

ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ И ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

УДК 624.131.3

СТРУКТУРНО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ПЛОЩАДКИ РАЗМЕЩЕНИЯ БАЛАКОВСКОЙ АЭС В АСПЕКТЕ УСТОЙЧИВОСТИ ЕЕ СООРУЖЕНИЙ

© 2022 г. И. М. Кравченко^{1,*}, Е. А. Пикулик¹, В. М. Макеев¹, А. С. Гусельцев^{2,**}, Е. А. Макеева¹

¹ Институт геоэкологии им. Е. М. Сергеева РАН, Уланский пер., 13, стр. 2, Москва, 101000 Россия

² Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности, ул. Малая Красносельская, 2/8, к. 5, Москва, 107140 Россия

*E-mail: kravchenkoilyamax@yandex.ru

**E-mail: gouselsev@secnrs.ru

Поступила в редакцию 17.01.2022 г.

После доработки 17.01.2022 г.

Принята к публикации 24.01.2022 г.

В статье рассмотрена проблема изучения погребенных форм рельефа при проведении инженерно-геологических изысканий. На примере площадки Балаковской атомной электростанции, относящейся к особо опасным и технически сложным объектам, показана необходимость выявления и всестороннего изучения четвертичных русел, ложбин и других врезов, которые могут наследовать линейные зоны. Эти нарушения рассматриваются в качестве зон повышенной проницаемости, выраженных пониженными физико-механическими характеристиками грунтов. Исследованы структурно-геоморфологические, геологические и гидрогеологические условия площадки Балаковской АЭС (БалАЭС). Выделено десять линейных зон, которые согласуются с протяженными неровностями погребенного рельефа — палеоврезами. На земной поверхности с ними согласуются малозаметные ложбины, которые на космоснимках дешифрируются в виде линейных зон. Анализ данных многолетних геодезических наблюдений за деформациями фундаментов сооружений БалАЭС показал, что реакторные отделения энергоблоков 1–4 претерпевают неравномерные сверхнормативные осадки и крены, направление которых в той или иной степени согласуется с выявленными погребенными палеоврезами, выполненными разнотипными по составу и строению отложениями, с которыми связывается перераспределение грунтовых и напорных вод, а также возможное развитие суффозионных процессов. Сделан вывод, что при прогнозировании поведения грунтов оснований зданий и сооружений необходимо учитывать неровности погребенного рельефа, связанные с особенностями строения четвертичных аллювиальных грунтов и локальной изменчивостью их физико-механических свойств.

Ключевые слова: неотектоника, погребенный рельеф, палеоврезы, фациальная изменчивость, линейные зоны, зоны повышенной проницаемости, грунтовое основание, технический мониторинг, осадки и крены реакторных отделений

DOI: 10.31857/S0869780922030043

ВВЕДЕНИЕ

Балаковская АЭС (БалАЭС) расположена в одноименном районе Саратовской области, на левом берегу Саратовского водохранилища (рис. 1). Урез воды (межень) этого искусственного водного объекта поднят до абс. отметки +28 м, что привело к полному затоплению поймы и первой террасы р. Волга. Площадка АЭС приурочена ко II надпойменной террасе р. Волга, поверхность которой находится на с абс. отметках +(30–38) м.

Атомные электростанции относятся к особо опасным и технически сложным объектам повышенного уровня ответственности, которые требуют специального подхода к проведению инже-

нерных изысканий¹. Расположение АЭС в долинах крупных рек определяет специфику изучения террасовых отложений, которые, как правило, являются фациально изменчивыми, песчаными и глинистыми. Отложения характеризуются различным водонасыщением и консистенцией. Изучение условий залегания этих отложений позволяет получить представление о погребенных формах рельефа — палеоврезах. Неровности

¹ Федеральный закон от 29.12.2004 N 190-ФЗ “Градостроительный кодекс Российской Федерации” // <http://www.pravo.gov.ru>. Федеральный закон от 30.12.2009 N 384-ФЗ “Технический регламент о безопасности зданий и сооружений” // <http://www.pravo.gov.ru>.

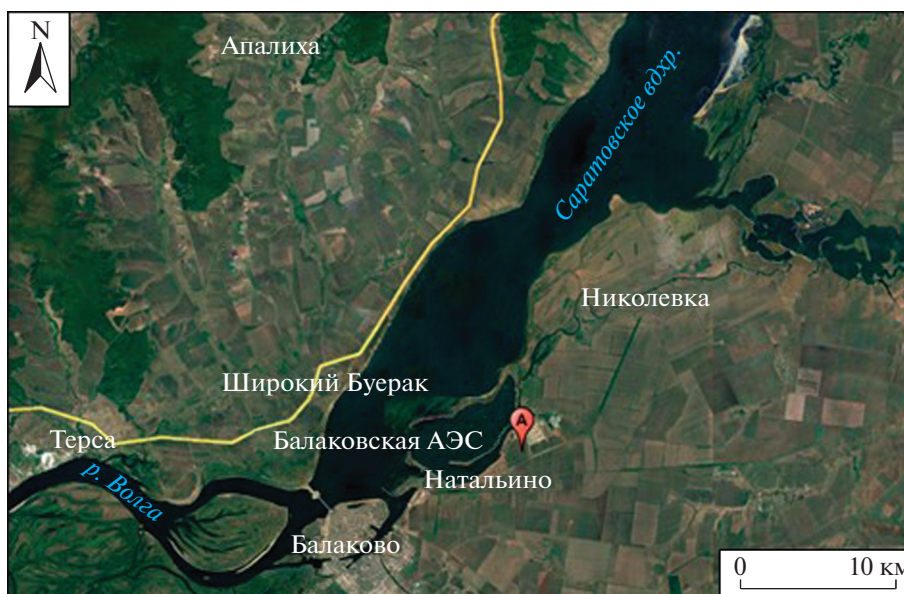


Рис. 1. Местоположение площадки Балаковской АЭС (снимок Google Earth).

погребенных форм часто сопровождаются изменением состава отложений, гидрогеологическими особенностями, нередко обусловленными неотектоническими причинами — зонами повышенной трещиноватости и проницаемости.

Несмотря на комплексность изучения инженерно-геологических условий площадки БалАЭС, в том числе физико-механических свойств грунтов, основные здания и сооружения электростанции испытывают неравномерные осадки и крены, причины которых до настоящего времени в полной мере не изучены. Одной из причин смещений инженерных сооружений могут быть погребенные формы рельефа, выполненные разными по составу и свойствам отложениями [3, 5]. Выражением этих форм являются локальные русла, ложбины и др. неровности — все вместе рассматриваемые в качестве палеоврезов. Они считаются своеобразными суффузионными “каналами”, по которым происходит переток мелких частиц под влиянием грунтовых и подземных вод. Палеоврезы могут являться одним из факторов, влияющих на осадки и крены фундаментов зданий и сооружений атомных станций [3, 4].

В соответствии с действующими нормативными документами², изучение палеорельефа площадок размещения АЭС не входит в задачи инженерно-геологических изысканий. Однако погребенные формы фациально изменчивы. Они

заполнены изменяющимися по вещественному и гранулометрическому составу отложениями — русловыми, пойменными и старичными фациями, для которых характерны повышенная проницаемость и пониженные физико-механические свойства локального характера. Эти особенности могут оказывать влияние на напряженно-деформированное состояние грунтовых оснований зданий и сооружений АЭС [4].

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Определение влияния погребенных форм рельефа (палеоврезов) на устойчивость площадки размещения БалАЭС основано на структурно-геоморфологических (геодинамических) исследованиях, включая дешифрирование космоснимков и построение геологических разрезов на основе геолого-геофизических и буровых данных. С целью оценки величин и направленности техногенных смещений были привлечены фондовые данные многолетних геодезических наблюдений (техногенный мониторинг) за осадками и кренами фундаментов основных зданий и сооружений БалАЭС. Хорошим подспорьем были данные гидрогеологических, гелиевых и радоновых наблюдений, а также другие фондовые карты и разрезы разнообразного геологического назначения. Комплексный подход позволил выявить возможную связь деформаций фундаментов реакторных отделений с палеоврезами, наследующих зоны повышенной проницаемости грунтов.

² СП 151.13330.2012 Инженерные изыскания для размещения, проектирования и строительства АЭС. Часть I. Инженерные изыскания для разработки предпроектной документации (выбор пункта и выбор площадки размещения АЭС). <https://docs.cntd.ru/document/1200103171>

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для оценки влияния палеоврезов на устойчивость площадки АЭС на исследуемой территории проведены следующие работы: 1) рассмотрено геологическое строение, 2) определены структурно-геоморфологические условия, 3) оценена гидрогеологическая обстановка и 4) выполнен анализ данных многолетних геодезических наблюдений.

Геологическое строение площадки БалАЭС изучено до глубины 150 м. Она сложена отложениями верхнего, среднего и нижнего отделов четвертичной системы, залегающими на эрозионной поверхности среднеюрских отложений [1].

Верхний отдел четвертичной системы (aQ_{III}) состоит из верхне-, средне- и нижнехвалынских аллювиальных отложений. По генезису они являются аллювиальными (I терраса соответствует сарпинскому и енотаевскому горизонтам) и аллювиально-морскими (II терраса соответствует терешкинскому горизонту). Обе террасы соответствуют хвалынскому надгоризонту.

Верхне- и нижнехвалынские отложения являются лиманными ($fsQ_{III}hv_3$, $limQ_{III}hv_2$) и озерно-лиманными ($l-limQ_{III}hv_2$). Первые представлены суглинками с включениями гидроокислов марганца и перегнивших корней растений мощностью до 1.5 м и ниже глинами твердыми и полутвердыми мощностью до 2 м, они полностью удалены в процессе сооружения котлована под реакторные отделения и машинные залы. Вторые представлены суглинками макропористыми, известковистыми от полутвердой до текучепластичной консистенции. Эти отложения фрагментарно присутствуют под машинными залами первого, четвертого и пятого энергоблоков, заполняя локальные понижения в палеорельефе.

Нижнехвалынские отложения ($aQ_{III}hv_1$) по литолого-генетическим признакам разделены на пойменную ($a^{pt}Q_{III}hv_1$), старичную ($a^{st}Q_{III}hv_1$) и русловую ($a^{rl}Q_{III}hv_1$) фации. Пойменная фация залегает под щебеночной подушкой и озерно-лиманными отложениями и представлена преимущественно глинами. В верхней части разреза глины характеризуются от твердой до мягко пластичной консистенции с прожилками карбонатов и вкраплениями гидроокислов марганца мощностью до 7.0 м. В нижней части разреза глины характеризуются от твердой до тугопластичной консистенцией и являются комковатыми и известковистыми мощностью до 9.2 м. Старичная фация сложена суглинками и глинами от полутвердой до текучепластичной консистенции с включениями карбонатов и прослоями пылеватого песка мощностью до 5 м. Русловая фация представлена песками пылеватыми, мелкой и

средней крупности с редкими прослоями глин и суглинков общей мощностью от 11 до 21 м.

Средний отдел (aQ_{II}) состоит из верхнего и нижнего горизонтов. Верхний горизонт представлен отложениями русловой фации (aQ_{II}^2), песками преимущественно мелкой и средней крупности, реже пылеватыми с тонкими прослоями суглинка мощностью 2.6–15.5 м. Нижний горизонт соответствует русловой и старичной фациям. Старичная фация ($a^{st}Q_{II}^1$) сложена глинами, суглинками и супесями с тонкими прослоями и гнездами песка мощностью 0.7–13.0 м. Русловая фация (aQ_{II}^1) представлена песками от пылеватых до крупных, реже супесями, в подошве с включениями гравия и гальки песчаника общей мощностью 16.4–23.0 м.

Нижний отдел (aQ_I) сложен аллювиальными отложениями IV (тарлыкской) террасы: глинами, суглинками, супесями и песками различной разности мощностью от 37.7 до 40.7 м. Их формирование связывается с вернебакинской регрессией морского бассейна.

Среднеюрские отложения батского яруса (J_2bt) представлены глинами от полутвердой до твердой консистенции, с прослоями и линзами алевролита и известняка, с включениями пирита, с редкими тонкими прослоями песчаника. Вскрытая мощность отложений составляет порядка 40 м.

В связи с планировочными работами на геологических отложениях залегают техногенные образования. Среди них различаются грунты балластной “подушки”, представленные щебенчистыми, дресвяными и гравийными разностями доломитового состава. Широко представлены искусственные грунты обратной засыпки пазух котлованов энергоблоков, состоящие из мелких и средних песков с включением щебня и дресвы доломита. Глиняный “замок” сложен перемешанными суглинками и глинами. Общая мощность техногенных грунтов составляет 14–20 м. Площадка АЭС спланирована до уровня +34 м, что на 6 м выше меженного уровня Саратовского водохранилища.

Структурно-геоморфологические исследования были нацелены на изучение четвертичных отложений, речных террас и палеоврезов. Речной режим, изменяющийся под влиянием тектоники и климата, сформировал в регионе разнотипные по генезису аллювиальные и морские отложения, частично заполняющие и погребенные локальные русла, врезы и ложбины. Эти отложения формировались в условиях неотектонических движений, характеризующихся эпейрогенетическим характером развития. При поднятии и отступании моря в низах четвертичных врезов накапливались аллювиальные фации, при опуска-

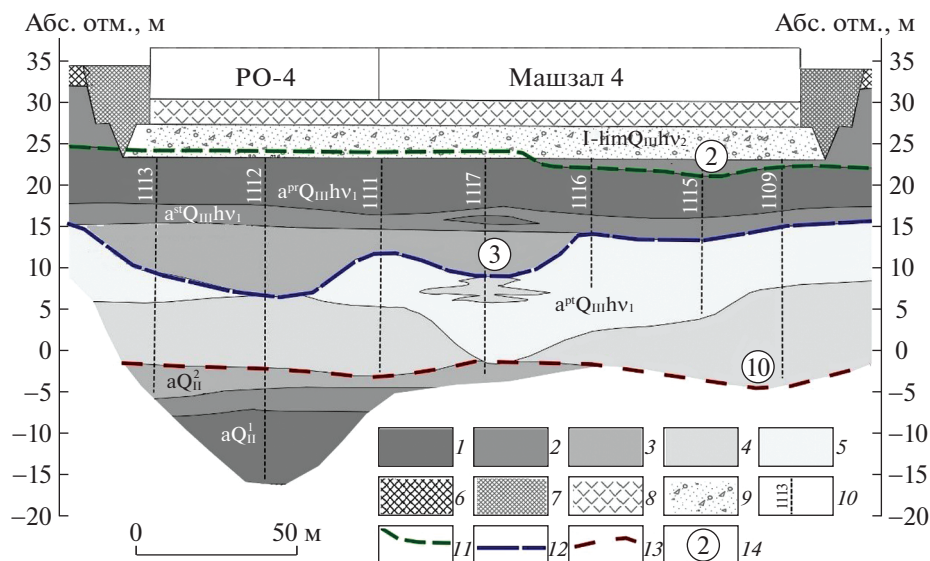


Рис. 2. Фрагмент структурно-геоморфологического разреза. Средне-позднечетвертичные аллювиальные отложения: 1 – глины, 2 – суглинки, 3 – супесь, 4 – песок мелкий, 5 – песок средней крупности, 6 – насыпной грунт. Элементы техногенного строения АЭС: 7 – глиняный “замок”, 8 – фундаментные плиты, 9 – щебеночная “подушка”, 10 – инженерно-геологические скважины и их номер. Погребенные границы II террасы (терешкинский горизонт), выделенные по подошвам: 11 – озерно-лиманных отложений ($l\text{-lim}Q_{III}hv_2$), 12 – пойменных ($a^{pr}Q_{III}hv_1$) и старичных ($a^{st}Q_{III}hv_1$) отложений, 13 – русловых отложений ($a^{pr}Q_{III}hv_1$), 14 – номера линейных зон (см. рис. 3).

нии и трансгрессии в верхах разрезов появлялись морские фации.

На площадке АЭС тип строения речных террас является наложенным аккумулятивным. На отложениях III террасы залегает II терраса, к которой прислонена I терраса, расположенная за пределами площадки и ныне затопленная водохранилищем. Площадка с реакторными отделениями расположена на II террасе, в которой на основе особенностей геологического строения были выделены три границы (уровни): 1) по подошве озерно-лиманных отложений, 2) по подошве пойменных и старичных отложений и 3) по подошве русловой фации II террасы, т.е. между II и III террасами (рис. 2). В подошвах этих отложений были выявлены погребенные формы рельефа (русла и ложбины) и установлено их наследование (согласованность).

Палеоврезы трех разноглубинных уровней являются протяженными и одинаково ориентированными в северо-западном направлении. Такие формы рельефа, как правило, являются древними ложбинами стока временных и постоянных вод, отчасти наследующими ослабленные зоны, выраженные вертикальной трещиноватостью. Признаками влияния трещиноватости в песчаных породах могут служить устойчивое образование вертикальных (столбчатых) фациальных границ, выраженные изменениями состава отложений, включая их гранулометрию. Такие неоднородности обычно формируются русловыми потоками, которые наследуют зоны вертикальных трещин.

При этом появление более крупного песка среди более мелкого говорит об увеличении скорости потока воды в первых. В нарушенных зонах инфильтрация водно-газовых флюидов, как правило, является более интенсивной, чем вне этих зон, что доказывается измерениями радона и гелия. В настоящее время с погребенными формами рельефа (палеоврезами) может быть связана циркуляция подземных вод, поэтому это важно учитывать при прогнозировании вероятности развития суффозионных процессов.

Выделенные палеоврезы II террасы, очевидно, связаны с более крупными палеодолинами. Под II террасой залегает III терраса, в основании которой находится ниже-среднечетвертичная сингильская палеодолина ($aQ_{II}sn$). Она наложена на более древние доапшеронские и доакчагыльские палеодолины, формирование которых связано с эволюцией самой крупной артерии – реки Волга. Тальвеги палеодолин находятся на относительно небольшой глубине от –35 до –75 м. Затопленная Саратовским водохранилищем пойма Волги находится на высоте +12 м. Небольшая глубина их тальвегов (не более 47–87 м) и наличие Западно-Волжской геодинамически активной зоны не могло не сказаться на повышенном перетоке (обмене) и инфильтрации поверхностных и подземных вод [2].

По протяженным палеоврезам были выделены линейные зоны в основном северо-западного и субширотного простирания (рис. 3). На зем-

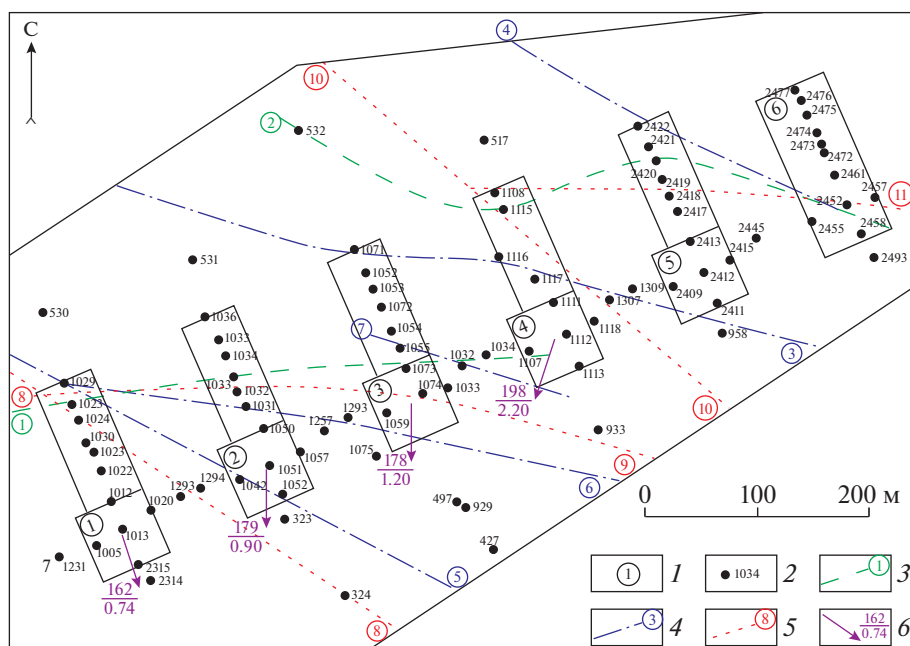


Рис. 3. Линеаментные зоны площадки БалАЭС и крены фундаментов реакторных отделений. 1 – реакторные отделения (РО) и их номер; 2 – инженерно-геологические скважины и их номер; 3–5 – линеаментные зоны и их номер, согласующиеся с палеоврезами, установленные: 3 – в подошве озерно-лиманных отложений (№ 1, 2), 4 – в подошве пойменных и старичных отложений (№ 3–7), 5 – в подошве русловых отложений (№ 8–11); 6 – направление кренов фундаментов РО: в числителе – азимут, град., в знаменателе – величина относительного крена, мм/м.

ной поверхности с ними согласуются малозаметные ложбины, которые на космоснимках дешифрируются в виде однотипных линеаментов. Характерным для них является согласованность с простиранием расположенного рядом с площадкой прямолинейным оврагом Котомин, включая транзитные зоны линеаментов, пересекающих правобережье и левобережье Волги. На правобережье Волги в юрских отложениях эти линеаменты выражены повышенной трещиноватостью сбросового типа.

Формирование протяженных линеаментов связывается с геодинамической активностью Прикаспийского неотектонического прогиба. Под влиянием опускающегося прогиба в приповерхностной зоне земной коры образуются зоны сбросовых напряжений. В коренных породах под их влиянием создается трещиноватость сбросового типа. В нелитифицированных обводненных четвертичных отложениях с ними связываются образование столбчатых фациальных границ, газо-флюидных аномалий и снижение физико-механических свойств грунтов. Эти и другие аргументы позволили отнести рассматриваемые линеаменты площадки АЭС к категории геодинамических.

Гидрогеологические условия площадки АЭС изменяются под влиянием проницаемых геодинамических зон. Как правило, эти зоны могут перераспределять и концентрировать потоки грунтовых и напорных вод. В отложениях формируются

фильтрационные гидрогеологические окна (депрессии), образуются избыточное обводнение с образованием куполов и градиентные зоны изменения скорости потока. Геодинамические зоны часто являются своеобразными “каналами”, по которым происходит интенсивная суффозия и др. интенсивные процессы [1]. Эти процессы могут приводить к развитию негативных осадков и кренов зданий и сооружений.

Гидрогеологические условия БалАЭС характеризуются наличием двух основных водоносных горизонтов: верхнего грунтового и нижнего напорного. Первый безнапорный горизонт со средним многолетним уровнем 3.5 м приурочен к озерно-лиманным суглинкам, распространенным локально. Второй – напорный, приурочен к аллювиальным отложениям. Воды аллювиального горизонта вскрыты на глубинах от 16 до 21 м, их напор изменяется от 4 до 17 м. При этом пьезометрическая поверхность водоносного горизонта на участке энергоблоков 1–4 располагается ниже поверхности озерно-лиманного горизонта.

С учетом того, что фундаментные плиты энергоблоков уложены на балластную “подушку”, подошва которой лежит на слабопроницаемых глинах пойменной фации нижнехвалынского аллювия, а по периметру она ограждена глиняным “замком”, выполненным от верха щебеночной “подушки” до кровли пойменных глин, можно утверждать, что фундаменты энергоблоков по при-

нятым проектным решениям должны быть изолированы от окружающего их озерно-лиманного горизонта. Тем не менее, за счет инфильтрации атмосферных осадков, техногенных утечек из водонесущих коммуникаций, и, возможно, в результате перетекания из грунтового водоносного горизонта, в щебенистом основании энергоблоков сформировался техногенный водоносный горизонт, водовмещающими грунтами которого являются щебень доломита и песчано-щебенистые грунты.

Таким образом, наличие двух безнапорных и напорного водных горизонтов, из которых последний находится ниже первых двух на 1–4 м, на площадке созданы условия для перетока разнотипных (разнотипных) вод друг в друга и переноса мелких песчаных и глинистых частиц по проницаемым геодинамическим зонам. Эти нарушения, рассматриваемые в качестве зон повышенной трещиноватости, наследуются погребенными палеорезами, в которых фациальные границы песчаных и глинистых отложений нередко являются субвертикальными и прямолинейными.

Анализ данных многолетних геодезических наблюдений, проводимых на площадке БалАЭС с начала момента ее строительства, позволил выявить возможную связь неравномерных сверхнормативных осадок и кренов фундаментов РО энергоблоков 1–4 с выделенными геодинамическими зонами. Согласно мониторинговым (режимным) наблюдениям, проведенным Московским филиалом АО «Атомэнергопроект» (Московский проектный институт, МПИ АЭП), для РО БалАЭС были получены следующие результаты.

РО-1 подвергается осадке, равной 43.6 см, что соответствует 145% от предельного значения. Относительный крен фундамента РО-1 равен 0.74 мм/м, что составляет 74% от контролируемого предельного значения (1.0 мм/м). Крен фундамента ориентирован по азимуту 162° в направлении протяженной линеamentной зоны северо-западного простирания. Зона согласуется с погребенными эрозионными формами, находящимися на разных глубинах четвертичных отложений (см. рис. 3).

РО-2 испытывает среднюю осадку фундамента, которая составляет 50.8 см, что соответствует 169% от предельного значения. Относительный крен фундамента РО-2 равен 0.9 мм/м, что составляет 90% от предельного значения. Крен фундамента ориентирован по азимуту 179° в сторону локализации двух разобщенных друг от друга, но согласных по простиранию линеamentных зон северо-западного простирания. Они согласуются с пологими и широкими врезами, выделен-

ными на разных глубинах четвертичных отложений.

РО-3 претерпевает осадку, средняя величина которой составляет 55.0 см, что соответствует 183% от предельно-допустимого значения. Крен фундамента РО-3 равен 1.2 мм/м, что отвечает 120% от предельного значения (1.0 мм/м). Направление крена – 178°. Грунтовое основание РО-3 пересекается несколькими геодинамическими зонами. Часть из них (№ 6 и 9) согласуется с относительно глубоким врезом ступенеобразной формы, амплитуда которого составляет от 4 до 6 м. Три других зоны (№ 1, 3 и 7) пересекают машзал РО-3. Субширотная зона № 1, выделенная по подошве озерно-лиманных отложений, очень протяженная. У РО-2 она согласуется с понижением подошвы доломитовой подушки, толщина которой несколько увеличена. Характерно, что три РО (1–3) кренятся по азимуту 162°–178° исключительно в сторону этих зон.

РО-4 подвергается осадке фундамента в среднем на 47.3 см, что соответствует 158% от предельного значения. Относительный крен фундамента РО-4 составляет 2.2 мм/м, что соответствует 221% от предельного значения. Направление крена – 198°. Грунтовое основание РО-4 пересекается двумя линеamentными зонами (№ 1 и 7), перпендикулярно к простиранию которых направлен крен фундамента. Зона № 1 согласуется с Котоминским линеamentом, проходящим севернее площадки АЭС. Зона № 7 согласуется с погребенным углубленным врезом (8 м), выполненным супесчаными отложениями.

Отметим, что здания РО-5 и РО-6, находящиеся в стадии строительства, также испытывают осадки фундаментов, средние величины которых составляют 21.5 и 2.2 см соответственно, что меньше предельно допустимого значения. При этом крен фундамента РО-5 имеет юго-восточное направление, что отчасти согласуется с простиранием линеamentной зоны № 3, пересекающей его грунтовое основание.

Следует признать, что в большинстве случаев скважины, необходимые для выявления погребенных неровностей рельефа, пробурены на площадках реакторных отделений и машзалов, и мало за их пределами. Многие имеющиеся скважины не глубокие и не вскрывают подошву II террасы, что не позволяет выявить все неровности погребенного рельефа. С этой точки зрения требуются дополнительные исследования на площадке АЭС в рамках охраняемого периметра и за ее пределами, включая выявление геодинамических зон, рассматриваемых в качестве ослабленных проницаемых.

ВЫВОДЫ

Состав и строение II верхнечетвертичной террасы, на которой расположена площадка Балаковской АЭС, неоднородны. В ней выделяются разнотипные по морфологии погребенные врезы локального характера (палеоврезы), сложенные разными по составу и строению аллювиальными отложениями. Для них характерна относительно большая протяженность и часто сквозной снизу вверх по разрезу тип строения. В современном рельефе, достаточно выравненном, они согласуются со слабо выраженными ложбинами, которые наследуют линеаменты. В среднеюрских отложениях, поверхность которых залегает на глубине более 50 м под рассматриваемыми аллювиальными отложениями, они согласуются с зонами трещиноватости сбросового типа. Подобного типа нарушения были выявлены в юрских и меловых отложениях во время полевых работ 2014 г.

Линеаменты характеризуются преимущественно северо-западным простиранием и глубинным характером заложения. Сравнение с более протяженными трансзональными региональными линеаментами, пересекающими левобережье и правобережье Волги, показало их согласованность. Эти линеаменты отчасти наследуются притоками более крупных доакчагыльских, доапшеронских и сингильских палеорусел, широко распространенных в рассматриваемом регионе и связанных с эволюцией долины р. Волга.

Формирование локальных и региональных линеаментных зон связывается с геодинамической активностью опускающейся Прикаспийской впадины, находящейся в юго-восточной части Русской плиты. Ее активность распространяется довольно широко, что позволило, в свое время, выделить Циркум-Прикаспийскую геодинамическую систему [2]. В приповерхностной части земной коры ее активность выражена напряжениями растяжения. В этих условиях в рассматриваемых зонах формируется повышенная трещиноватость открытого типа со сбросовым характером развития, что выражается повышенной их проницаемостью и снижением физико-механических свойств грунтов. Эти и другие признаки позволяют отнести рассматриваемые линеаментные зоны к категории геодинамических.

Результаты многолетних геодезических наблюдений за реакторными отделениями БалАЭС показали, что осадки их фундаментов превышают предельно допустимые значения, как и величины относительных кренов фундаментов РО-3 и РО-4. Исключением являются РО-1 и РО-2, где относительные крены меньше предельного — 1 мм/м. Причины такого поведения фундаментов реакторных отделений могут быть обусловлены лине-

аментными (геодинамическими) зонами, характеризующимися повышенной проницаемостью. Они согласуются с погребенными, относительно высокоградиентными палеоврезами, выполненными разнотипными по составу и строению отложениями, с которыми связывается перераспределение грунтовых и напорных вод.

Исследования показали, что разнотипность состава отложений, слагающих погребенные палеоврезы, и их повышенная проницаемость недооценивается при определении причин и механизмов активизации осадок энергоблоков. С палеоврезами связывается пространственная изменчивость динамических фаз аллювия, определяющих интенсивность осадконакопления, состав отложений и их современные свойства.

При прогнозировании поведения грунтовых оснований зданий и сооружений, а также при оценке возможного развития суффозионных процессов необходимо учитывать погребенные неоднородности, связанные с особенностями строения четвертичных отложений и степенью изменчивости их физико-механических характеристик.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Востряков А.В.* Четвертичные отложения, рельеф и неотектоника Нижнего Поволжья. Саратов: Изд. СГУ, 1978. 184 с.
2. *Макаров В.И.* Новейшая тектоника и рельеф Восточно-Европейской платформы (общие и частные вопросы) // Глубинное строение и современные геодинамические процессы в литосфере Восточно-Европейской платформы. Екатеринбург: УрО РАН, 2003. С. 145–245.
3. *Макарова Н.В., Гусельцев А.С., Суханова Т.В., Макеев В.М.* Геологические условия развития суффозионных процессов и их активность на Сальско-Донском неотектоническом поднятии // Геоэкология. 2019. № 6. С. 19–29.
4. *Макеев В.М., Гусельцев А.С., Кравченко И.М.* Проблема выявления ослабленных зон при изучении инженерно-геологических условий (на примере территории Бушерской АЭС) // Геоэкология. 2020. № 5. С. 24–31.
5. *Пикулик Е.А., Макеев В.М., Суханова Т.В.* Структурно-геоморфологические исследования района среднего течения Дона // VIII Шукинские чтения: рельеф и природопользование. М.: Географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова. 2020. С. 225–230.

STRUCTURAL-GEOMORPHOLOGICAL CONDITIONS OF THE BALAKOVO NUCLEAR POWER PLANT SITE IN TERMS OF THE STABILITY OF ITS BUILDINGS

I. M. Kravchenko^{a, #}, E. A. Pikulik^a, V. M. Makeev^a, A. S. Gousseltsev^{b, ##}, and E. A. Makeeva^a

^a *Sergeev Institute of Environmental Geoscience, Russian Academy of Sciences, Ulanskii per., 13, str. 2, Moscow, 101000, Russia*

^b *Scientific and Engineering Centre for Nuclear and Radiation Safety, M. Krasnoselskaya ul., 2/8, str. 5, Moscow, 107140 Russia*

[#] *E-mail: kravchenkoilyamax@yandex.ru*

^{##} *E-mail: gouseltsev@secnrs.ru*

The study of buried landforms during engineering-geological surveys is considered. The necessity of tracing and comprehensive studying Quaternary channels, troughs, and other cuttings, which may inherit lineament zones is shown by the example of Balakovo NPP site, which belongs to especially hazardous and complicated engineering objects. These zones show high water permeability and weak physico-mechanical properties of soils. Structural geomorphological, geological, and hydrogeological conditions at the Balakovo NPP site were investigated. Most of data were obtained from borehole cores. Ten lineament zones were identified, which follow paleocuttings in the buried relief. On the Earth's surface, they are marked by small depressions, which are interpreted as lineaments on satellite images. The long-term geodetic observations over deformations of ground bases of NPP buildings revealed uneven deformations and tilts at the compartment units 1–4 of the reactor. Tilting direction more or less fits the location of paleocuttings filled with deposits of different composition and structure. The groundwater and confined aquifers are redistributed there, and suffosion may also develop. Thus, to predict the behavior of ground bases of buildings and engineering structures, it is necessary to consider buried landforms related to the specific structure of the Quaternary alluvial soils and local variability of their physical and mechanical properties.

Keywords: *neotectonics, buried relief, paleocuttings, facies variability, lineament zones, zones of increased permeability, ground base, technical monitoring, deformations of nuclear power plant buildings*

REFERENCES

1. Vostryakov, A.V. *Chetvertichnye otlozheniya, rel'ef i neotektonika Nizhnego Povolzh'ya* [Quaternary deposits, relief and neotectonics of the Lower Volga region]. Saratov, SGU Publ., 1978, 184 p. (in Russian)
2. Makarov, V.I. *Noveishaya tektonika i rel'ef Vostochno-Evropeiskoi platformy (obshchie i chastnye voprosy)*. [The newest tectonics and relief of East European platform (general and specific issues)]. Glubinnoe stroenie i sovremennye geodinamicheskie protsessy v litosfere Vostochno-Evropeiskoi platformy [Deep structure and modern geodynamic processes in the lithosphere of the East European platform]. Yekaterinburg, Urals Branch RAS, 2003, pp. 145–245. (in Russian)
3. Makarova, N.V., Gousseltsev, A.S., Sukhanova, T.V., Makeev, V.M. *Geologicheskie usloviya razvitiya suffozionnykh protsessov i ikh aktivnost' na Sal'sko-Donskom neotektonicheskom podnyatii* [Geological conditions of suffosion development and its activity at Sal'sko-Donskoe neotectonic uplift]. *Geoekologiya*, 2019, no. 6, pp. 19–29. (in Russian)
4. Makeev, V.M., Gousseltsev, A.S., Kravchenko, I.M. *Problema vyyavleniya oslablennykh zon pri izuchenii inzhenerno-geologicheskikh uslovii (na primere territorii Busherskoi AES)* [The problem of distinguishing weakened zones upon the study of engineering geological conditions]. *Geoekologiya*, 2020, no. 5, pp. 24–31. (in Russian)
5. Pikulik, E.A., Makeev, V.M., Sukhanova, T.V. *Strukturno-geomorfologicheskie issledovaniya raiona srednego techeniya Dona* [Structural geomorphological studies in the middle reaches of Don River]. *VIII Shchukinskie chteniya: rel'ef i prirodopol'zovanie*. Moscow, Faculty of geography, Lomonosov Moscow State University, pp. 225–230. (in Russian)