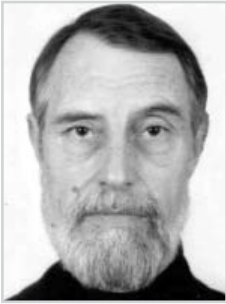


УДК 624.131.1:621.311.214

**ФИЛЬ В.Н.**, главный геолог технического отдела,  
 ПАО "Укрэнергопроект", г. Харьков  
**СЕРГЕЙКИН А.П.**, руководитель группы технического отдела,  
 ПАО "Укрэнергопроект", г. Харьков

## ОСОБЕННОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ УЧАСТКА СТРОИТЕЛЬСТВА КАНЕВСКОЙ ГАЭС



**ФИЛЬ В.Н.**



**СЕРГЕЙКИН А.П.**

Современная площадка Каневской ГАЭС приурочена к своеобразному в морфологическом и структурно-тектоническом отношении природному образованию — району Каневских дислокаций (РКД), слагающих правый берег Днепра на протяжении нескольких километров южнее селения Трахтемиров.

Здесь Днепр, протекая из верховьев в субмеридиональном направлении, у с. Ходоров делает крупный коленообразный поворот к востоку, как бы "обтекая" с востока Каневскую морфоструктуру, подчеркивая ее возвышение над поймой Днепра (ныне затопленной водохранилищем Каневской ГАЭС) более, чем на 140—160 м. Эта морфоструктура в виде параллельной Днепру гряды четко выделяется своей приподнятостью не только над акваторией Каневского водохранилища, но и над правобережной обширной региональной платообразной равниной, залегающей с запада, абсолютные отметки которой на 20—40 м ниже максимальных отметок гряды. Выделяющаяся в рельефе гряда является довольно широкой (3,0—3,5 км) асимметричной субмеридионально ориентированной возвышенностью с абсолютными отметками, достигающими + 240,000 м. Линия господствующих высот, соответствующая наиболее высокому гипсометрическому уровню, располагается ближе к долине Днепра, не совпадая с линией водораздела. Этот участок помимо четкой орографической обособленностью, характеризуется исключительно густой и глубокой овражной расчлененностью территории, за что эту часть правобережья Днепра по праву часто называют "Каневские горы".

Естественно, что такое своеобразное морфологическое образование, не характерное для равнинной территории Приднепровья уже в течение почти двух столетий привлекало внимание большого количества исследователей и было предметом, в основном, поверхностного изучения и еще в большей степени дискуссий о происхождении

этой геологической структуры.

Довольно обширную группу составляют гипотезы тектонического происхождения дислокаций. Среди них выделяются гипотезы ("точки зрения"):

- о приуроченности РКД к так называемому "зачаточному кряжу" ("герциниды") — зоне глубинных нарушений от Алтая через Мангышлак и Донбасс до Келецко-Сандомирского кряжа;

- образование их за счет повторных подвижек сбросового характера в результате давления Украинского Щита (УЩ) на Днепровско-Донецкую Впадину (ДДВ) в альпийскую стадию орогенеза;

- о складчато-взбросовом характере дислокаций, произошедших в тектонически мобильном районе под влиянием тектонических напряжений со стороны ДДВ, разрядка которых произошла в днепровскую ледниковую эпоху под влиянием нагрузки и разгрузки ледника;

- возникновение дислокаций в результате "поддвига" УЩ (наклонное опускание фундамента) под ДДВ;

- перемещение к западу больших масс горных пород по Каневскому надвигу (расположен в пределах долины р. Днепра);

- как результат внутривпадинного смятия, образовавшегося в результате перераспределения (нагнетания) глинистых пород, (развитие процессов глиняного диапиризма за счет раскрытия сводовой части Остерско-Черкасского вала).

Среди гипотез экзогенного происхождения дислокаций выделяются гипотеза их оползневой природы и гипотеза гляциодислокаций.

Сторонниками первой из них объясняют образование дислокаций грандиозными оползнями. Последние, действительно, имеют широкое развитие в пределах РКД, однако они не могут быть причиной дислокаций уже потому что дислоцированные породы залегают гипсометрически намного выше (до 120—160 м), чем в коренном массиве вне РКД.

Многочисленные приверженцы идеи только ледникового происхождения дислокаций представляют РКД как гигантский аллохтон моренного на-



порного вала ("морену напора"), образовавшегося в результате тангенциальных усилий днепровского ледника ("эффект ледникового клина").

В настоящее время наиболее обширна группа гипотез эндогенно-экзогенной природы дислокаций которая оформилась, как направление, несколько позже предыдущих двух. Однако, и эта группа гипотез по своим представлениям о роли тектонического и гляциального факторов, весьма неоднородна. Даже при поверхностном их сравнении видно, что предложенные гипотезы неравноценны по своей научной строгости, глубине отражения структуры реального объекта, обоснованности, с точки зрения механики.

Затяжной характер решения проблемы генезиса своеобразной структуры этого участка, часто противоречивость имеющихся гипотез, наличие целого ряда факторов, не укладывающихся в их рамки, объясняется не только чрезвычайной сложностью и необычностью геологического строения РКД, но и односторонностью методического подхода ряда исследователей при его изучении, отсутствием комплексного решения проблемы. Это приводило к тому, что на практике решение конкретных вопросов зачастую подменялось его "трактовкой" с той узкой позиции, которую занимал тот или иной исследователь. Отсюда многовариантность интерпретации одного и того же фактического материала различными авторами.

Детальные инженерно-геологические изыскания начатые в 1956 году для обоснования проекта Каневской ГЭС вызвали необходимость, помимо углубленного изучения створного участка в пойме Днепра, исследования участка РКД, в частности, его днепровского склона круто возвышающегося (до 160 метров) над водохранилищем гидростанции. Эти работы нацеленные на изучение сложно дислоцированной структуры и физико-механических свойств составляющих элементов этого грунтового массива для расчета устойчивости склона следует полагать началом детального инженерно-геологического изучения района Каневских дислокаций. Эти, и последующие комплексные и детальные исследования различных вариантов проектируемых основных и вспомогательных сооружений Каневской ГАЭС выполненные на обширной территории в период с 1978 и по 2009 годы, проходили под общей идеологией, направленностью, руководством и непосредственным участием С.В. Кухтия — главного геолога Каневской экспедиции института "Укргидропроект", а впоследствии и отдела изысканий института. В этих комплексных изысканиях помимо Укргидропроекта и других подразделений всео-

юзного института "Гидропроект", принимали активное участие ряд академических и ведомственных институтов, а также вузов Украины.

В процессе изысканий на участке Каневской ГАЭС (Трахтемиров-Бучакский блок) Укргидропроектом впервые была пересечена зона дислокаций вкрест простирания (с востока на запад) начиная с акватории водохранилища и с выходом на недислоцированное плато и с углублением в коренную основу дислоцированного чехла. Структура дислоцированной зоны прослежена на всем ее протяжении путем непрерывно-цепочной увязки составляющих ее элементов с помощью скважин глубиной 100—150 м, единичных структурных до 200—266 м и геофизических методов (электроразведка, гравии- и магниторазведка).

Анализ материалов собственных изысканий (всего на участках проектирования Каневских ГЭС и ГАЭС пробурено более 50 тысяч погонных метров скважин), результаты бурения глубоких скважин различного назначения, пройденных в окрестностях рассматриваемой части РКД, позволили обоснованно признать гипотезу о экзогенно-тектонической природе каневских дислокаций, как основной теорией объясняющей современное строение участка РКД, историю его тектонического развития и следствия антропогенных покровных оледенений.

Обширный фактический материал позволил составить понятийную инженерно-геологическую модель грунтового массива района Каневских дислокаций (РКД).

Рассматриваемый район Каневских дислокаций приурочен к окраине Украинского кристаллического щита (УКЩ), где его докембрийский фундамент далее к востоку погружается, подстилая образования обширной и глубокой Днепровско-Донецкой впадины (ДДВ), занимающей все левобережье Днепра (Рис. 1). Это нашло отражение в характере его двухъярусного строения.

Относительно неглубоко залегающий нижний структурный этаж представляет собой древний консолидированный докембрийский фундамент представленный биотитовыми гранитами, различными гнейсами и катаклизированными, гидротермально-измененными гранитами, гнейсами и мигматитами Ядловско-Трахтемировской зоны. К участку РКД приурочен узел пересечения Днепровской и Ядловско-Трахтемировской зон глубинных разломов, активность которых прослеживается на протяжении 1.5 млрд. лет, в том числе и на альпийском этапе тектогенеза.

Верхний структурный этаж представлен литологически пестрой толщей с характерной для

платформенного типа осадков относительно небольшой мощностью и субгоризонтальным залеганием осадочных накоплений

Наиболее древними образованиями осадочного чехла являются верхнепалеозойские отложения (шебелинская свита верхней перми), распространенная в пределах депрессионных участков фундамента, на котором залегают со стратиграфическим несогласием. Представлены они континентальными отложениями — красно-бурыми, ржаво-серыми песками и глинами с прослоями песчаников и реже пресноводных известняков. На участке ГАЭС мощность этих отложений составляет 200—250 м. Как показали результаты бурения глубоких скважин как в пределах РКД, так и его ближайших окрестностях кровля шебелинской свиты, при субгоризонтальном залегании ее слоев, вскрыта в интервале абсолютных отметок от минус 8 до минус 40 м. Это, различие в высотном положении кровли наиболее древних отложений осадочного чехла перекрывающего кристаллический фундамент, с одной стороны, указывает на современный ступенчатый характер слагающих его тектонических структурных блоков, обусловленный периодически возобновляемой тектонической активностью, с другой свидетельствует о относительно небольших (первые десятки метров) накопленных, за весь мезокайнозойский интервал времени, амплитудах блоковых перемещений нижнего структурном этажа.

В состав распространенной здесь мезозойской группы осадков, перекрывающих пермские

породы, входят морские и континентальные отложения триаса, юры и мела.

Отложения осадков триаса сложены преимущественно разномасштабными песками и песчаниками с прослоями глин и пресноводных известняков общей мощностью 50—60 м.

Отложения юрской системы имеют широкое распространение в пределах района Каневских дислокаций. Они вскрыты многими скважинами и часто обнажаются в многочисленных оврагах и балках днепровского склона. Залегая трансгрессивно на осадках триаса этих отложений имеют небольшой наклон к северо-востоку, в сторону Днепровско-Донецкой впадины.

Средний отдел юрской системы представлен байосским и батским ярусами, верхний — келловейским ярусом.

Байосский ярус ( $I_2b$ ) представлен маломощной (5—15 м) толщей сложенной в верхней части темноцветными песками, а в нижней, глинами серыми и темно-серыми, некарбонатными, песчанистыми, часто углистыми или с прослоями лигнита.

Батский ярус ( $I_2bt$ ) сложен некарбонатными глинами и реже алевритами, в нижней части с повышенным содержанием органики — общая мощностью яруса 50—60 м.

Верхний отдел юры представлен Келловейским ярусом ( $I_3cl$ ) сложенным серыми и буровато-серыми с фиолетовым оттенком глинами и алевритами, иногда с маломощными прослоями

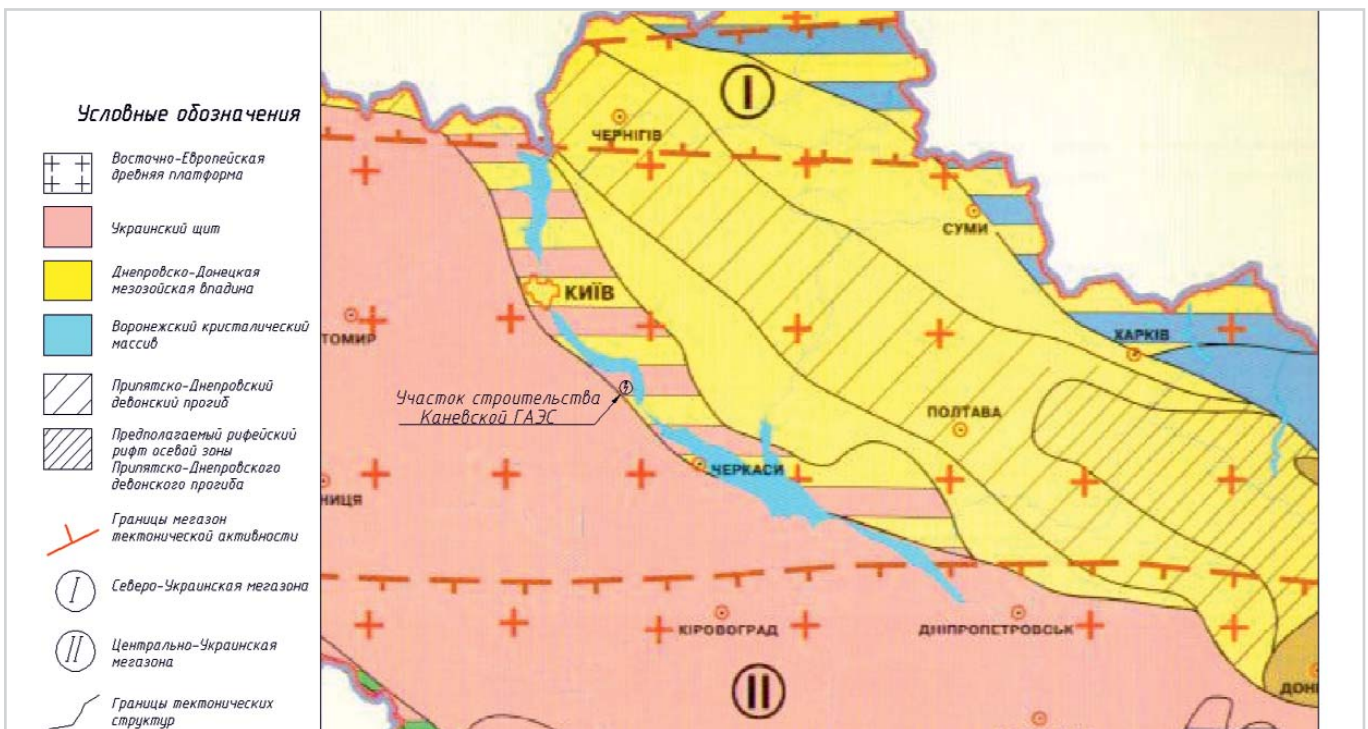


Рис. 1. Схема тектонического районирования

известняков и песчаников стратиграфической мощностью около 20 м.

Из более поздних осадочных накоплений в пределах рассматриваемой территории распространены повсеместно только верхнемеловая нижнесеноманская толща слабо сцементированных карбонатами кварцево-глауконитовых песков, содержащих до 20–60 % включений сростков и стяжений кремнистого песчаника мощностью 15–20 м, и каневская свита эоцена представленная неоднородной толщей некарбонатных, кварцево-глауконитовых песков, мелких в различной степени глинистых.

Залегающие выше по разрезу палеогеновые отложения бучакской, киевской, харьковской и полтавской свит, а также перекрывающие их неогеновые глины распространены только в удаленной от Днепра обширной правобережной платообразной равнине, пережившей денудационную стадию развития. Здесь сохранился полный разрез горизонтально-слоистого платформенного

чехла, перекрытый элювиальными и эоловоделювиальными образованиями с абсолютными отметками поверхности около 200 м.

В составе дислоцированных толщ указанные выше отложения отсутствуют, так как ранее эти массивы перемещенных пород находились в пределах древней обширной долины ледникового стока лихвинского оледенения и были размыты до уровня залегания верхов каневской свиты, перекрытой впоследствии характерными аллювиальными песками лихвинской террасы

Движение огромного ледникового языка наиболее мощного Днепровского оледенения вызвало формирование мощной (до 200 м) зоны гляциодислокаций окаймляющей фронтальную (в последствии размытую) и боковые границы ледникового тела в виде полосы шириной 2–3 км и выраженной в современном рельефе рассматриваемого участка грядой "Каневских гор". В то же время, в основании ледяного массива образовалась ложбина ледникового выпаживания заглубленная

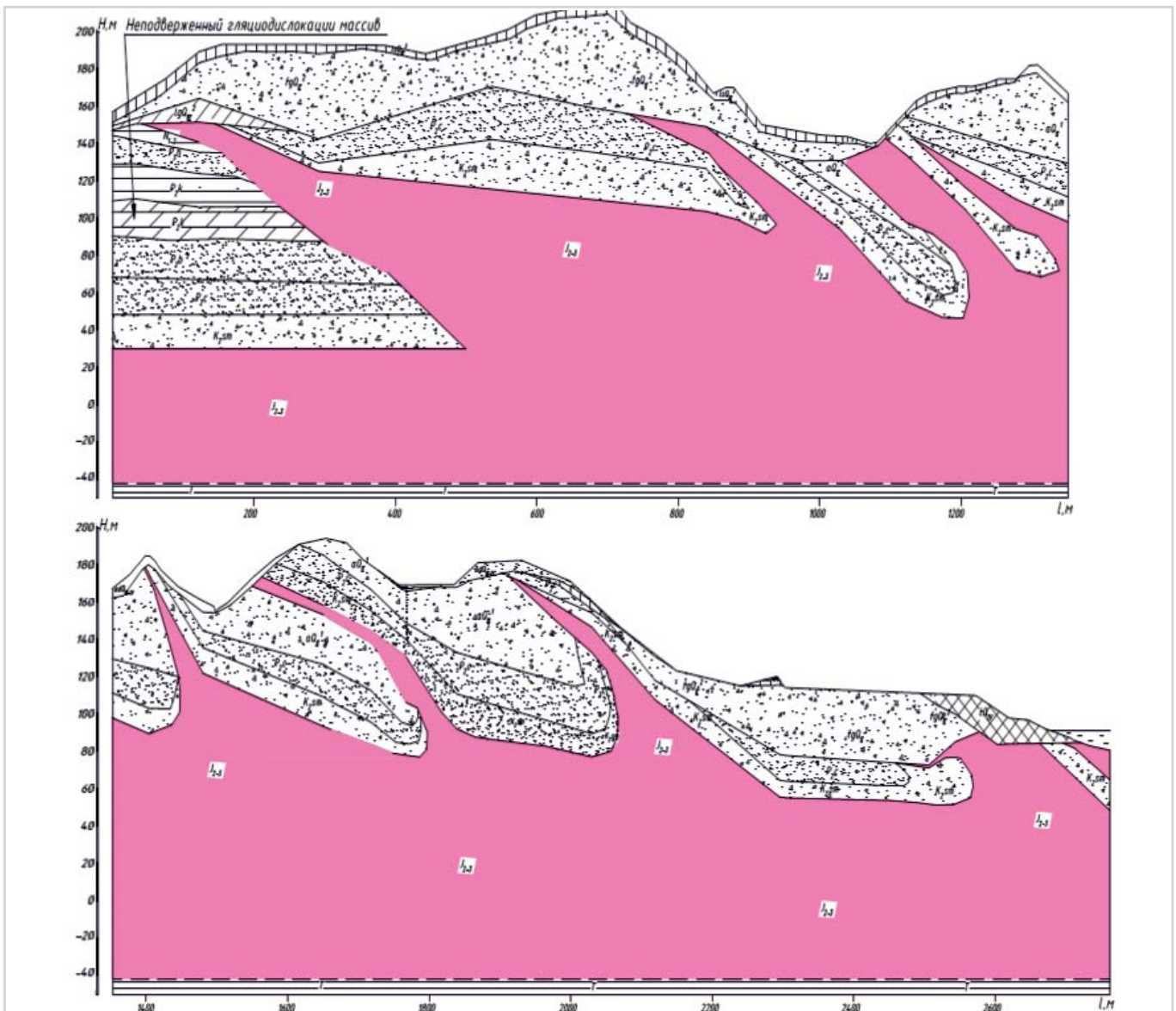


Рис. 2. Типовой разрез по участку РКД

на 120–130 м ниже поймы Днепра (до абс. отметки минус 58 м) шириной до 10–15 км, заполненная характерными моренными и ледниково-аллювиальными отложениями.

Основными отличительными признаками и особенностями структуры зоны гляциодислокаций (Рис. 2), надвинутой на правобережное не подверженное гляциодислокации палеогеновое плато сложенной теми же породами, но с хорошо выдержанной горизонтально-пластовой слоистостью, является:

- наличие серии (до 5–7) повторяющихся, чаще близких по размерам, геологических блоков-чешуй с характерным наклонным залеганием (падение в сторону реки под углом 10–20°) слагающих их пород шириной до 3 км;

- определенная гармоничность серии чешуй и выдержанность в последовательности налегания соседствующих блоков-чешуй — ближайшая к реке чешуя надвинута на периферийную;

- практически одинаковое двухслойное строение чешуй — верхний, слой из песчаных по составу пачек мощностью 30–70 м, подстилаемый согласно залегающими с ними юрскими глинами с закономерно увеличивающейся мощностью (от 10–20 до 80 м), за счет более крутого (25–40°), чем слоистость, залегания блока-чешуи;

- наличие в приконтактной зоне палеогенового плато (относительно, на 50–60 м опущенный блок аллохтона) шириной 0,5–1 км (автохтоне РКД) слабых проявлений дислоцированности горизонтально-залегающей толщи в виде небольших сбросовых и сколовых нарушений, а в борту ледниковой ложбины, выполненной озерно-ледниковыми и водно-ледниковыми отложениями, отторженцы палеогеновых пород (чаще всего киевской свиты);

- относительно непродолжительный временной интервал периода формирования зоны гляциодислокаций определяемый, с одной стороны, деформированным, подобно коренным породам, залеганием в чешуях лихвинских аллювиальных ( $aQ_{II}^1$ ) песков, с другой сохранностью, без каких-либо следов деформаций, флювиогляциальных ( $fgQ_{II}$ ) и ледниковых ( $lgQ_{II}$ ) отложений днепровского времени, заполнивших ложбины стока талых вод, вероятно, сингенетичных гляциодислокациям.

Представляется, что под влиянием усилий со стороны ледникового языка в толще пластичных юрских глин сформировались структуры нагнетания в виде вытянутых вдоль долины валообразных поднятий трансформировавшихся затем в пологие надвиги, выходы которых на поверхность были

приурочены, вероятно, к максимально глубоким врезам ложбин ледникового стока, являющимися зонами разгрузки напряжений.

Залегание в основании чешуй глин, иногда с участками локального увеличения мощности (раздувы), указывает на инъекционный характер (глиняный диапиризм) формирования гляциочешуй.

При отступлении ледника на поверхности чешуй образовались ложбины размыва частично заполненные водно-ледниковыми отложениями мощностью 50 м. Последующее осложнение рельефа Каневских гор произошло в результате эрозионных процессов продолжающихся и до настоящего времени.

Таким образом дислоцированность пород слагающих участок РКД проявляется:

- в нарушении нормальной стратиграфической последовательности залегания пород (наличие вторичных стратиграфических несогласий);

- в изменении гипсометрического положения литолого-стратиграфических горизонтов (слоев) дислоцированного массива по сравнению с залеганием вне зоны дислокаций;

- в прерывистом развитии в плане отдельных горизонтов (слоев) верхней части разреза дислоцированного массива, в основном толщ менее податливых (условно компетентных) пород;

- в трансформации нормальной мощности отдельных горизонтов (слоев) нижней части разреза (более податливых слоев юры);

- в различной степени и типах нарушений первичной текстуры пород, участвующих в дислокациях;

- образовании вторичных структурных форм залегания пород дислоцированного массива.

Два основных литотипа пород участка гляциодислокаций — юрские глины и пески сеномана, каневской свиты и среднечетвертичного аллювия имеют существенно различные геомеханические и фильтрационные свойства. Так песчаные грунты обладая более высокими деформационными и прочностными свойствами характеризуются относительным постоянством в пространстве величинами показателей этих свойств. В юрских глинах напротив, характеристики их физико-механических свойств закономерно изменяются не только в зависимости от литологического состава глин, но и нахождения их в том или ином месте гляциоструктуры.

По степени дислоцированности юрские глины по структурному положению в координатах в пределах каждой гляциальной чешуи отнесены к трем зонам.

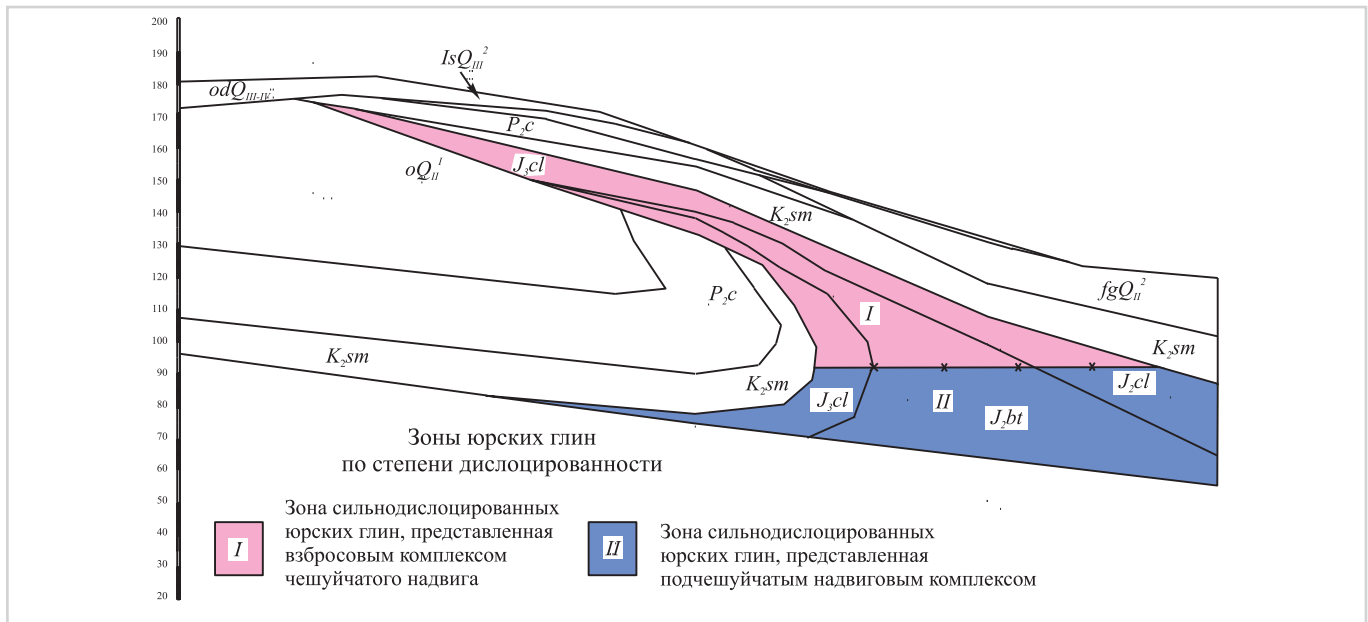


Рис. 3. Схема строения чешуйчатого комплекса

Нижняя, 3 зона, в которую входят только отложения батского яруса ( $J_2bt$ ) в процессе гляцио-тектоники претерпела наименьшую дислоцированность, вызванную воздействием ледникового массива, проявившуюся в трансформации мощности глин, нарушении горизонтальности первичного залегания слоев и снижении физико-механических свойств глин под влиянием периодического замораживания и размораживания пород. Верхняя граница этой зоны, в среднем по рассматриваемому участку располагается в районе абсолютных отметок близких 0,00 м.

В зоне 2 юрские глины, в особенности бата и, в значительно меньшей степени келловей, под действием тангенциальных усилий были смяты в простые складки, переходящие в верхней части разреза в структуры нагнетания, вызванные субгоризонтальным смещением глинистых пород (на начальном этапе по трещинам напластования) под напором ледника, и как следствие, увеличением мощности глинистой толщи.

На дальнейшем этапе горизонтального сжатия глинистой толщи бата в местах, где сопротивление разрыву перекрывающих глины пород снижалось (это могли быть и участки тектонически ослабленных пород или наиболее глубоко врезанные долины ледникового стока, являющиеся зонами разгрузки напряжений) образовывались валлообразные поднятия, трансформирующиеся затем в пологие надвиги с инъекционным характером (глиняный диапиризм) формирования взброса. Преобладание в этом процессе пластического течения глин, а также воздействие на диапир процессов выветривания предопределил выделение этого элемента гляциочешуи, сложного практически полностью дезинтегрированными

глинами в зону I, охватывающую клинообразное тело глиняного штока.

Графическое представление классического чешуйчатого комплекса в пределах одной чешуи отражено на Рис. 3.

В пределах зоны гляциодислокаций, выше регионального водоупора распространен единый водосодержащий комплекс с отсутствием четко выраженных водоносных горизонтов. Водовмещающими породами являются песчаные толщи гляциочешуи, повсеместно подстилаемых юрскими глинами, являющимися водоупорами, ограничивающими и в различной степени изолирующими блоки чешуи по простиранию и замыкающими их снизу. Это обстоятельство, а также интенсивная расчлененность участка овражной сетью, прорезающей как водосодержащие, так и водоупорные элементы грунтового массива, определяют индивидуальные условия формирования и дренирования подземных вод в каждой чешуе, выражающиеся в различных высотных положениях уровня поверхности подземных вод блоков и их динамике. Затрудненный водообмен отражается в пестром химическом составе вод иногда с повышенной до 1,5–2,6 г/л минерализацией. Воды обладают различными видами и степенью агрессивного воздействия на бетон.

Основные сооружения проектируемой Каневской ГАЭС, за исключением небольшой части верхнего водоема, располагается в пределах единой геологической позиции – районе Каневских дислокаций. Таким образом, на всей площади распространения района Каневских дислокаций инженерно-геологические условия чрезвычайно сложные и очень трудно прогнозируемые уже на небольшом удалении от разведочных выработок,

что могло существенно исказить представление о фактических структурно-геологических условиях грунтовых массивов на участках многочисленных вариантов проектных проработок компонентов всего комплекса сооружений ГАЭС.

В состав разрабатываемой компоновки сооружений Каневской ГАЭС входят:

- верхний водоем (бассейн);

- напорно-станционный узел (НСУ), включающий подводящий канал и водоприемник, напорные водоводы, здание ГАЭС и отводящий канал.

В качестве нижнего водоема служит емкость Каневского водохранилища.

Верхний водоем полезным объемом 18 млн. м<sup>3</sup>, в плане представляет собой неправильный овал с осями ~1.3 × 1 км, с протяженностью напорного фронта около 4000 м, приуроченный к участку максимальных отметок гряды Каневских гор. При этом контур верхнего водоема занимает в основном зону каневских гляциодислокаций, и только в незначительной степени примыкающую к ним с запада территорию недислоцированного палеогенового плато.

Сооружения НСУ — водоприемник, сопряженный с телом ограждающей дамбы, с подводящим каналом, выдвинутый в верхний водоем, и железобетонные водоводы протяженностью более 1140 м — приурочены к днепровскому склону, рассеченному сильно разветвленной сетью оврагов.

Здание ГАЭС с примыкающей монтажной площадкой и служебно бытовой корпус (СБК) располагается у подножия склона в пределах единой геологической позиции, на двухслойном основании, сложенном с дневной поверхности песками различного состава и крупности мощностью до 70 м. Фундаментная плита станции на большей части основания опирается непосредственно на юрские глины общей мощностью до 90 м.

Для возможности построения для проектных проработок корректно обоснованной структурно-литологической структуры в любом произ-

вольном, интересующем проектировщиков месте рассматриваемого массива, потребовалось создание функциональной 3-х мерной цифровой структурно-геологической модели всего довольно большого охваченного проектированием элемента РКД, позволяющей с достаточной для технического проекта точностью составить представления о геологической ситуации участка интереса. Создание 3-х мерной модели массива позволило с достаточно высокой вероятностью распространить строение сложных по геометрии структур на участки с редкой сеткой изыскательских выработок, и даже экстраполировать их за пределы участков изысканий. Представляется, что без такой цифровой модели на основании только данных отдельных скважин определить с пространственным положением структур дислоцированной зоны очень сложно, а местами и практически невозможно без проходки дополнительных геологических выработок.

Понятно, что не совсем достоверные данные, принимаемые для расчетов крупных сооружений в чрезвычайно сложных инженерно-геологических условиях, не могут обеспечить необходимую надежность устойчивости всего комплекса гидротехнических ГАЭС.

На следующей стадии проектирования необходима детализация инженерно-геологических условий оснований сооружений, особенно на участке здания ГАЭС и напорных водоводов, где требуется выполнить уточнения состава состояния и свойств пород непосредственно в контурах сооружений.

Таким образом, несмотря на столь сложное, своеобразное и уникальное геологическое строение грунтового массива пород, слагающих участок проектируемой Каневской ГАЭС, в процессе инженерных изысканий не выявлены непреодолимые препятствия для строительства здесь будущей гидроаккумулирующей станции, при условии внимательного учета в проекте всех присутствующих этому участку особенностей его инженерно-геологических условий.