрагированных волн. По программе RedExPro при расстояниях между сейсмоприемниками 5 м на рассчитанных скоростных разрезах толща рыхлых отложений не разделена на отдельные инженерно-геологические слои, а выделены только две, реже три скоростные границы. Скоростной разрез, рассчитанный методом RedExPro, на сейсморазведочном профиле I, приведен на рис. 1.

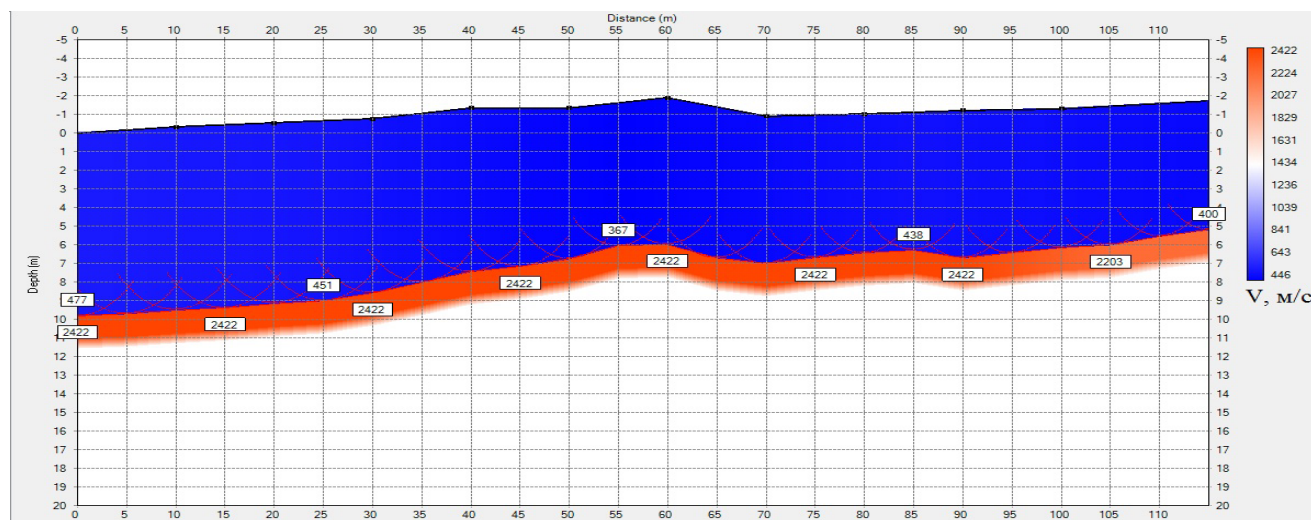


Рис. 1. Скоростной разрез продольных волн на профиле I (программа RedExPro)

Достаточно детально значения скоростей и глубин на данной площадке исследования рассчитаны по программе GODOGRAF. Программа GODOGRAF обращает систему годографов преломленных волн первых вступлений в двумерно-неоднородный скоростной разрез и позволяет представить разрез как поле изолиний скорости. Эта программа применима в тех случаях, когда среда близка к градиентной, и на сейсмограммах преобладают рефрагированные волны. В качестве входных данных использованы годографы вступлений первых волн - преломленных, рефрагированных или их совокупность. Эта программа обеспечивает точное вычисление скоростей распространения сейсмических волн и позволяет практически достоверно определять литологию отложений в изучаемом разрезе. Скоростной разрез продольных и поперечных волн, рассчитанный по программе GODOGRAF для сейсморазведочного профиля I, представлен на рис. 2.

Рассчитаны акселерограммы с возможными магнитудами $M=7.9$, $M=8.5$ и $M=9.0$ для глубин сейсмоактивного слоя 0-50 км и 60-150 км, построены спектры Фурье и частотные характеристики грунтов на исследуемой площадке. На основании расчётных акселерограмм и спектров Фурье также определены приращения сейсмической интенсивности по математическому моделированию с использованием программы MTCSEM1. Выполненные расчеты показали, что при возможных сильных землетрясениях сейсмическая интенсивность на исследуемых грунтах не превысит 9 баллов. Наблюдаются резонансные периоды рыхлых грунтов на периодах 0.13 – 0.20 сек. Приращения сейсмической балльности за счет возможного явления резонанса ($\Delta I_{рез}$), определенные по расчетным частотным характеристикам грунтов, могут достигать до 0.7 балла. На исследуемой площадке не рекомендуется возводить здания и сооружения с периодами собственных колебаний 0.13 – 0.20 сек. во избежание явления резонанса грунт-сооружение. Увеличение значения приращений сейсмической интенсивности по математическому моделированию обусловлено влиянием резонансных явлений на периодах ≤ 0.2 сек.

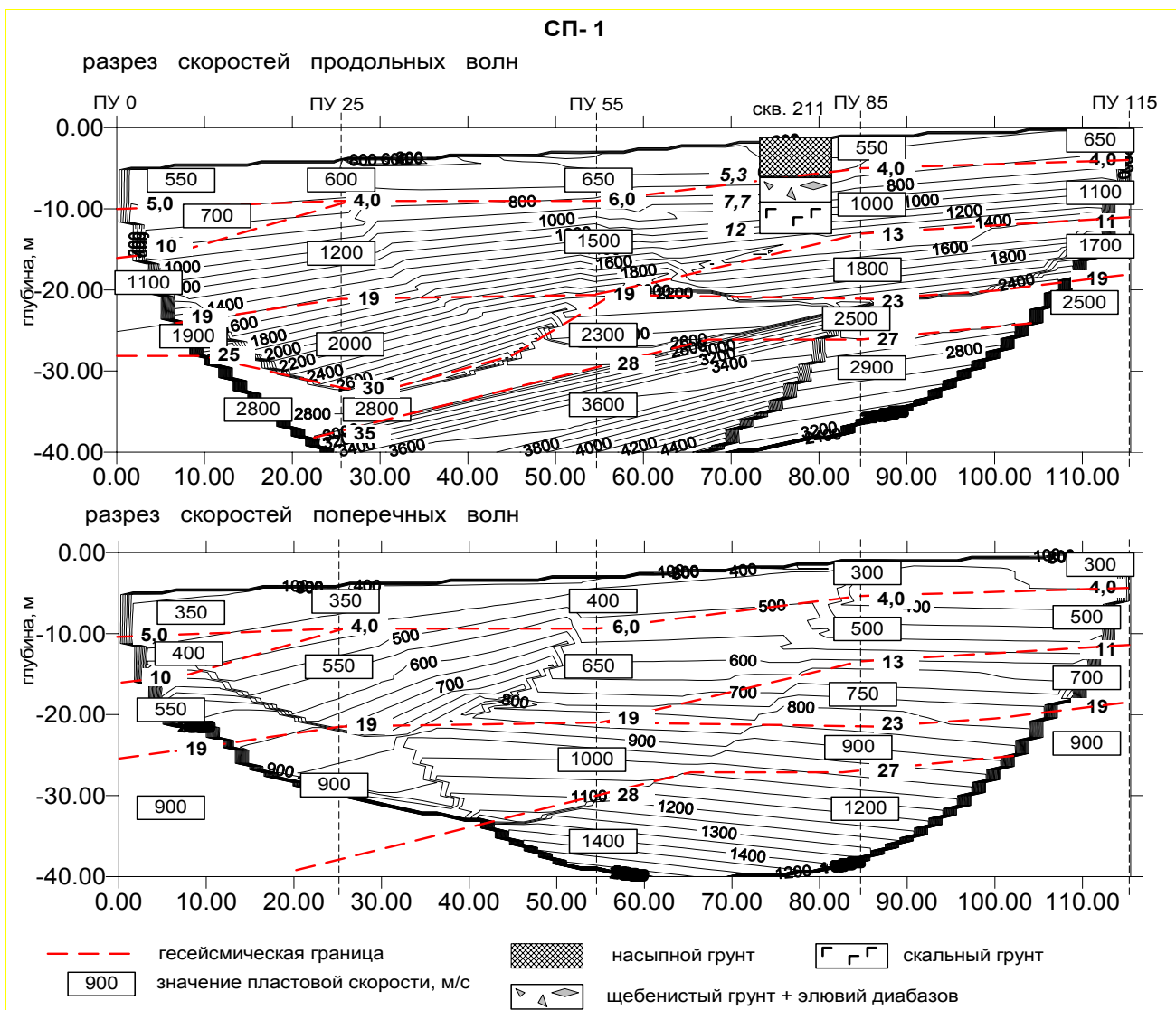


Рис. 2. Скоростной разрез продольных и поперечных волн на профиле I (программа GODOGRAF)

Результаты обработки и интерпретации ВЭЗ

Обработка экспериментальных кривых ВЭЗ, построение модели разрезов было осуществлено в программе IPI2WIN. Расхождение теоретических с фактическими кривыми не более 7%. Полученные теоретически кривые ВЭЗ представлены в виде геоэлектрических разрезов.

На профилях 1 и 2 по геоэлектрическим разрезам выделены комплексы со следующими параметрами удельного электрического сопротивления $\rho_{уд}$:

1. $\geq 1500 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ – слой сезонно мерзлотного промерзания;
2. $250\text{-}350 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ – диабазы, дресвяный и щебнистый грунт с глыбами и валунами;
3. $\leq 50 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ – обводненные участки.

Слой сезонно-мерзлотного промерзания в верхней части геоэлектрических разрезов характеризуется высокими значениями $\rho_{уд}$. Мощность этого слоя варьирует в пределах от 1 до 1.5 м. Выделение остальных границ затруднено, так как геологические слои имеют схожие характеристики по сопротивлению из-за наличия глыб и валунов андезитового и диабазового состава. Это дает повышенные значения сопротивления в нижележащих слоях (рис. 3, 4). Такая же обстановка характерна и для профиля 3 (рис.5).

Анализ аномальных участков геоэлектрических разрезов, на которых $\rho_{уд}$ принимает минимальные значения, указывает на отсутствие в разрезе грунтовых вод до глубин 10 м, что так же подтверждается материалами буровых работ. По полученным полевым кривым кажущегося сопротивления ρ_k и построенным геоэлектрическим разрезам уровень грунтовых вод на профиле 1 выделяется на глубине около 12-16 м и на профиле 2 - 12-14 м.

Профиль 3 был расположен на насыпи вдоль иловых полей с целью обнаружения утечек.

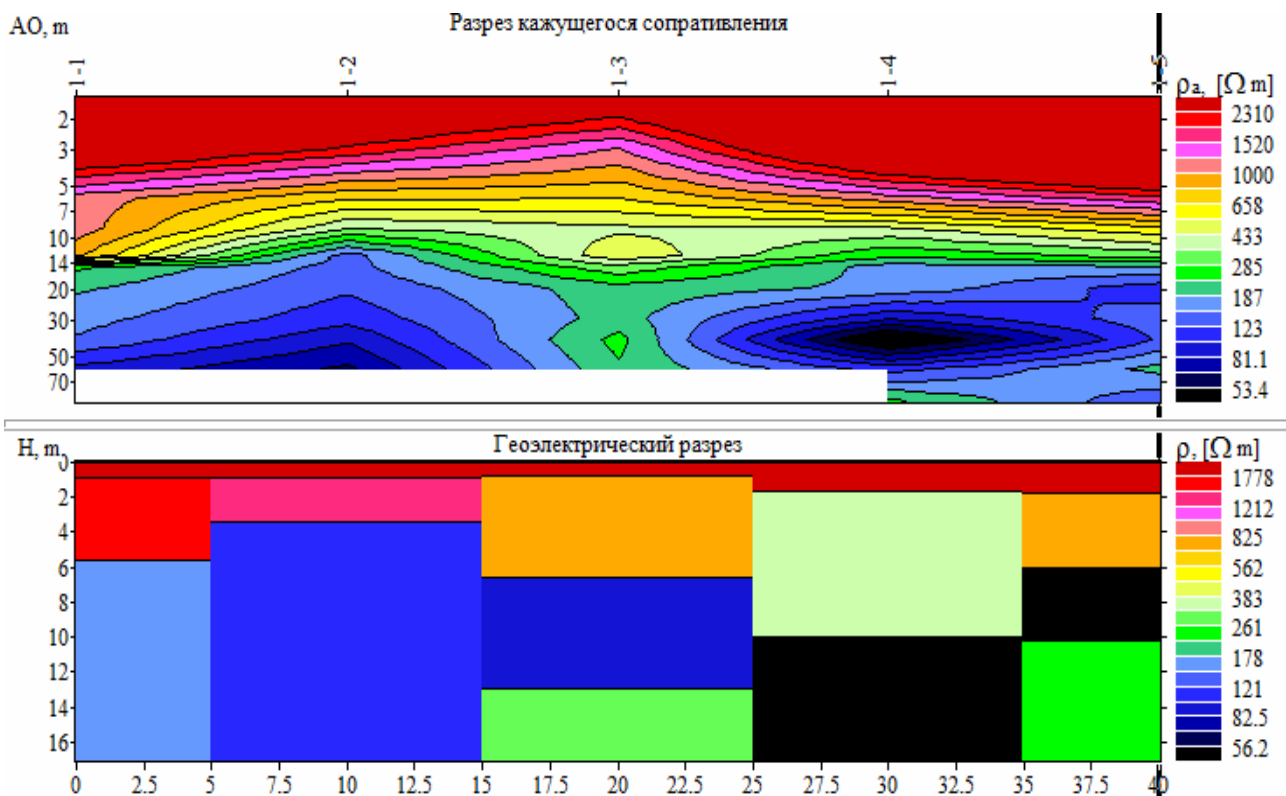


Рис. 3 Разрезы кажущихся сопротивлений ρ_k и геоэлектрические разрезы (профиль 1)

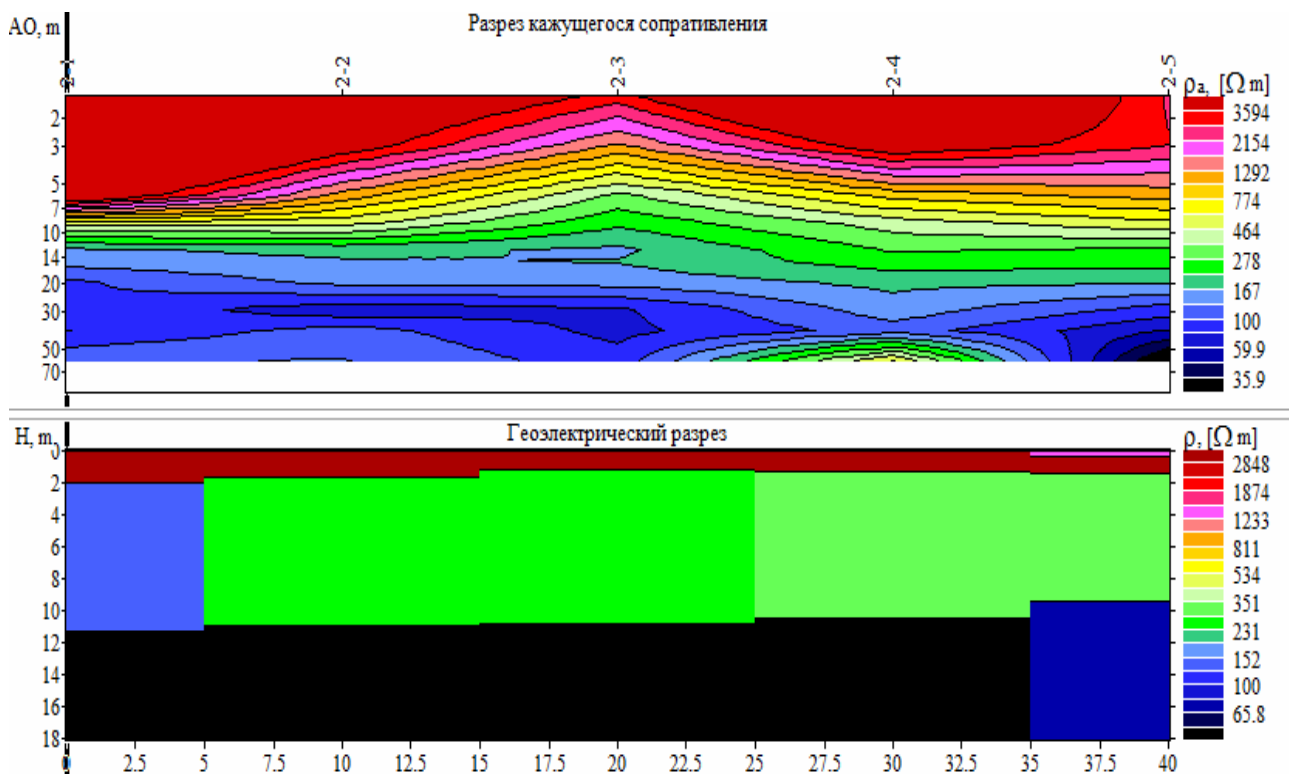


Рис.4. Разрезы кажущихся сопротивлений ρ_k и геоэлектрические разрезы (профиль 2)

На втором пункте наблюдения профиль проходит через скважину № 211. В соответствии с геоэлектрическим разрезом выделены основные комплексы со следующим значениями $\rho_{уд}$:

1. $\geq 1000 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ - верхняя часть разреза (насыпной грунт), щебнистый грунт с песком до 30% с включением крупных обломков андезитового состава, мощность слоя 2 – 2.5 м.
2. 50 - 200 $\text{ Ом}\cdot\text{м}$ – обводненные участки, супесь дресвяная с прослоями песка (50-100 $\text{ Ом}\cdot\text{м}$), почвенно-растительный слой, щебнистый грунт с прослоями песка (150-200 $\text{ Ом}\cdot\text{м}$).

3. 250 - 500 Ом·м – дресвянный и щебнистый грунт с глыбами и валунами, элювий выветрелых диабазов разрушенных до щебнистого грунта. Кровля данного слоя прослеживается от 7 м на 6 пикете до 16 м на 1 пикете.

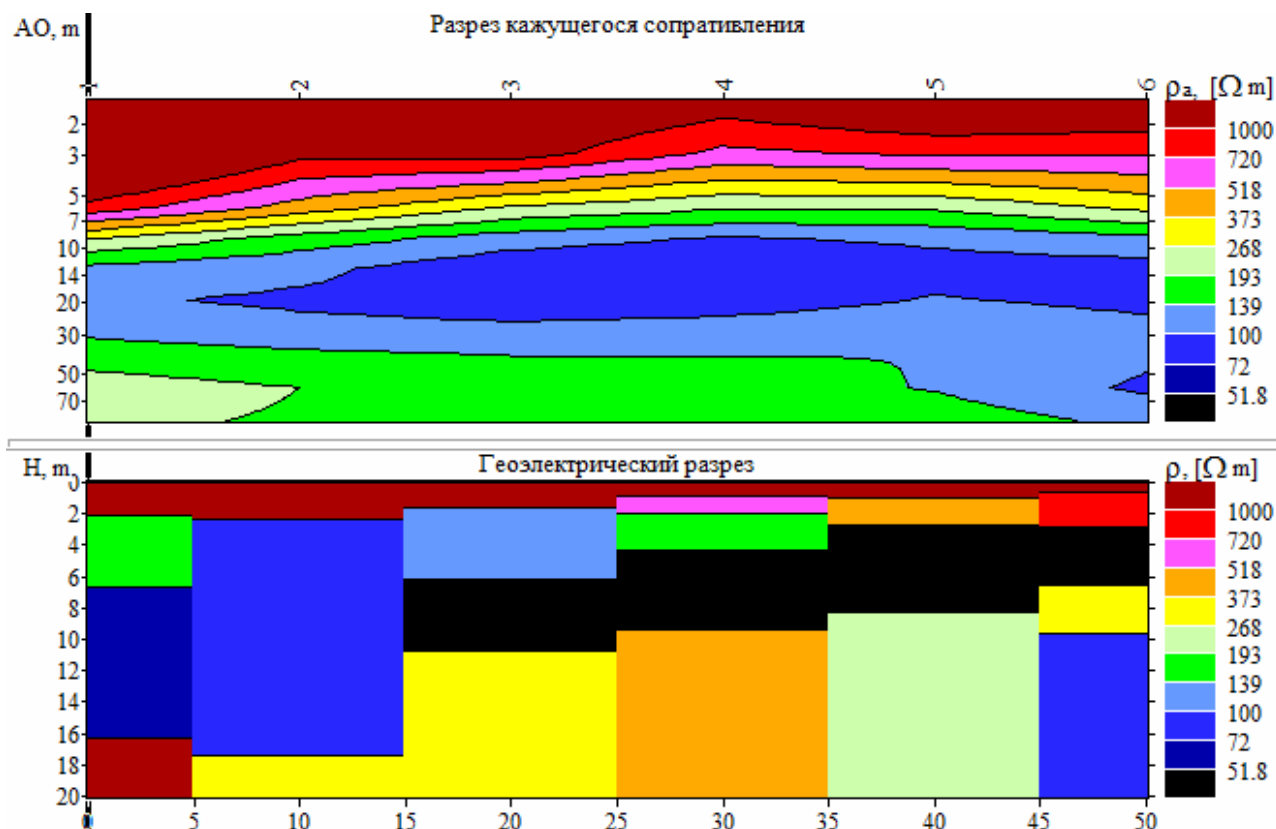


Рис.5 Разрезы кажущихся сопротивлений ρ_k и геоэлектрические разрезы (профиль 3)

Таким образом, в соответствии с полученным геоэлектрическим разрезом третий слой является сильно выветрелым и разуплотненным (250-500 Ом·м) до глубины 20 м. Кроме того, на 1, 2 и 3 пикетах наблюдаются пониженные значения удельного сопротивления, что является результатом утечки воды с иловых полей.

Заключение

На изученной площади сопоставлены геологические колонки скважин и сейсмические разрезы. Обнаружено, что по сейсморазведочным данным не всегда можно выделить слои, идентичные описанным по керну. К примеру, в керне слои диабазов имеют различную раздробленность, что затрудняет отнесение их к скале трещиноватой, разборной, рыхляку или элювию. По данным сейсморазведочных работ достаточно уверенно разделены слабо трещиноватые породы и менее плотные. Результаты бурения скважин дают более надежные результаты в части тонкого расчленения строения рыхлых толщ. По данным сейсморазведки щебенистые грунты с песчаным заполнителем средней крупности 5-40 % и включением валунов андезитового состава могут быть объединены в единый сейсмогеологический горизонт вместе с перекрывающими их дресвяными грунтами того же состава; либо с нижележащим элювием диабазов. Анализ сейсморазведочных разрезов свидетельствует о том, что на всех сейсморазведочных профилях кровля скальных пород (прочные трещиноватые диабазы) выделяется на глубинах 18 - 23 м.

Грунтовые воды на участке работ залегают на глубине от 7 до 17 и более метров. Основными водоносными горизонтами являются пески и супеси делювиально-пролювиального происхождения, а также щебенистые грунты в тех случаях, когда в их разрезе присутствуют линзы и прослойки песков и супесей. В течение года происходит значительное изменение высоты залегания уровня грунтовых вод. На территории иловых полей происходит утечка воды.

Сейсмичность данной площадки - 9 баллов, за исключением северо-западной части участка в интервале от 10 до 50 м сейсморазведочного профиля 5 и от 0 до 25 м на профиле 6. На этих площадках сейсмичность увеличивается до 10 баллов. На участке между зданиями хлораторной и котельной приращение балльности $\Delta J = -0.5$ балла (сейсморазведочный профиль 9 на 42.5 – 57.5 м от начала профиля), что свидетельствует о сейсмичности этого участка в 8 баллов.

Рыхлые грунты подвержены явлению резонанса на периодах 0.13 – 0.20 сек. Приращения сейсмической балльности за счет возможного явления резонанса могут достигать до $\Delta J_{рез.} = 0.7$ балла. Во избежание этого необходимо строить здания и сооружения с периодами собственных колебаний более 0.2 сек.

Большая часть исследованной территории находится в 9 балльной зоне. При достаточном уплотнении рыхлых грунтов в районе 5 и 6 сейсморазведочных профилей сейсмичность этого участка можно понизить до 9 баллов.

При строительстве необходимо удаление насыпных грунтов, включая макропористые, иначе возможно сползание построек вниз по склону. Такая опасность существует на участках, где пройдены сейсморазведочные профили 1, 2, 6, 7 и 8.

Все приведенные данные показывают достаточно хорошую сходимость результатов расчетов приращений сейсмической интенсивности по различным методам и подтверждают достоверность полученных данных по сейсмическим воздействиям.