

УДК 624,131:577,4

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО –АНАЛИТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ЭКСПРЕСС-ИНТЕРПРЕТАЦИИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ РАЗРЕЗОВ НА ОПОЛЗНЯХ

Ю.Г. Алешин, И.А. Торгоев

Институт геомеханики и освоения недр НАН КР

Общие положения. Обработка и инженерно-геологическая интерпретация геофизических данных, полученных на геофизических профилях, осуществляется путём последовательного, стадийного решения следующих задач:

-формирование априорной физико-геологической модели разреза (ФГМА) на основании общего геологического изучения горного склона или региона (инженерно-геологические изыскания для строительства, гидрогеологическая съемка, разведка полезных ископаемых и др.);

-обучение системы интерпретации на опорных участках комплексных исследований (прямая задача геофизики);

-формирование апостериорной физико-геологической модели разреза (обратная задача геофизики).

Экспресс-интерпретация проводится сразу после получения геофизических данных на профиле до завершения изысканий на оползневом склоне, что обеспечивает возможность получения дополнительных данных, уточняющих или подтверждающих достоверность инженерно-геологического разреза на наиболее сложных его участках. Основным результатом экспресс-интерпретации является формирование инженерно-геологического разреза

оползневого склона вдоль изученного геолого-геофизического профиля, представляющего исходную информацию для расчета показателей оползневой опасности:

- геолого-литологический состав пород с указанием границ слоёв и крупных включений, в том числе смещенных скальных блоков, углов падения границ;

- состояние консистенции глинистых разностей грунтов;

- уровень грунтовых вод;

- важнейшие физико-механические свойства литологических разностей – плотность, сцепление, угол внутреннего трения;

- сейсмическая балльность участка горного склона;

- состояние трещиноватости грунтов дневной поверхности;

Формирование априорной физико-геологической модели разреза.

Априорная физико-геологическая модель (ФГМа) разреза должна быть избавлена от излишней детализации, в обобщенном виде представлять информацию о геологической структуре горного массива на изучаемом горном склоне, взаимоположении различных литотипов грунтов и возможном диапазоне геофизических и физико-механических свойств грунтов, что позволяет оптимизировать геолого-геофизические комплексы, применяемые для изучения склона, и основные методические приёмы, определяющие детальность и глубинность исследования. Для оползневых склонов юго-западного Тянь-Шаня (ЮЗТ) следует выбирать одну или две-три ФГМа из следующего их перечня (рис.1).

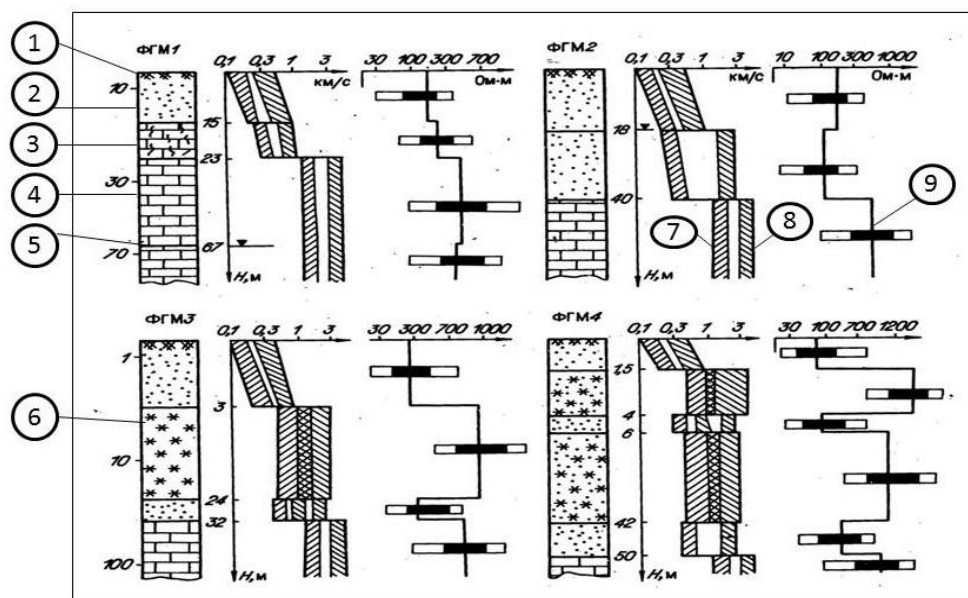


Рис.1. Физико-геологические модели верхней части разреза
оползнеопасных склонов ЮЗТ
(по В.Г.Вакромееву и др. [1] с изменениями).

1 – почвенно-растительный слой; 2 - рыхлые отложения; 3 – кора выветривания и зона разуплотнения коренных пород; 4- коренные породы; 5 – уровень грунтовых вод; 6-смещенные коренные породы; 7, 8 - графики изменения скоростей поперечных (7) и продольных (8) волн; 9 - графики и диапазон изменений на уровне двух стандартов удельного электрического сопротивления.

Первый тип ФГМа- трех-четырёхслойная среда- характерен для водораздельных частей оползне опасных склонов южной экспозиции. Модель соответствует делювиальным отложениям небольшой мощности, залегающим на дезинтегрированных породах юры, мела и палеогена, либо на корах выветривания этих пород. Для этой модели характерны трещинно-грунтовые и трещинно-карстовые воды зоны выветривания; глубина их залегания в основном определяется дренирующим влиянием ручьев и малых рек основного речного бассейна, интенсивностью пополнения ресурсов преимущественно за счет снегового питания ранней весной. Консистенция глинистых грунтов четвертичного чехла- твердая и полутвердая, величина сцепления C от

0,03 до 0,1 МПа, угла внутреннего трения φ от 27 до 33 град, плотность Δ от 1,38 до 1,65 т/м³.

Закономерности изменения скоростей упругих колебаний и удельных электрических сопротивлений, которые в общем случае увеличиваются с глубиной, определяются литологическим составом, состоянием пород и их влажностью. Разрез рыхлых и глинистых пород геофизически слабо дифференцирован вследствие близких и перекрывающихся в широких пределах значений сопротивлений и скоростей продольных и поперечных волн, характеризующих различные литологические разности. Скачок скоростей и величин УЭС наблюдается при переходе границы покровных отложений и коренных пород (однонаправленно в сторону увеличения), а также при пересечении границы водоносного слоя (разнонаправленно – увеличение скорости v_p и снижение УЭС).

Второй тип ФГМа- трехслойная среда- аппроксимирует инженерно-геологические разрезы в нижних и средних частях склонов и приурочены либо к речным террасам второго и третьего ярусов, либо к мощным отложениям разновозрастных суглинков (бассейны рек Кугарт, Чангет). Уровень грунтовых вод залегает на глубине от 3 до 25 м, водоупором служит кровля либо более древних плотных суглинков, глин с включением гальки, гравия и щебня, либо заглинизированных коренных пород. На литологических границах геофизические параметры изменяются скачком, при этом хорошо выделяется прослой обводненных пород пластичной и текучепластичной консистенции по чрезвычайно низкой величине УЭС ($\rho < 30$ Ом·м) и высокой скорости продольных волн ($v_p > 1300$ м/с).

Третий тип ФГМа- четырехслойная среда- распространен на оползневых склонах со смещенными блоками коренных пород в нижних частях склонов. Для моделей такого типа характерны инверсия физических свойств в нижнем рыхлом слое, по которому произошло

смещение скальных блоков. Этот слой обычно водонасыщен, грунт находится в текучепластичном состоянии. В верхней части разреза песчано-глинистые грунты разбиты системами трещин, физико-механические и геофизические характеристики не выдержаны. Вариация скоростей продольных волн и удельных электрических сопротивлений может достичь 100% и более.

Четвертый тип ФГМа- четырех-шести слойная среда- характерен для участков тектонических нарушений и древнеоползневых склонов, где нарушена типичная для региона слоистая структура горного массива, в мелкоземистую грунтовую массу глинистых пород, впаены обломки, глыбы и пакеты скальных пород. Кровля коренных пород как правило не выдержана. Пространственная разобщенность отдельных слоёв обуславливает множественную инверсию скоростных и электрических свойств пород по вертикали. Горизонт грунтовых вод также не выдержан, на отдельных участках эти воды имеют слабый напорный характер.

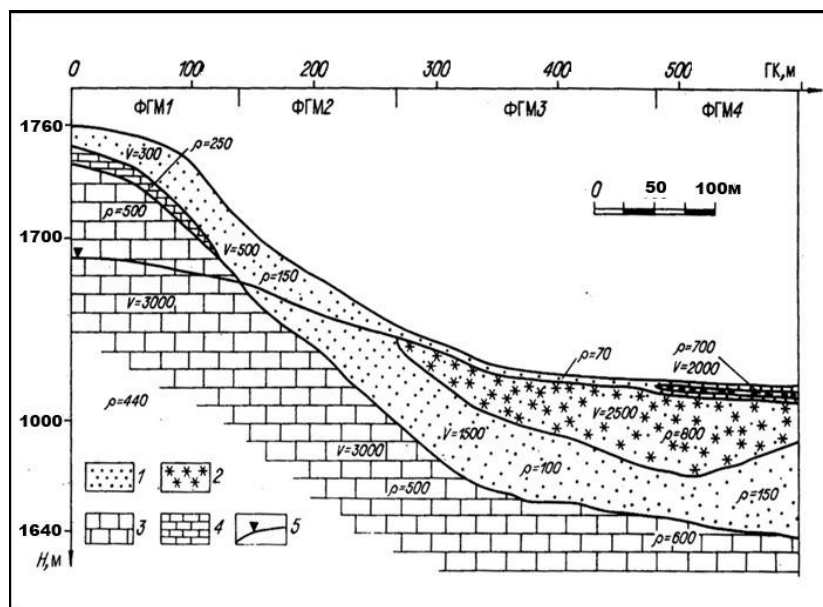


Рис. 2. Модельный геолого-геофизический разрез оползнеопасного склона (по В.Г.Вакромееву и др. [1] с изменениями).

1 - рыхлые отложения; 2 – смещенные коренные породы; 3 - коренные породы; 4 - кора выветривания; 5 - уровень грунтовых вод.

По указанным выше типичным для ЮЗТ ФГМа на рис.2. представлен сводный априорный модельный разрез оползневого горного склона. Этот модельный разрез является исходным для уточнения в процессе интерпретации геофизических разрезов, полученных по результатам изысканий на изучаемом склоне.

Обучение системы интерпретации на опорных участках комплексных исследований. На опорных участках осуществляется проходка горных выработок (буровых скважин, шурфов, канав, расчисток стенок и обнажений и др.) с отбором, испытанием образцов горных пород и получением структурно-литологической характеристики, состояния и свойств пород, залегающих в ближайшей окрестности выработки. Вслед за проходкой горной выработки производится геофизическое опробывание горного массива одним или несколькими методами: электро-ультразвукового каротажа по стенке выработки, вертикального сейсмического просвечивания (ВСП), КМПВ (РВ) и ВЭЗ на коротких взаимно ортогональных профилях с центром в устье выработки. При этом получают геофизические разрезы на глубину не менее глубины проходки выработки.

Обучение решению задачи геолого-литологического расчленения горного массива производится путём сопоставления геолого-литологической колонки по геологическому описанию выработки и геофизического разреза, построенного на основании априорных ФГМа как это показано на рис.3. При этом производится корректировка модели ФГМа на интервалах (глубинах) несоответствия, а также корректировка алгоритма распознавание литотипа грунта. Например,

Интервал опро- бывания	По данным буровых работ	По данным лабораторных испытаний				Геофизические данные			По данным сети PNN № 19	
			w, %	J _L , отн.ед.		ρ, Ом·м	V _p , м/сек	K, отн. ед.		
0 — 0,6	ПРС, <u>Sug</u> W0	<u>Sug</u> W0	5	меньше 0			260	250	0.51	<u>Psk</u> W0
	ПРС, <u>Sug</u> W0	<u>Sug</u> W0	9				200	300	0.53	<u>Psk</u> W0
0,6 — 5,5	<u>Sug</u> W0	<u>Sug</u> W0	19	меньше 0			150	350	0.54	<u>Sup</u> W0
	<u>Sug</u> W0	<u>Sug</u> W0					100	300	0.46	<u>Sup</u> W0
5,5 — 6,2	<u>Sug</u> W0	<u>Sug</u> T W0	19	меньше 0			50	400	0.45	<u>Sup</u> W0
	<u>Sug</u> W0	<u>Sug</u> T W0					40	400	0.3	<u>Gln</u> W0
	<u>Sug</u> W0	<u>Sug</u> T W0					50	460	0.25	<u>Gln</u> W0
6,2 — 11,0	<u>Sug</u> W0	<u>Sug</u> T W0	20	меньше 0			40	500	0.2	<u>Gln</u> W0
	<u>Sug</u> W0	<u>Sug</u> T W0					30	600	0.2	<u>Gln</u> W0
11,0 — 13,0	<u>Sug</u> W0	<u>Sug</u> T W0	19	≈ 0			15	800	0.2	<u>Gln</u> W0
	<u>Sug</u> W0	<u>Sug</u> T W0					20	700	0.23	<u>Gln</u> W0
13,0 — 14,0	<u>Sug</u> W0+ <u>Sup</u> W1	<u>Sug</u> T W0	19	≈ 0			8	1300	0.18	<u>Gln</u> W0
14,0 — 15,7	<u>Sug</u> W0+ <u>Sup</u> W1 + <u>Psk</u> Mz W1	<u>Sug</u> W0 + <u>Sup</u> W1	22	0.28			6	1200	0.15	<u>Gln</u> W0
	<u>Sug</u> W0 + <u>Sup</u> W1 + <u>Psk</u> Mz W1						4	1300	0.15	<u>Gln</u> W0
15,7 — 20,0	<u>Sug</u> W0 + <u>Sup</u> W1 + <u>Psk</u> Mz W1	<u>Sug</u> W1 + <u>Sup</u> W1	22	0.25			3	1300	0.15	<u>Gln</u> W0
	<u>Sug</u> W1 + <u>Sup</u> W1 + <u>Psk</u> Mz W1						2	1400	0.15	<u>Sup</u> W1
20,0 — 23,4	<u>Sug</u> W1 + <u>Sup</u> W1 + <u>Psk</u> Mz W1	<u>Sug</u> W1 + <u>Sup</u> W1	24	0.33			1,8	1500	0.12	<u>Sug</u> W1
	<u>Sug</u> W1 + <u>Sup</u> W1 + <u>Psk</u> Mz W1						2	1400	0.15	<u>Sup</u> W1
23,4 — 30,0	<u>Sug</u> W1 + <u>Sup</u> W1 + <u>Psk</u> Mz W1	<u>Sug</u> W1 + <u>Sup</u> W1 + <u>Psk</u> Mz W1	25	0.5			2	1500	0.13	<u>Sup</u> W1
							3	1600	0.12	<u>Sup</u> W1
							4	1550	0.11	<u>Sup</u> W1
30,0 — 50,0	—	—	—	—			5	1600	0.12	<u>Sup</u> W1
							6	1550	0.13	<u>Sup</u> W1
							7	2000	0.07	<u>Gln</u> W1
							3	2100	0.1	<u>Gln</u> W1

Примечание: Sup-супесь, Sug-суглинок, Psk-песок, Gln-глина, Wo- зона аэрации, Wl-обводнение

Рис. 3. Соответствие данных геофизического опробования массива и результатов опорного бурения

если прогноз литологического состава песчано-глинистых грунтов осуществляется с использованием треугольника Ферре, то изменяют координатные масштабы геофизических показателей (рис.4.) для получения апостериорного алгоритма распознавания, адекватно отражающего свойства конкретного участка или территории.

Обводненные горизонты песчано-глинистых грунтов распознаются довольно надежно по скоростному критерию: $1300 \leq v_p \leq 2000$ м/с, и одновременно $v_s/v_p \leq 0,15$. Практически однозначное решение об обводнённости песчано-глинистых грунтов принимаема при условии $v_s/v_p \leq 0,1$.

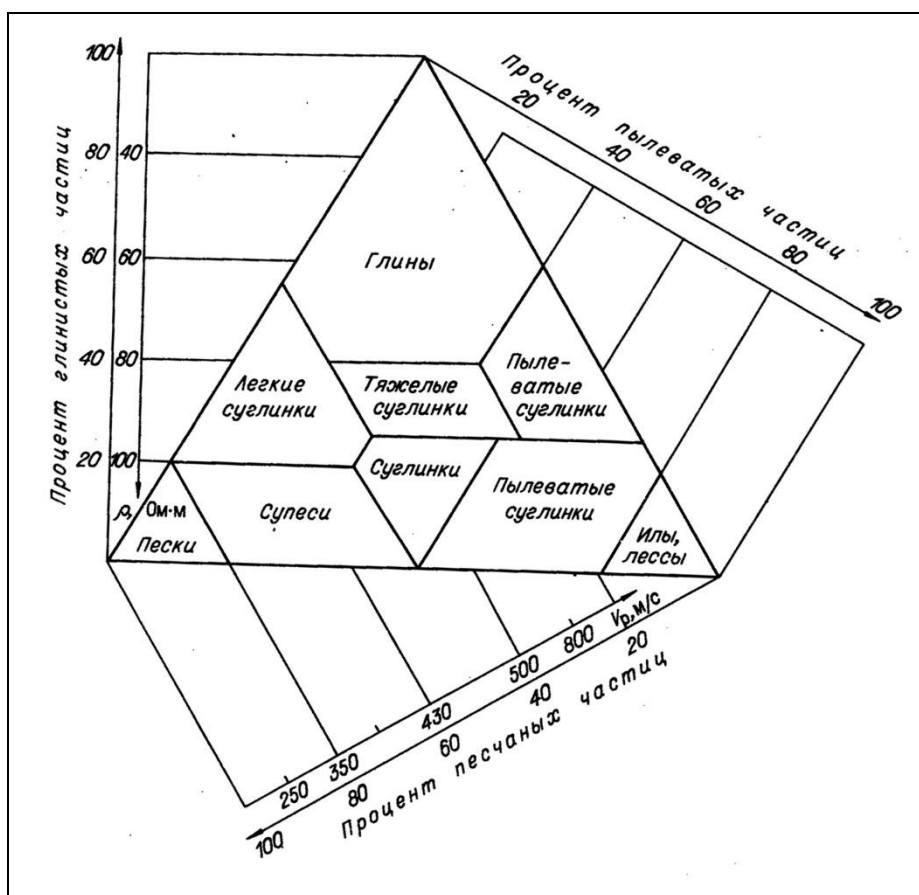


Рис. 4. Номограмма определения литологического состава пород песчано-глинистого слоя по геофизическим данным (по Г.С.Вахромееву и др. [1])

Оценка физико-механических характеристик литологических разностей грунтов производится путем прямого сопоставления с каждой

разностью оценок, полученных при испытаниях образцов. При этом производится усреднение данных, выделение интервалов глубин, характеризующихся определенной величиной и вариацией свойства. Тем самым осуществляется подразделение каждой литологической разности на инженерно-геологические элементы (ИГЭ). Граничное значение x_r свойства x определяется соотношением:

$$x_r = \overline{x_{k1}} - K\sigma_1 = \overline{x_{k2}} + K\sigma_2, \quad (1)$$

где: $\overline{x_{k1}}$ и $\overline{x_{k2}}$ - средние значения свойства x двух подлежащих разделению ИГЭ;

σ_1 и σ_2 - среднеквадратичные отклонения этих величин;

$K = \frac{\overline{x_{k1}} - \overline{x_{k2}}}{\sigma_1 + \sigma_2} \geq 1,3$ - условия разделения литологической разности на два ИГЭ.

Прямая оценка любой физико-механической характеристики осуществляется на основе использования и корректировки априорных регрессионных зависимостей. При этом процедура корректировки заключается в уточнение коэффициентов и параметров взаимосвязей с сохранением общей тенденции этой связи (линейная, нелинейная корреляционная связь, экспоненциальная, полиномиальная и др. линии тренда). Ниже на конкретном примере показана реализация этой процедуры: на рис.5. представлено описание буровой колонки, а на рис.6. и 7. геофизические разрезы пород на опорном участке.

Способ проходки: колонковое бурение диаметром 129мм							Скважина №1 (на пересечении профиля II-II x III-III) ВЭЗ Н = 690 φ 41°58'07,6" λ 73°35'12,7"			
Масштаб: 1:200										
Номер слоя	Геологический индекс	Глубина залегания, м		Мощность слоя, м	Литологический разрез		Описание пород	Уровень подземных вод, м		Группа ручной разработки по СНиП IV-5-82
		от	до					Появив. дата	Устан. дата	
	раQIII-IV							УПВ не вскрыт	25.05.2007	II
1		0.0	23.4	23.4	3.0 ■ 3.2 6.0 ■ 6.2 9.0 ■ 9.2 12.0 ■ 12.2 15.0 ■ 15.2 18.0 ■ 18.2 21.5 ■ 21.7	1. Суглинок лессовидный коричневого цвета, твердый, высокопористый, просадочный, с включением отдельных, мелких конкреций (глиняных) <5%, с глубины 6,0м с тонкими прожилками карбонатов (около 1 мм). Ниже 11,3 м суглинок полутвердый, с глубины 12,7м тугопластичный, низкопористый, непросадочный, в интервале 13,3-14,1м с прослойками и линзочками песка мелкого и средней крупности влажного. С глубины 14,1м -суглинок по консистенции ближе к мягкопластичному, низкопористый, непросадочный. В интервале 15,7-20,0м суглинок мягкопластичный, серовато-коричневый, с тонкими прослойками и линзами песка (<1.5см) пылеватого, водонасыщенного. 2. Супесь лессовидная коричневатая-серая, пластичная, низкопористая, непросадочная, с тонкими прослойками и линзами (длиной 3 см) песка пылеватого , серого, водонасыщенного. 3. Суглинок лессовидный светло-коричневый, мягкопластичный, низкопористый, непросадочный, с тонкими прослойками и линзами (до 3 см) песка различной крупности.				
2		23.4	25.1	1.7	24.0 ■ 24.2 27.1 ■ 27.2					
3		25.1	30.0	4.9	29.8 ■ 30.0					
										II

Рис.5. Описание буровой колонки скважины №1 на опорном участке

В табл.1 приведены данные, полученные на одном из опорных участков. Физико-механические характеристики определялись двумя

Таблица 1.Оценки физико-механических свойств грунтов опорного участка, полученные двумя методами

Глубина h , м	Геотехнические испытания			Данные сейсмо- развед ки		Оценки свойств			Расхождение оценок, %			Примечание
	Δ т/м ³	C , МПа	φ , град	v_p км/с	v_p/v_s	Δ^* т/м ³	C^* , МПа	φ^* , град	δ_Δ	δ_c	δ_φ	Суглинок твердый
0,3±0,3	1,32	-	-	0,3±0,05	1,85	1,42	0,09	30	7,5	-	-	То же
3,1±0,1	1,75	0,03	22	0,35±0,05	2,22	1,46	0,07	27	-16,5	133	22,7	-----
6,1±0,1	1,81	0,07	24	0,4±0,06	4	1,49	0,037	13,5	-17,7	-47,1	-43,7	Суглинок тугопластичный
9,1±0,1	1,91	0,05	23	0,5±0,1	5	1,56	0,03	10	-18,3	-40,0	-56,5	Суглнокмягкопла стичный
12,1±0,1	1,97	0,03	25	0,8±0,1	5	1,71	0,03	10	-13,2	0	-60,0	То же с линзами мелкого песка
15,1±0,1	2,05	0,03	29	1,2±0,1	5,5	1,84	0,028	9	-10,2	-6,7	-69,0	
				Среднее					-11,4	7,84	-41,3	
				Среднеквадратичное отклонении					9,75	7,30	36,91	

Таблица 2. Оценка параметров уравнений регрессии по данным, полученным на оползневом участке

Глубина h , м	Геотехнические испытания			Данные сейсморазведки		Расхождение оценок, %			Параметры уравнения регрессии					
	Δ т/м ³	C , МПа	φ , град	v_p км/с	v_p/v_s	δ'_Δ	δ'_c	δ'_φ	a_Δ	b_Δ	a_c	b_c	a_φ	b_φ
0,3±0,3	1,32	-	-	0,3±0,05	1,85	-13,6	-							
3,1±0,1	1,75	0,03	22	0,35±0,05	2,22	8,5	-	10,6			0,234	-1,128		
6,1±0,1	1,81	0,07	24	0,4±0,06	4	-13,0	-28,5	3,7	2,039	0,233			15,81	0,274
9,1±0,1	1,91	0,05	23	0,5±0,1	5	9,47	-23,8	6,8						
12,1±0,1	1,97	0,03	25	0,8±0,1	5	2,03	0,8	-1,7						
15,1±0,1	2,05	0,03	29	1,2±0,1	5,5	-2,48	14,06	-13,05						
7,0	1,71	0,044	17,5	0,6	3,5	-5,9	29,5	27,30						
		Среднее				-2,14	-1,59	0,84						
		Среднеквадратичное отклонение				-9,4	24,67	14,74						

методами: путём испытания монолитов грунтов, поднятых из буровой скважины кернового бурения, и путем расчета по априорным корреляционным зависимостям с использованием результатов сейсмозондирования (СЗ).

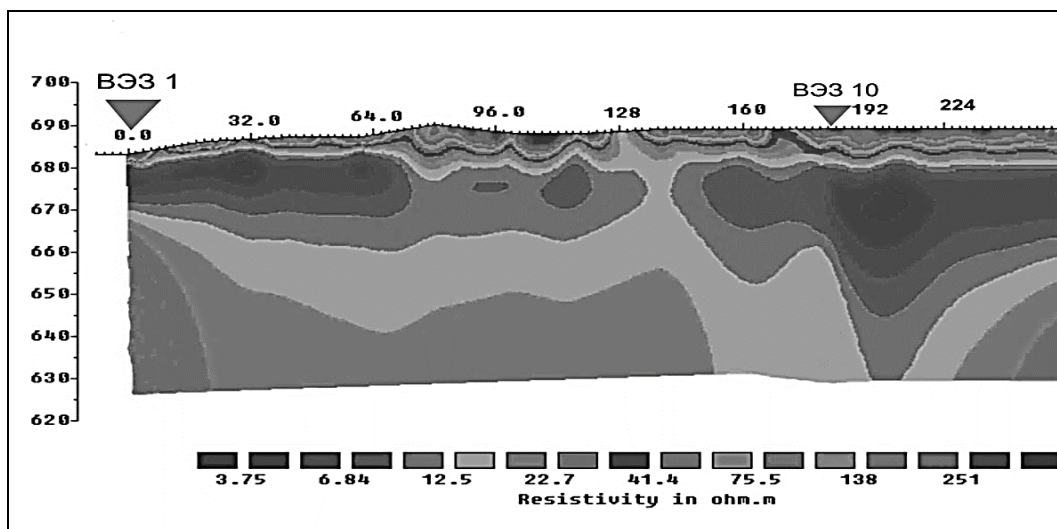


Рис.6. Геоэлектротомограмма горного массива профиля ВЭЗ на опорном участке

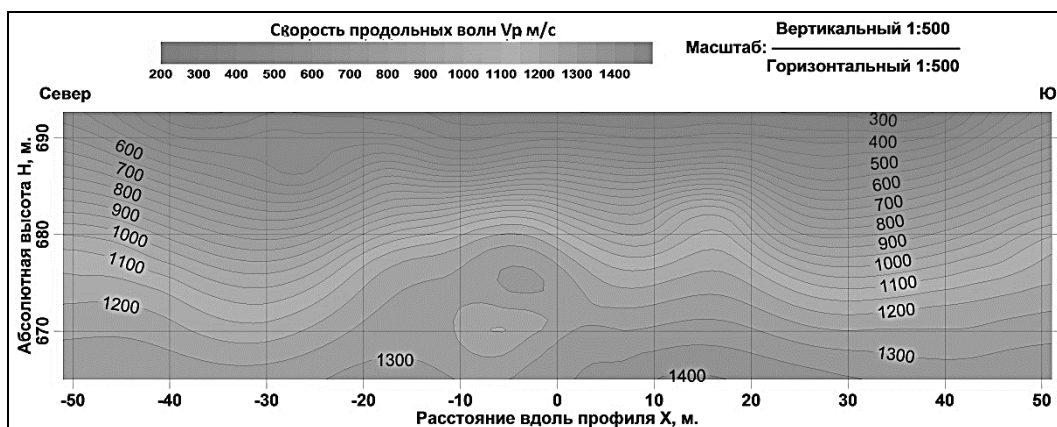


Рис.7. Сейсмотомограмма горного массива на опорном участке

Как видно из таблицы 1. применение априорных корреляционных уравнений приводит к недопустимо большим расхождениям оценка физико-механических свойств грунтов по данным сейсморазведки и прямых испытаний образцов совершенно неприемлемо наличие значительной систематической составляющей такого расхождения. Возникает необходимость корректировки решающего правила.

Корректировку решающего правила проводим на полученном выше экспериментальном материале путем регрессионного анализа

данных сейсморазведки и прямых геотехнологических испытаниях свойств грунтов. Уравнение регрессии ищем в виде степенной зависимости.

$y = ax^b$; (2), где: $y \equiv \Delta, C, \varphi$; $x \equiv v_p, v_p/v_s$ при этом вычисляют отклонения фактических данных от прогнозируемых по (2.). Соответствующие данные приведены в таблице 2. Откорректированное решающее правило позволяет дать оценку физико-механическим свойствам грунтов с несколько меньшим расхождением данных геотехнических и геофизических испытаний. При этом мы забраковали в ряду данных геотехнических оценок сцепления породы значение $C=0,03$ МПа на глубине $h=3,1$ м как явно ошибочное и связанное с наличием включений мелкой гальки в испытываемом образце грунта.

Для подтверждения достоверности оценок физико-механических свойств по геофизическим данным на основании откорректированных решающих правил вблизи геофизических профилей из обнажений на разной глубине были отобраны монолиты и проведены геотехнические испытания образцов грунта. Таким образом была получена контрольная выборка. Применяя откорректированное решающее правило (2) к участкам отбора монолитов, можно получить оценки этих же физико-механических свойств и расхождение с данными геотехнических испытаний. Средние и среднеквадратичные отклонения в контрольной выборке не должны значительно отличаться от таких же данных обучающей выборки. В противном случае принимается решение о том, что контрольный участок представлен ИГЭ иного типа, нежели участок обучения и данные, полученные при испытаниях грунтов в его пределах, не могут быть объединены в одну совокупность и описаны одной закономерностью.

В случае однородности двух выборок производится их объединение в одну и окончательная корректировка решающего

правила. В данном примере получены окончательно решающие правила в следующем виде:

$$\Delta = 1,9518 \cdot v_p^{0,1842}, \text{ Т/м}^3 \text{ при } R^2 = 0,6818, \delta = \pm 6,5\%, v_p \text{ в км/с, (3)}$$

$$C = 0,7612 \cdot (v_p/v_s)^{-2,076}, \text{ МПа при } R^2 = 0,732, \delta = \pm 37,0\%, (4)$$

$$\varphi = \begin{cases} 35,553(v_p/v_s)^{-0,288}, \text{ град при } R^2 = 0,582, \delta = \pm 9,0\%, \text{ для суглинков,} \\ 15,81(v_p/v_s)^{0,2739}, \text{ град при } R^2 = 0,3053, \delta = \pm 13,44\%, \text{ для суглинков} \\ \text{с линзами тонкого песка,} \end{cases} (5)$$

где: R^2 - коэффициент детерминации; δ - относительное среднеквадратичное расхождение с данными геотехнических испытаний.

Решение обратной задачи геофизики. Кровля коренных пород однозначно идентифицируется при $v_p \geq 2500 \text{ м/с}$ (рыхлая кора выветривания), $v_p \geq 3000 \text{ м/с}$ (верхнемеловые песчаники, алевролиты, конгломераты юры и мела, палеозойские сланцы), $v_p \geq 4000 \text{ м/с}$ (известняки палеогена и карбона, изверженные породы); во всех случаях $v_p/v_s = 1,67 \dots 2,0$, а при обводнении пород $v_p/v_s = 2,0 \dots 2,5$.

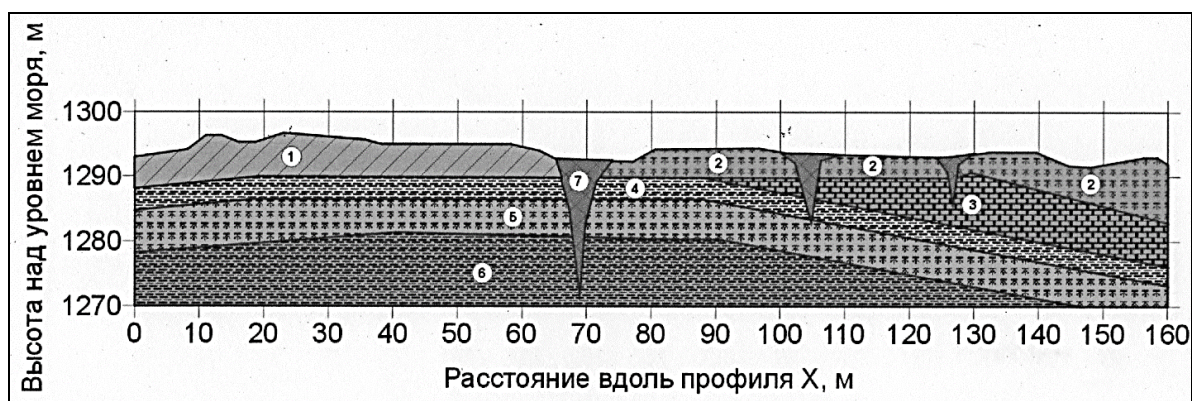


Рис.8. Поперечный геологический разрез второй оползневой террасы

Условные обозначения: 1 - суглинок лессовидный, смещенный; 2 - делясивные отложения; 3 - песчаник, верхнемеловая свита; 4 - алевролит, верхнемеловая свита; 5 - рыхлая полосчатая свита верхнемеловых алевролитов и песчаников; 6 - алевролит плотный; 7 - эрозионные врезы, заполненные обвалью - оползневой массой

Линия предполагаемого скольжения покровного чехла идентифицируется на комплексном геофизическом разрезе по следующим показателям грунтов: скорость продольных волн $1400 \leq v_p \leq 2100 \text{ м/с}$, отношение скорости $v_p/v_s > 4,5$, удельное электрическое сопротивление $\rho \leq 20 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ при минерализации грунтовых вод $\mu < 0,1 \text{ г/л}$ и $\rho \leq 10 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ при $0,1 < \mu < 1,0 \text{ г/л}$.

Детальное геолого-литологическое расчленения горного массива в разрезе вдоль геофизического профиля осуществляется с использованием нейросетевой компьютерной технологии по методике, предложенной в ряде наших работ, например[2,3].

Графическое представление инженерно-геологического разреза осуществляется в программе Surfer при оптимальном выборе параметров пространственной фильтрации. Пример такого представления показан на рис.8, к которому должна прилагаться таблица физико-механических свойств пород геолого-литологических слоёв.

ЛИТЕРАТУРА

1. Физико-геологическое моделирование верхней части разреза зазор/Вахромеев Г.С, Павлов О.В., Джурик В.И., Дмитриев А.Г.- Новосибирск: Наука. Сиб. отд. 1989. 129с.
2. Алёшин Ю.Г. Нейросетевой синтез оптимальных геофизических комплексов в гидрологии // Геология и охрана недр, 3(32), 2009-с. 60-66.
3. Алёшин Ю.Г. Нейросетевая технология акустической дефектоскопии горных пород // Научно-технологическое обеспечение горного производства. Труды ИГД им. Д.А. Кунаева, т. 78, 2009-с. 20-27.