



УДК 550.834:551.242

ТЕКТОНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИНТЕРПРЕТАЦИИ РАЗРЕЗОВ ОГТ НА ПРИМЕРЕ ВОРОНЕЖСКОЙ АНТЕКЛИЗЫ

А.П.Тарков, К.Ю.Силкин

Воронежский государственный университет

Сейсмическими работами микро ОГТ в зоне влияния НВ АЭС установлены два вида тектонических дислокаций, осаждающих слоистую структуру осадочного чехла и верхней части фундамента: крутонаклоненные малоамплитудные сбросы скальвания, создающие блоковую структуру ВЧР, и будинаж жестких верхнедевонских отложений, обусловленный сдвиговыми напряжениями.

Деформационно-прочностные характеристики горных пород и тектонические дислокации внешних слоев земной коры асейсмических территорий

Не прекращаются дискуссии по проблемам образования тектонических дислокаций в разновозрастных отложениях асейсмических территорий докембрийских платформ. Доминируют представления о ведущей роли первичных вертикальных напряжений и движений земной коры, которые ассоциируются с эпейрогеническими колебаниями и изостатическим выравниванием крупных геоблоков литосферы в гравитационном поле Земли. Между тем, при выяснении природы и механизма тектонических движений во внимание не принимаются результаты натурных измерений напряженного состояния горных пород в рудниках, карьерах, скважинах [1]. Согласно этим измерениям, выполненным на различных территориях, однозначно установлено, что верхние слои земной коры, включая породы осадочного чехла на глубинах 2÷3 км, находятся повсюду в состоянии сильного горизонтального сжатия, достигающего 10÷30 МПа. Касательные напряжения в земной коре могут быть связаны с общим сжатием охлаждающейся Земли (гипотеза контракции), ротационными силами и, наконец, с горизонтальной трансформацией вертикальных движений, происходящих в неоднородной верхней мантии. По Хасту [2] среднее напряжение сжатия у поверхности Земли, близкое 10 МПа, с глубиной возрастает значительно сильнее, чем геостатическое давление, которое на 200 метровой глубине в кровле фундамента Воронежской антеклизы не превышает 5 МПа.

Деформации пород фундамента и осадочного чехла, включая рыхлые неводонасыщенные грунты ВЧР, происходят в результате действия вертикаль-

ных, горизонтальных и наклонных тектонических сил. Характер и интенсивность деформаций определяются природой и интенсивностью напряжений, их ориентировкой и физико-механическими свойствами пород и грунтов.

В супракрустальных породах фундамента зависимость между прилагаемыми напряжениями и деформациями близка к линейной. Исследования деформационных свойств изверженных пород показали, что линейная зависимость между напряжением и деформацией сохраняется, вплоть до момента разрушения [3]. Из этого следует, что при краткосрочных воздействиях тектонических сил в супракрустальных породах верхней части фундамента образования пластических деформаций с перемещениями крупных масс материала происходить не могло.

По нормативным данным [4] и результатам натурных измерений [1] для изверженных пород различного состава с ненарушенной структурой пределы прочности на одноосное сжатие и растяжение равны соответственно 100÷200 МПа и 5÷10 МПа. Супракрустальные породы в кровле фундамента, подвергавшиеся длительное время эрозии и находящиеся в напряженном состоянии, имеют пониженную прочность при воздействии тектонических сил. Установлено, что величина скальвающего напряжения в таких породах менее 10 МПа. Вероятность потери устойчивости и начало сдвигов в слоях осадочного чехла тем выше, чем больше соотношение между касательным и суммарным нормальным напряжениями [5].

$$\frac{\tau}{(\sigma + C + \rho h)}, \quad (1)$$

где τ – касательная составляющая внешней силы; σ – вертикальная составляющая внешней силы; C – силы сцепления частиц; ρh – геостатическая нагрузка. Предел прочности на одноосное сжатие и растяже-

ние полускальных литифицированных пород осадочного чехла на 1,0÷1,5 порядка меньше значений соответствующих параметров прочности неизменных супракристалльных пород фундамента [4]. Минимальная прочность на одноосное сжатие (0,5÷4,0 МПа) установлена для мела и мелоподобных пород.

Для уплотненных стратифицированных отложений девона и мезо-кайнозоя, наряду с линейной зависимостью между напряжениями и деформациями, нельзя исключать проявлений реологических процессов, приводящих к релаксации напряжений, к снижению предела прочности пород и их ползучести. Реологическими свойствами объясняются различные деформации в осадочном чехле и в приповерхностной части фундамента – аномальные ундуляции и изгибы слоев, локальные изменения их структуры и мощностей, несогласия внутри различных сейсмостратиграфических комплексов (ССК), вызываемые тектоническими напряжениями, действующими достаточно продолжительное время.

Прочностные свойства рыхлых неводонасыщенных пород и грунтов, образующих ВЧР, определяются испытаниями на сдвиг. В лаборатории измеряются углы внутреннего трения (φ) и сцепление частиц породы (C). Величина касательного напряжения скальвания (τ) для связанных и полусвязных рыхлых пород и грунтов ВЧР можно оценить по следующей формуле:

$$\tau = p \operatorname{tg} \varphi + C, \quad (2)$$

где C – не зависит от геостатического давления p и определяется текстурно-структурными свойствами породы или грунта, содержаниями в них глинистого материала. Так, для слабосвязных сухих покровных суглинков (гг Q_{II-III}), образующих поверхностный слой на водоразделах исследуемой территории, $C = 20 \div 30$ КПа. Для пластичных связных водноледниковых глин (f+glQ_I), подстилающих покровные суглинки в левобережной части территории, получены значения $C \approx 300$ КПа [4,6]. По нормативным данным углы внутреннего трения для суглинков и глин ВЧР близки 30° [5,4]. Это указывает на то, что разрушение нескальных слабосвязных и несвязных пород зоны аэрации может происходить при сдвиговых напряжениях, в два раза меньших геостатического давления. В случае сыпучих несвязных грунтов, когда сцепление отсутствует, величина предельного сдвигового напряжения определяется только углом внутреннего трения и глубиной их залегания.

В общем случае предел прочности грунтов зависит от геостатического давления, связности пород, содержания глинистого материала и скорости деформации. В [4] показано, что пределы прочности для малосвязных существенно песчаных грунтов в 4–5 раз меньше связных глинистых грунтов. Измерения деформаций, связанных с касательными напряжениями, проведенные в различных регионах, показали, что ориентировка наибольшего сжатия при-

близительно перпендикулярна простиранию тектонических линейных элементов. С ориентировкой трендов наибольшего сжатия совпадает максимальная анизотропия напряжений $\left(\frac{\tau_x}{\tau_y} < 0.5 \right)$ [1].

Оценку напряжений скальвания и связанных с ними деформаций проводят по скоростям современных вертикальных движений и градиентам этих скоростей, средняя величина которых зависит от продолжительности времени осреднения. По Гзовскому [7] градиент скорости вертикальных движений для асейсмических территорий древних платформ за последние 500–1000 лет оценивается около 10^{-6} лет⁻¹. Если считать, что градиент скорости вертикальных движений и скорость деформации коры одного порядка, а породы фундамента и осадочного чехла (за исключением ВЧР) обладают свойствами упругого тела, то скальвающие напряжения τ и соответствующие деформации ε связаны известным соотношением:

$$\tau = \mu \varepsilon = V_s^2 \rho \dot{\varepsilon} t, \quad (3)$$

где V_s – скорость поперечной волны; ρ – объемная плотность пород; μ – мгновенный упругий модуль сдвига; $\dot{\varepsilon} = \frac{d\varepsilon}{dt}$ – скорость деформации (год⁻¹), t –

временной интервал проявления тектонических скальвающих напряжений. Если породы коры относить к классу линейных стандартных материалов с возможным проявлением реологических свойств, то для оценки величины скальвающего напряжения предлагается соотношение из работы [8]:

$$\tau = \mu_{\infty} \left(\varepsilon + \dot{\varepsilon} \theta_{\sigma} \right) - \theta_{\varepsilon} \dot{\tau} = \dot{\varepsilon} \mu_{\infty} t + \dot{\varepsilon} \mu_{\infty} \Delta \theta \left(1 - e^{-t/\theta_{\varepsilon}} \right), \quad (4)$$

где μ_{∞} – статический модуль сдвига: $\mu_{\infty} = \mu \frac{\theta_{\varepsilon}}{\theta_{\tau}}$;

θ_{τ} , θ_{ε} – периоды релаксации на различных стадиях деформации породы, $\Delta \theta = \theta_{\tau} - \theta_{\varepsilon}$; $\dot{\tau}$, $\dot{\varepsilon}$ – скорости изменения напряжения и деформации соответственно.

Однако для определения τ по формуле (4) необходимо предварительно оценить статический модуль сдвига, изменяющуюся во времени вязкость пород и периоды релаксации на разных стадиях процесса деформации.

Характер и форма проявления тектонических дислокаций зависят от направления и интенсивности тектонических дислокаций, от механических свойств пород и от глубины (давления) их залегания. На сейсмических разрезах тектонические дислокации проявляются малоамплитудными крутыми сколами, внутриформационными несогласиями и т.д. В рельефе земной поверхности исследуемой территории (в основном по правобережным профилям) разрывным нарушениям, выделяемым на сейсмических разрезах, соответствуют узкие глубокие овраги и балки,

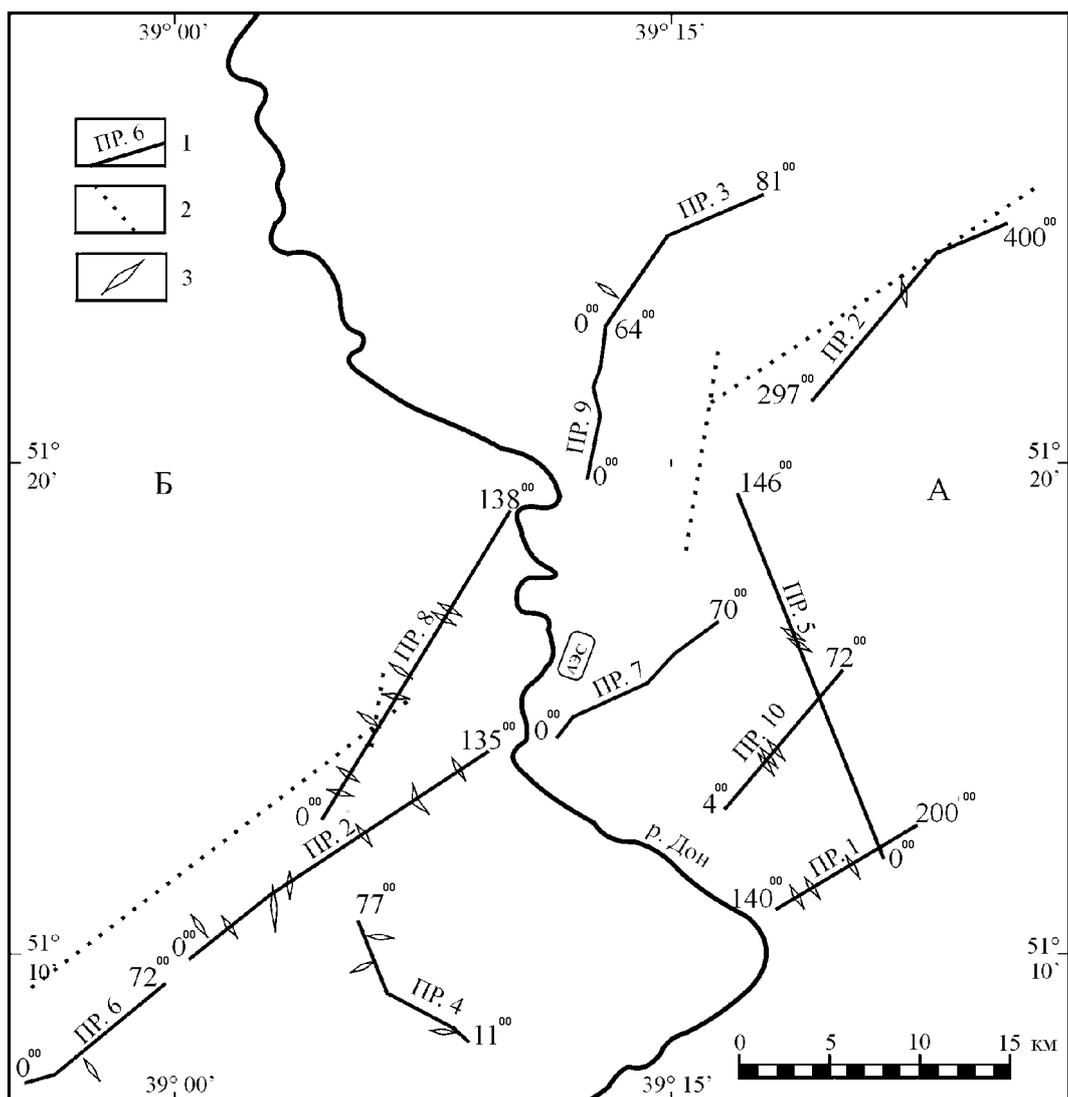


Рис. 1. Схема расположения сейсмических профилей: современная морфоструктура рельефа: А – Окско-Донская впадина, Б – Средне-Русская возвышенность; сейсмические профили: 1 - микро ОГТ (1997-98); 2 - КМПВ (1963); 3 – местоположение и тренды оврагов и балок.

образование которых происходило в последние 500–1000 лет.

Геоморфологическая характеристика района исследований

Сейсмические профили ОГТ расположены на стыке двух геоморфологических морфоструктур: Средне-Русской возвышенности и Окско-Донской равнины, различающихся деталями рельефа земной поверхности и режимом новейших и современных тектонических движений. Обе неотектонические провинции сочленяются по серии флексурных перегибов в отложениях осадочного чехла вдоль р. Дон. Для левобережья (с/профили 1,2,3,5,7,9,10) характерны относительно мягкие очертания форм рельефа с плавными изменениями абсолютных отметок от +140 до +190 м. Только в пойме р. Дон рельеф понижается до отметок +60 м.

Рельеф земной поверхности юго-восточной окраины Средне-Русской возвышенности (сейсмо-

профили 2А, 4, 6, 8) отличается большей контрастностью, чем соседние районы Окско-Донской равнины. Водоразделы правобережной части исследуемой территории рассечены многочисленными узкими балками и оврагами с глубиной вреза 60-70 м. Сейсмические профили ОГТ и КМПВ, а также детали орографии земной поверхности показаны на рис.1.

Сеймостратиграфические комплексы пород и их деформационно-прочностные свойства

В геологическом строении ближней зоны НВ АЭС принимают участие супракрустальные породы докембрийского фундамента и слабо дислоцированные отложения осадочного чехла, представленные девонской, юрской, меловой, палеогеновой, неогеновой и четвертичной системами. Мощность осадочного чехла – 180±200 м. В верхней части докембрийского фундамента повсеместно развита зона измененных пород (кора выветривания), утративши-

Таблица 1

Упругие и деформационно-прочностные параметры для различных супракрустальных пород докембрийского ССК

Условия	δ	Модуль Юнга $E, 10^3$ МПа	Модуль сдвига $\mu, 10^3$ МПа	Модуль общей деформации [4] $E_0, 10^3$ МПа	Предел прочности на сжатие [4] $\sigma_{пр},$ МПа
невыветрелые	0,310	74,5	28,5	≥ 10	100÷250
сильно выветрелые	0,184	67	28,3	1÷2	25÷100

Таблица 2

Значения сопротивления супракрустальных горных пород различным видам деформаций в долях прочности на сжатие

Тип породы	Вид деформации		
	Растяжение	Изгиб	Скалывание
Скальная порода докембрийского фундамента	0,02÷0,04	0,08	0,09÷0,1

ми в процессе додевонской эрозии сложный структурный рисунок. Мощность этой зоны в различной степени измененных докембрийских пород по данным бурения и результатам сейсмических работ ОГТ и КМПВ колеблется от 30 до 100 м. Характерными особенностями коры выветривания докембрийских пород является ее субгоризонтальная слоистость, нарушаемая малоамплитудными взбросами и раздвигами, а также изменяющаяся вдоль профилей слоистая структура верхней части фундамента.

По сейсмическим и геологическим данным выделено пять ССК, образованных различными по возрасту, генезису и литологии породами: докембрийский (фундамент с корой выветривания), девонский, мезозойско-кайнозойский, неогеновый и четвертичный.

Докембрийский ССК. К этому ССК на разрезах ОГТ отнесена самая верхняя часть докембрийского фундамента. По данным КМПВ граничные скорости продольных волн ($V_{Г^P}$) в кровле фундамента изменяются от 5,0 до 6,6 км/с. Низкоскоростные разности пород (5,0÷5,3 км/с) приурочены к сланцевым полям и выветрелым интрузиям кислого состава. Высокоскоростные участки границ ($V_{Г^P} \approx 6,0 \div 6,6$ км/с) соответствуют выходам в кровле докембрийского фундамента гибридных изверженных пород кислого и основного состава. На исследуемой территории прослежена обменная головная волна типа $PS_{ФP}$. Граничная скорость ($V_{Г^S}$) в кровле фундамента равна 3300 м/с. Для приведенных значений $V_{Г^P}$ и $V_{Г^S}$ коэффициент Пуассона (δ) в породах фундамента может изменяться в интервале значений 0,200÷0,330. Объемная плотность пород верхней части докембрийского ССК оценивается значением 2,6 г/см³. Упругие и деформационно-прочностные параметры для различных супракрустальных пород докембрийского ССК приведены в таблице 1. Упругие параметры (σ, E, μ) рассчитаны по сейсмическим скоростям $V_{Г^P}, V_{Г^S}$ и объемной плотности.

Согласно [4] E_0 и $\sigma_{пр}$ зависят от степени выветрелости скальных пород. Значения сопротивления супракрустальных горных пород различным видам деформаций в долях прочности на сжатие приведены в таблице 2. Таким образом, скалывание и особенно растяжение в породах фундамента могут происходить при напряжениях на 1÷2 порядка меньших прочности на сжатие. Скалывающие напряжения в супракрустальных породах фундамента, определяемые по формулам (3) и (4) для упругих и линейных стандартных сред с периодами релаксации от 5000 до 50000 лет за последние 500 лет, получены в интервале значений 12÷16 МПа, что согласуется со справочными данными [4], приведенными в таблицах 1 и 2.

Девонский ССК. Базальные горизонты этого ССК представлены отложениями различных свит среднего и верхнего девона, залегающими на докембрийском фундаменте с глубоким эрозионным и стратиграфическим несогласием. Местами границы девонского ССК с выше- и нижерасположенными отложениями осложнены угловыми несогласиями, подчеркивающими особенности тектонического развития отдельных блоков. Девонский ССК состоит из переслаивающихся плотных, акустически жестких и слабопластичных аргиллитоподобных глин и массивных известняков с мягкими слабоуплотненными мергелями и трещиноватыми сильно глинистыми известняками. Характерным для девонских разрезов является общее увеличение мощности отложений от 30 до 80 м в северо-восточном направлении. В разрезах по правобережным с/профилям (2А, 8) отмечаются контрастные локальные изменения структуры и мощности отложений девонского ССК, связанные с образованием внутрипластовых будин, состоящих из массивных полускальных известняков и аргиллитоподобных глин. Девонский ССК выделяется как высокоскоростной интервал разреза со значениями пластовой скорости продольных волн 2800÷4000 м/с. Скорости ниже 2500 м/с характерны для прослоев мергелей и глинистых известняков. Объемная плотность известняков и мергелей оценивается соответственно 2,4 г/см³ и 2,1 г/см³.

Таблица 3

Упругие параметры и объемная плотность различных групп пород девонского ССК

Порода	ρ , г/см ³	δ	V_p , км/с	E , 10 ³ МПа	μ , 10 ³ МПа	V_s , км/с	$\sigma_{пр}$, МПа
Массивный известняк	2,4	0,250±0,300	4,0	32±28,5	12,8±11,0	2,83±2,14	30±90
Мергель	2,1	0,300±0,400	2,5	9,75±6,12	3,75±2,19	1,37±1,02	20±25

Таблица 4

Упругие, деформационно-прочностные параметры и объемная плотность различных групп пород мезозойско-кайнозойского ССК

Разновидность пород	V_p^* , км/с	δ^{**}	V_s^* , км/с	ρ^{**}	E^{**} , 10 ³ МПа	μ^{**} , 10 ³ МПа	$\sigma_{пр}^{***}$, МПа	C^{***} , Мпа	φ^{***} , °
Писчий мел, мелоподобные разности (K ₂)	2,0±2,5	0,30	1,07±1,34	2,2	6,54±10,2	2,51±3,92	3±4,5	0,4±0,8	24±30
Глинистые мергели, мела с высоким содержанием глины (K ₂)	1,0±1,5	0,30		1,9			1,3±5,5		
Пески, опоки (K ₂)	0,6±0,9	0,40		1,7	0,65	0,23	5,0±6,0	0,02±1	27±38
Запесоченные глины (P)	1,0±1,4	0,45±0,47	0,39	1,9	1,0	0,34			

* – по результатам МСК, ** – расчетные данные, *** – деформационно-прочностные параметры из работы [4].

Мгновенные значения коэффициента Пуассона, модуля Юнга модуля сдвига для известняков и мергелей получены из лабораторных и сейсмических исследований. Прочностные параметры для этих пород заимствованы из [4] с учетом упругих свойств известняков и мергелей (табл. 3).

Так же, как и для супракрустальных пород фундамента сопротивление известняков и мергелей девона различным видам деформации в долях прочности на сжатие составляют для растяжения 0,04±0,10, изгиба 0,08±0,10 и скалывания 0,15 [4]. Таким образом, величина скалывающего напряжения пород девонского ССК в несколько раз меньше, чем в докембрийском фундаменте.

Мезозойско-кайнозойский ССК. Комплекс сложен породами юры, мела, палеогена и развит только в правобережной части исследуемой территории. В основании комплекса выделяются преимущественно песчаные слабосцементированные полусвязные пески и алевроиты нижнего мела и верхней юры (J₃–K₁) с относительно пониженными значениями $V_p = 900 \pm 1400$ м/с.

Большую часть разреза комплекса занимают верхнемеловые отложения, представленные терригенно-кремнисто-мергельно-меловыми породами с явным преобладанием карбонатных разностей. Широкий литологический спектр верхнемеловых отложений от писчего мела и мергелей до слабо известковистых глин, опок и песков, а также их частая смена по площади и в разрезах объясняют скоростную расслоенность на мягкие (низкоскоростные) и жесткие (высокоскоростные) слои, установленную по данным МСК. Скорости 2000±2500 м/с характерны для плотных связных неводонасыщенных мелов и мелоподобных пород, а $V_p = 1000 \pm 1500$ м/с соответствуют мергелям и прослоям известковистых глин. Минимальные скорости $V_p = 600 \pm 900$ м/с установлены для рыхлых песков и опок.

Отложения палеогена на территории представлены запесоченными глинами киевской свиты (P₂kv). Песчаная фракция состоит из зерен кварца, которые составляют 20–45 % от общего объема породы. В современных границах, обусловленных неоген-четвертичной эрозией, отложения киевской свиты развиты в виде небольших останцов на водоразделах с абсолютными отметками, превышающими +170 м. Мощность этих отложений 10±15 м, $V_p = 1200 \pm 1400$ м/с. Мощность мезо-кайнозойского ССК изменяется вдоль профилей от 100±110 м на водоразделах до 30±40 м в долинах рек и оврагов. Упругие, деформационно-прочностные параметры и объемная плотность различных групп пород мезозойско-кайнозойского ССК приведены в таблице 4.

Неогеновый ССК. Отложения этого возраста, развитые в Кривоборском прогибе (левобережные районы), представлены толщей песчано-глинистых пород мощностью 30±70 м со следами слабой литификации. Комплекс залегает с глубоким эрозионным и стратиграфическим несогласием на разновозрастных свитах девона. Местами эта граница осложнена локальными угловыми несогласиями. В разрезе неогена преобладают слабо связные пески, супеси, суглинки с невысокими акустическими характеристиками. Однако в кровле неогена по сейсмическим и буровым данным присутствует слой пластичных глин с относительно высокой пластовой скоростью $V_p = 1100 \pm 2000$ м/с. Эти значения V_p при пересчете по формуле Гарднера – $\rho = 0,31 \cdot \sqrt[4]{V_p}$ [9] соответствуют объемной плотности 1,92±2,07 г/см³. Скорость V_s по данным МСК равна 600 м/с. Для коэффициента Пуассона получены высокие значения $\delta \sim 0,42 \pm 0,45$; E и μ соответственно равны: $E = 1,97 \pm 2,18 \cdot 10^3$ МПа, $\mu = 0,70 \pm 0,75 \cdot 10^3$ МПа. Приняв для слабосвязных песчано-глинистых пород угол внутреннего трения $\varphi \approx 30^\circ$ [4,5], можно оценить величину сопротивления касательному сдвигу на

Таблица 5

Упругие и деформационно-прочностные параметры для различных типов пород четвертичного ССК

Типы пород	V_p , м/с	δ	ρ , г/см ³	E , МПа	μ , МПа	C , КПа
Покровные суглинки	400÷700	0,460	1,4÷1,6	52÷174	17,8÷60	15,5÷32
Флювиогляциальные суглинки	800÷1200	0,480	1,8	131÷300	44÷101	25,5÷47
Моренные глины и суглинки	1550	0,400	2,0	2242	800	313
Аллювиальные пески	1750	0,330	2,0	2362	888	346

глубине 70 м без учета удельного сцепления частиц, используя соотношение (2):

$$\tau = p \operatorname{tg} 30^\circ \approx 0,5 \cdot \rho h g \approx 0,7 \text{ МПа},$$

где p – геостатическое давление толщи мощностью (h) 70 м; g – ускорение силы тяжести – 1000 см/с²; ρ – объемная плотность $\approx 2,2$ г/см³.

Для определения сцепления (C) в песчано-глинистых породах использована эмпирическая зависимость [10] вида: $C = 3,8 \cdot \mu \cdot 10^{-4} + 0,0087$ МПа. $C = 0,28$ МПа, которое согласуется со справочными данными, приведенными в [4,5]. Таким образом, в соответствии с выражением (2) сопротивление сдвигу в песчано-глинистых породах неогена с учетом C приближается к 1 МПа, т.е. деформации скола в этих отложениях на глубинах около 70 м возможны лишь при достижении касательными напряжениями величины 1 МПа.

Четвертичный ССК. Представлен песчано-глинистыми, неводонасыщенными, несвязными песками, супесями и полусвязными суглинками различного происхождения. Отложения этого возраста, за исключением поймы р. Дон, образуют зону аэрации. Мощность комплекса различается для левобережной и правобережной (восточная периферия Средне-Русской возвышенности) частей исследуемой территории. В пределах Кривоборского прогиба мощность четвертичных отложений достигает 80 м, тогда как на правом берегу их мощность сокращена до 20 м. Физико-механические свойства отдельных слоев ВЧР определяются литологическим составом пород, их генезисом и общей пористостью. Верхний слой мощностью 5÷7 м образован слабо связными, пористыми, неводонасыщенными покровными суглинками рг Q_{II-III} со скоростями $V_p = 400\div700$ м/с, $V_s \leq 150$ м/с, объемной плотностью 1,4÷1,6 г/см³ и $\delta = 0,45\div0,47$.

Покровные суглинки подстилаются на водоразделах мощной толщей водно-ледниковых песчано-глинистых отложений с $V_p = 800\div1200$ м/с, $V_s = 200\div250$ м/с, объемной плотностью $\rho \approx 1,6\div1,8$ г/см³ и $\delta = 0,48$. Водно-ледниковые отложения состоят из переслаивающихся сухих, достаточно уплотненных песков, суглинков, супесей, содержащих грубокластические примеси гравия, гальки и даже валунов. Аномально высокие значения $V_p = 1500\div1600$ м/с и $V_s = 600$ м/с характеризуют линзы моренных глин. Коэффициент Пуассона для этих пород равен 0,40. Уплотнение водно-ледниковых глин связано не столько с влиянием ли-

тостатического давления, сколько с природой водно-коллоидных структурных связей и с динамическим воздействием на глины ледников. Коэффициент водонасыщения в моренных глинах не превышает 10%. По минеральному составу эти породы представлены в основном гидрослюдами, у которых минералогическая плотность – 2,6 г/см³, $V_p \approx 6000$ м/с. Объемная плотность моренных глин, вычисленная по формуле Гарднера, равна 2,00 г/см³. Такое же значение плотности получено и при измерениях в скважинах.

Аллювиальные отложения в пойме и на террасах р. Дон находятся преимущественно в зоне полного водонасыщения. Аллювиальные отложения представлены рыхлыми, несвязными разнозернистыми песками, в основном, кварцевыми. Для скоростей продольных и поперечных волн получены значения $V_p = 1700\div1800$ м/с, $V_s = 800\div900$ м/с и коэффициент Пуассона 0,330. В толще четвертичных отложений геостатическое давление изменяется от атмосферного в покровных суглинках до 1,0 МПа на глубине 70 м вблизи кровли неогенового ССК. Таким образом, нормальное давление практически не влияет на прочностные свойства пород четвертичного возраста. Сопротивление девиаторным тектоническим напряжениям, вызывающим сдвиги и сколы в слоях самого верхнего ССК, образованных слабо связными песчано-глинистыми породами, в основном определяется удельным сцеплением частиц (C). Для определения C использована эмпирическая зависимость, связывающая удельное сцепление частиц породы с модулем сдвига, приведенная в работе [10]. В таблице 5 приведены расчетные значения E , μ , C для различных типов пород четвертичного ССК.

Сейсмогеологические разрезы

Геолого-структурные особенности осадочного чехла и приповерхностной части докембрийского фундамента антеклизы изучены по одиннадцати сейсмическим профилям микро ОГТ общей протяженностью около 100 пог. км, расположенным вблизи Нововоронежской атомной станции (НВ АЭС). Сейсмические профили (за исключением с/профиля 5) имеют СВ ориентировку и проложены вкрест простиранию древних и современных структурно-тектонических линеаментов (рис. 1).

При отработке сейсмических профилей использовались фланговая система наблюдений МОВ ОГТ с 12-тикратным перекрытием, шаг приборов – 10 м, взрывной интервал – 40 м, база приемной рас-