

ПРИРОДНЫЕ И ТЕХНОПРИРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ

УДК 551.435. (470.61)

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ РАЗВИТИЯ СУФФОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ И ИХ АКТИВНОСТЬ НА САЛЬСКО-ДОНСКОМ НЕОТЕКТОНИЧЕСКОМ ПОДНЯТИИ (РАЙОН РОСТОВСКОЙ АЭС)

© 2019 г. Н. В. Макарова^{1,*}, А. С. Гусельцев^{2,**}, Т. В. Суханова¹, В. М. Макеев^{3,***}

¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, геологический факультет, Ленинские Горы, 1, Москва, 119991 Россия

*E-mail: makarovanat@yandex.ru

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

**E-mail: gouseltsev@secnrs.ru

³Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, Уланский пер., 13, стр. 2, Москва, 101000 Россия

***E-mail: vmakeev@mail.ru

Поступила в редакцию 22.07.2019 г.

В статье рассматриваются процессы суффозии и их влияние на устойчивость территории размещения площадки Ростовской атомной электростанции. На развитие и активизацию суффозии влияют естественные геологические, тектонические, геоморфологические, гидрогеологические условия, а также техногенные факторы. К ним относятся преобладание в геологическом разрезе песков плиоценового и четвертичного возраста, наличие подстилающего их глинистого водоупора, естественные сезонные и техногенные колебания уровня Цимлянского водохранилища, откачка подземных вод. Большое значение имеет погребенный рельеф в виде склона и расчленяющих его эрозионных ложбин. Вероятно, эти ложбины являются каналами, по которым выносятся мелкие песчаные частицы в водохранилище. Суффозией можно объяснить просадки земной поверхности, вызывающие деформации грунтовых оснований и крены некоторых сооружений АЭС. Тектонические условия определяют образование активных зон и развитие трещиноватости в отложениях покровного комплекса, способствующих инфильтрации поверхностных вод. В результате суффозионных процессов, усиливающихся тектоническим и техногенным факторами, наблюдаются оседание грунтового основания отдельных участков площадки и крены инженерных сооружений.

Ключевые слова: суффозия, водонасыщенность, проседания, погребенные формы рельефа, геодинамически активные зоны, современные напряжения, энергоблоки атомной станции.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-78092019619-29>

ВВЕДЕНИЕ

Суффозия – это разрушение и вынос потоком подземных вод отдельных компонентов и крупных масс дисперсных и цементированных обломочных пород, в том числе слагающих структурные элементы скальных массивов [4, 7]. Казалось бы, не такой уж заметный и важный процесс, но результаты его проявления (действия) могут быть опасными или даже катастрофическими. Небольшие проседания земной поверхности в виде плоских неглубоких форм (“блюдец”) на водоразделах или в долинах рек и балках могут и не привлечь внимание исследователей. Но провалы грунта на дорогах, асфальта на городских улицах и еще более масштабные разрушения в виде

трещин в зданиях или полного их разрушения (как, например, разрушение цеха одного из заводов в г. Дзержинске Нижегородской обл. в 1998 г.) побуждают искать причину этих явлений. А причиной могут быть суффозионные процессы, обусловленные комплексом геологических условий, часто усиливающихся карстовыми процессами и техногенными факторами.

Район исследования находится на юге России в Ростовской области в междуречье р. Дон и его левого притока р. Сал, на левом берегу Дона, в 15 км восточнее г. Волгодонска и плотины Цимлянской ГЭС (рис. 1). Долина Дона при образовании Цимлянского водохранилища в 1952 г. была затоплена, включая пойму и I террасу, и урез воды

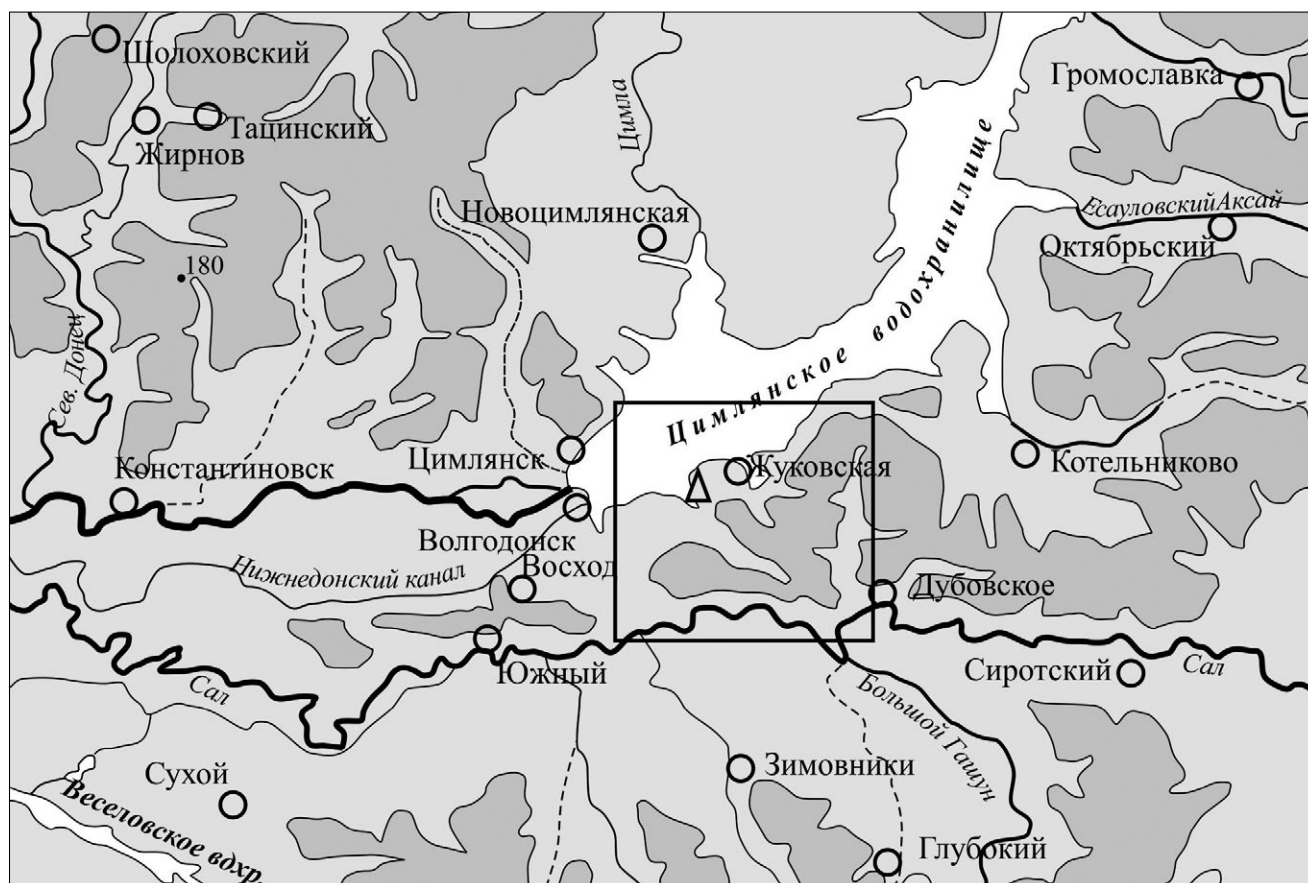


Рис. 1. Обзорная схема района размещения Ростовской АЭС. Значок в виде треугольника – местоположение площадки РоАЭС.

в настоящее время находится на абс. выс. 36 м, что почти на 20 м выше прежнего. В связи с этим резко активизировались процессы абразии побережья.

В этом районе отмечается активность суффозионных процессов, выраженная формами проседания грунта на водоразделах, склонах и днищах балок и оврагов, неравномерными наклонами земной поверхности, о чем говорит изменение высоты и смещения геодезических реперов на территориях расположения инженерных объектов. Все это может негативно влиять на безопасность различных инженерных сооружений, в том числе особо ответственных. В рассматриваемом районе к ним относятся плотина Цимлянского водохранилища и Ростовская АЭС (далее РоАЭС). На РоАЭС и поныне отмечается развитие осадок и кренов отдельных энергоблоков и др. сооружений, которые должны были бы стабилизироваться в соответствии с требованиями Федеральных норм и правил, действующих в атомной энергетике, и с учетом длительности работы энергоблоков.

В рассматриваемом районе для активности суффозионных процессов имеется комплекс геологических, тектонических, гидрогеологических и геоморфологических условий.

Цель исследований – выяснение причин проявления в последнее время интенсивных негативных процессов на северном склоне Сальско-Донского поднятия и, в частности, в районе размещения РоАЭС. Для этого необходимо было исследовать возможное влияние на эти процессы геологических условий, а также техногенного фактора.

Основные методы изучения территории:

- структурно-геоморфологический, применяемый при анализе новейшего тектонического строения территории и выделении региональных и локальных структурных форм,
- геодинамический – для оценки современного поля напряжений; от геодинамических условий зависят некоторые текстурные и структурные особенности отложений, развитых на территории размещения РоАЭС, являющихся основанием промплощадки АЭС,
- анализ буровых данных, на основании которых определялась морфология погребенных поверхностей – кровли и подошвы верхнеолигоцен-нижнемиоценовых и плиоценовых отложений.

При этом учитывались геодезические, геофизические, геохимические и др. данные.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ РАЗВИТИЯ СУФФОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ

В геологическом строении района исследований принимают участие породы разного возраста – от протерозойского до четвертичного включительно. Протерозойские, палеозойские и мезозойские (меловые) породы в пределах района находятся на глубине соответственно 10, 2 км и 400 м и на развитии суффозии непосредственного влияния не оказывают. На верхнемеловых отложениях несогласно залегают нижне- и верхнепалеогеновые отложения, в составе которых присутствуют известковистые пески и глины, а также мергели. Данные о развитии в них карстовых форм отсутствуют.

Новейшие отложения, представленные верхнеолигоцен-нижнемиоценовыми, плиоценовыми и четвертичными отложениями, слагающие верхнюю часть геологического разреза, играют важную роль в обеспечении устойчивости тер-

ритории размещения РоАЭС, так как являются основанием промплощадки. По литологии выделяются три толщи отложений [1, 2]. Нижняя из них – майкопская серия (Pg_3-N_1mk) (ее нижняя часть) – представлена исключительно глинами. Глины темно-серые с коричневатым, зеленоватым или голубоватым оттенком, плотные, часто песчанистые, содержащие прослои глауконитового песка, иногда известковистые. Глины залегают на абс. отм. 8-15 м, т.е. на 20-28 м ниже современного уровня водохранилища. На территории исследования бурением установлена их мощность, меняющаяся от 10 до 27 м. К западу и югу она постепенно увеличивается до 120-160 м. Поверхность глин неровная, со следами размыва, местами сохраняется уклон на запад в соответствии с падением крыла антиклинальной складки. Глины являются региональным водоупором для грунтовых и более глубоких подземных вод.

На глинах майкопской серии с размывом и несогласием горизонтально залегают пески плиоценового возраста, слагающие ергенинскую свиту (N_2e) (рис. 2).

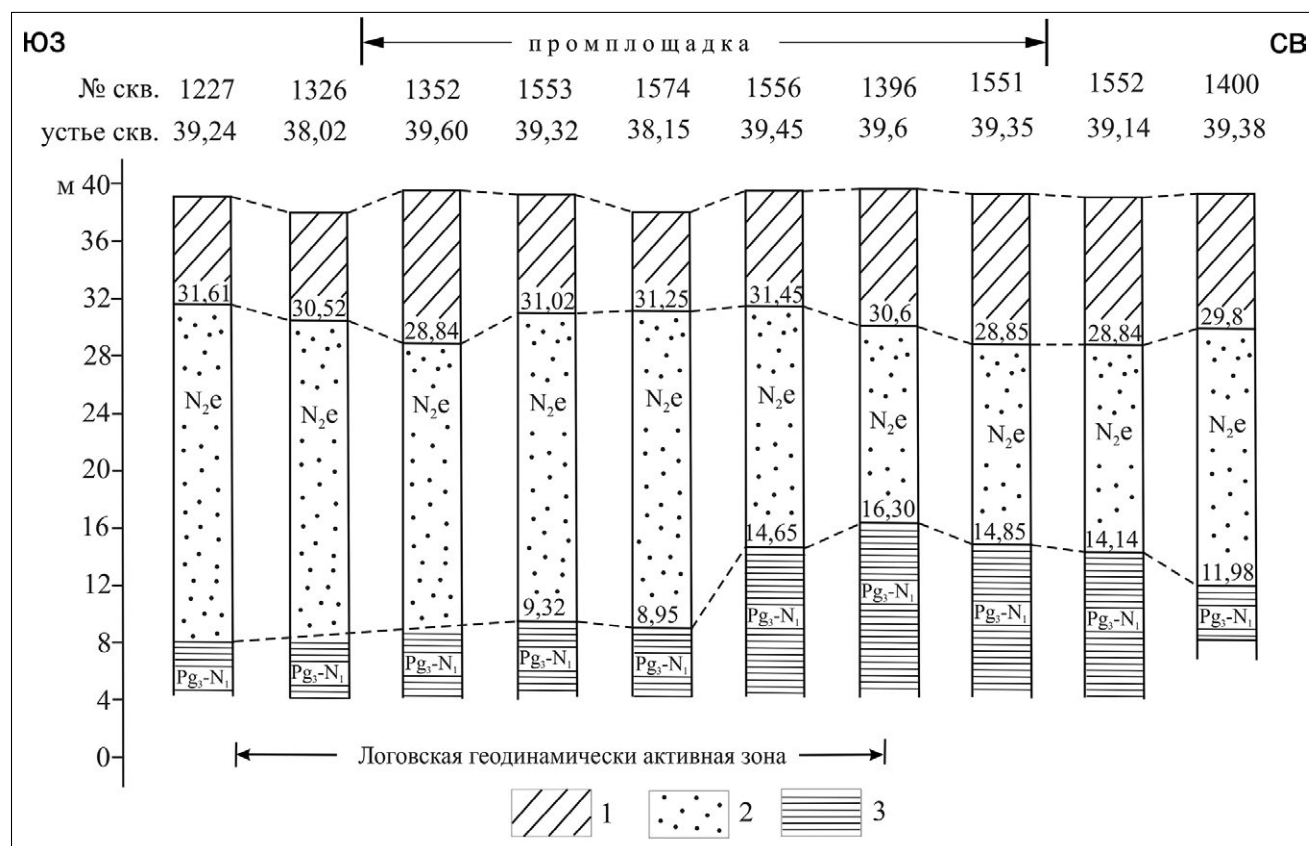


Рис. 2. Детальный разрез площадки РоАЭС, построенный по данным буровых скважин. 1 – покровные золово-делювиальные четвертичные отложения (vdQ_{II-III}); 2 – пески ергенинской свиты плиоцена (N_2e); 3 – глины майкопской серии верхнего олигоцена–нижнего миоцена (Pg_3-N_1). Цифры: вверху – номера скважин (№ скв.) и абс. отметки их устья (устье скв.), внутри колонок – глубина залегания подошвы и кровли разновозрастных отложений.

Пески светло-желтые и белые, кварцевые, раз-
нозернистые, местами пылеватые, в нижней части
гравийные, с мелкой галькой, разной плотности,
горизонтально- и косослоистые. Они являются
древним аллювием Дона, протекавшего с севера
на юг и образовавшего обширный разлив перед
растущим Ставропольским поднятием. Мощ-
ность песков в пределах исследуемого района 8-24
м. К югу она увеличивается до 30 м и более. Кровля
песков в пределах исследуемого района находить-
ся примерно на одном гипсометрическом уров-
не – около 29-32 м абс. выс., и лишь в отдельных
местах она понижена до 16-20 м. Таким образом,

это на 4-15 м ниже современного уровня водохра-
нилища. Вследствие этого в полосе, прилегающей
к водохранилищу, пески, по данным бурения, во-
донасыщены, особенно на контакте с майкопски-
ми глинами,

Ергенинские плиоценовые пески, а местами
и майкопские глины слагают цоколь древних тер-
рас Дона. Так, южнее и восточнее промплощадки
на них залегают отложения позднелиоценовой
террасы (нагавской) (рис. 3), представленные тон-
кослоистыми темными глинами с прослоями тон-
козернистых глинистых песков, являющимися

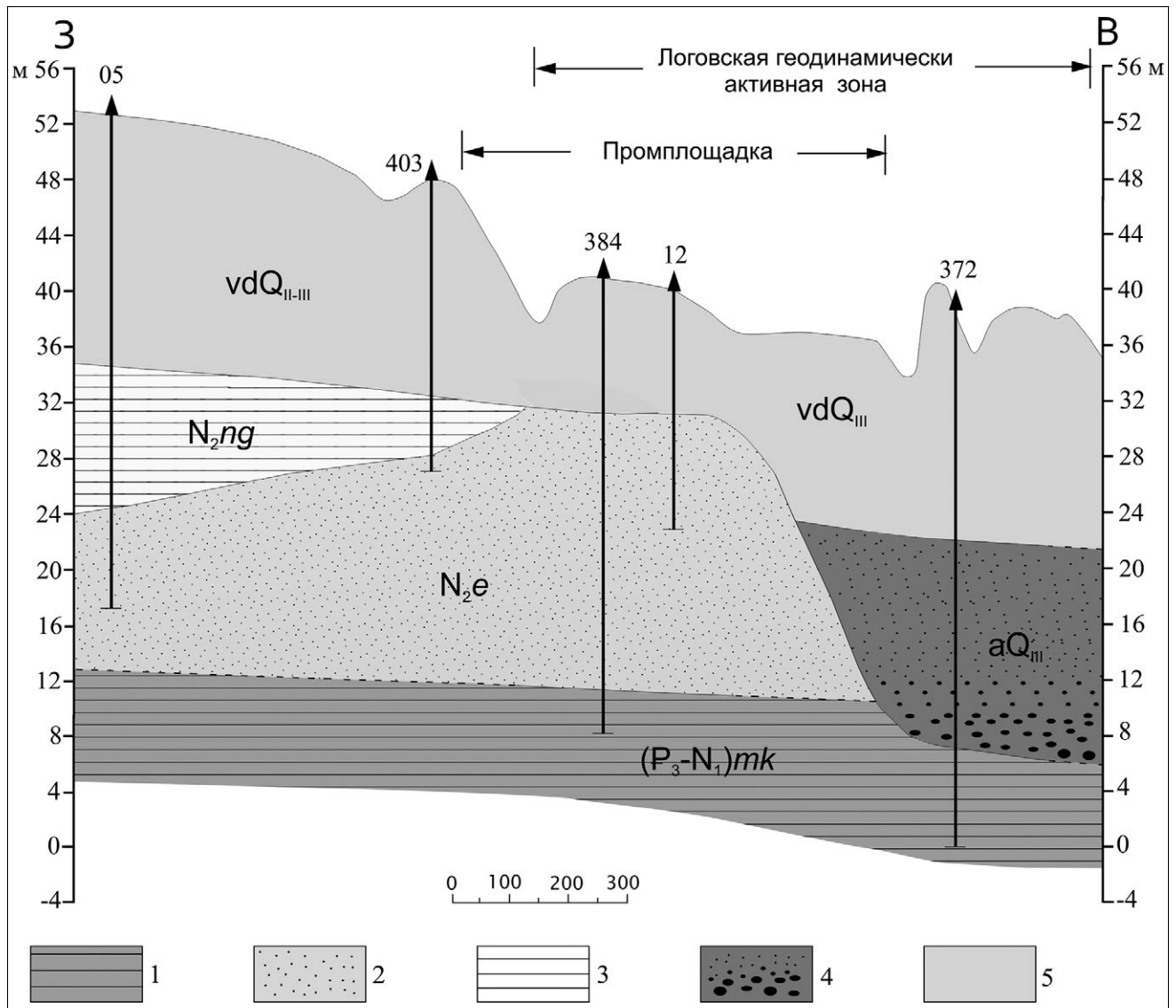


Рис. 3. Геолого-геоморфологический разрез по линии 1-1¹ площадки РоАЭС, включая ее окрестности (положе-
ние разреза см. на рис. 5). 1 – глины майкопской серии позднеолигоцен-раннемиоценовые (P_3-N_1); 2 – пески
ергенинской свиты (N_2e) плиоценовые; 3 – глины нагавской свиты плиоценовые (N_2ng); 4 – аллювий II террасы
р. Дон, сложенный разнозернистыми песками с гравием и галькой в основании (aQ_{III}); 5 – покровный лессово-
почвенный комплекс олово-делювиального генезиса средне-позднелиоценовый и позднелиоценовый (vdQ_{II-III}).

озерными и аллювиальными осадками. Их мощность 8-13 м. Севернее, на побережье водохранилища в плиоценовые пески вложен позднеплейстоценовый аллювий II террасы Дона, в составе которого также пески, мощностью 14-26 м [1, 3]. Наибольшая мощность песков отмечается в переглубленном русле, врезанном в майкопские глины на 2-5 м ниже первоначального уреза воды Дона.

Лабораторные исследования песчаных грунтов верхней части геологического разреза промплощадки РоАЭС, проведенные для оценки опасности развития суффозионных процессов под фундаментами возводимых зданий и сооружений [6], свидетельствуют об их значительной механической неоднородности и потенциально суффозионной неустойчивости.

На аллювиальных песках ергенинской свиты и II террасы Дона, а также на глинах нагавской террасы залегает покровная толща отложений четвертичного возраста разной мощности – лесово-почвенный комплекс эолово-делювиального генезиса от средне- до позднеплейстоценового возраста. Он состоит из чередования лессов или лессовидных суглинков и разделяющих их погребенных почвенных горизонтов. Лессы желтовато-коричневые, палевые, пылеватые, известковистые, местами засоленные, разной плотности, микропористые, трещиноватые. Суглинки тонкослоистые с небольшой примесью песка или гравия. Горизонты почв состоят из темных, комковатых и пористых суглинков. Общая мощность покровных образований от 8-10 до 20 м на ергенинских песках и 12-16 м на аллювии II террасы. Микропористость и трещиноватость лессов и суглинков, наблюдаемые в обнажениях, способствуют инфильтрации поверхностных вод в нижележащие отложения и проседанию земной поверхности в виде блюдцеобразных понижений, развитых в районе расположения РоАЭС. Известковистость, а местами засоленность покровных отложений потенциально могут усиливать их проницаемость при поступлении достаточного количества воды, особенно вследствие возможных техногенных утечек [6]. Кровля покровных отложений при выравнивании промплощадки была срезана до абс. отм. ~ 39 м, в то время как их подошва находится гипсометрически ниже уровня водохранилища на 5-10 м.

ТЕКТОНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

Междуречье рек Дона и Сала в тектоническом отношении представляет собой Сальско-Донское протяженное поднятие (рис. 4), являющееся западной частью более крупного Северо-Ергенинского поднятия, которое на востоке граничит с Прикаспийской впадиной [5].

Сальско-Донское поднятие протягивается в субширотном направлении на несколько десятков километров почти до Ростова-на-Дону при изменяющейся ширине от 40 до 10 км. Поднятие молодое – плиоцен-четвертичное, полого снижающееся с востока на запад со 180 до 100 м абс. выс. и с юга на север со 120 до 40 м к водохранилищу. Поднятие сопрягается с прогибами – на севере с Цимлянским, а на юге с Сальским. Сравнительно небольшой Цимлянскологовский прогиб (ЦЛ) делит Сальско-Донское поднятие на западное – Волго-донское, и восточное – Нагавское (см. рис. 4). Эти поднятия, в свою очередь, состоят из ряда локальных структур – эрозионно-тектонических поднятий и опусканий северо-западного простирания. Все структуры проявлены в деформациях новейших (верхнеолигоцен-четвертичных) отложений и поверхностей выравнивания разного генезиса – эрозионно-денудационных и эрозионно-аккумулятивных, развитых на их склонах. Эти поверхности свидетельствуют о стадийном формировании поднятий, их асимметричном строении и эоплейстоцен-неоплейстоценовом возрасте. В представленном исследовании рассматривается участок на северо-западе Нагавского поднятия, являющийся территорией РоАЭС.

Нагавское поднятие нарушено зонами повышенной трещиноватости различного простирания, среди которых выделяются субмеридиональные и северо-западные. Среди них наиболее крупная структура – широкая (0,7-1 км) и протяженная Логовская геодинамически активная зона (см. рис. 4), выделенная ранее С.В. Шваревым под названием D2.1. К ней частично приурочен Цимлянскологовский прогиб. Этой зоне приписываются разрывный характер и современная геодинамическая активность. С ней предположительно связываются деформации земной поверхности и более глубоких горизонтов, происходящие непосредственно на территории АЭС. В частности, в ее пределах отмечаются смещение геодезических реперов в юго-западном направлении со скоростью 3 мм/год, крены и осадки некоторых сооружений. Для детального изучения этой зоны и ее влияния на устойчивость промплощадки в крест ее простирания были построены геологические разрезы с использованием буровых данных, два из которых приведены на рисунке 2 и 3. В пределах зоны изучались неровности кровли ергенинской свиты и ее подошвы (кровли подстилающей майкопской свиты) по абсолютным отметкам. Во внимание принимались понижения, имеющиеся на этих поверхностях, как возможные зоны повышенной трещиноватости. На нескольких разрезах такие участки были выявлены. Наиболее крупные из понижений имеют глубину до 5 м. Поскольку такие понижения выявлены только в пределах активной зоны, а за ее пределами по линии

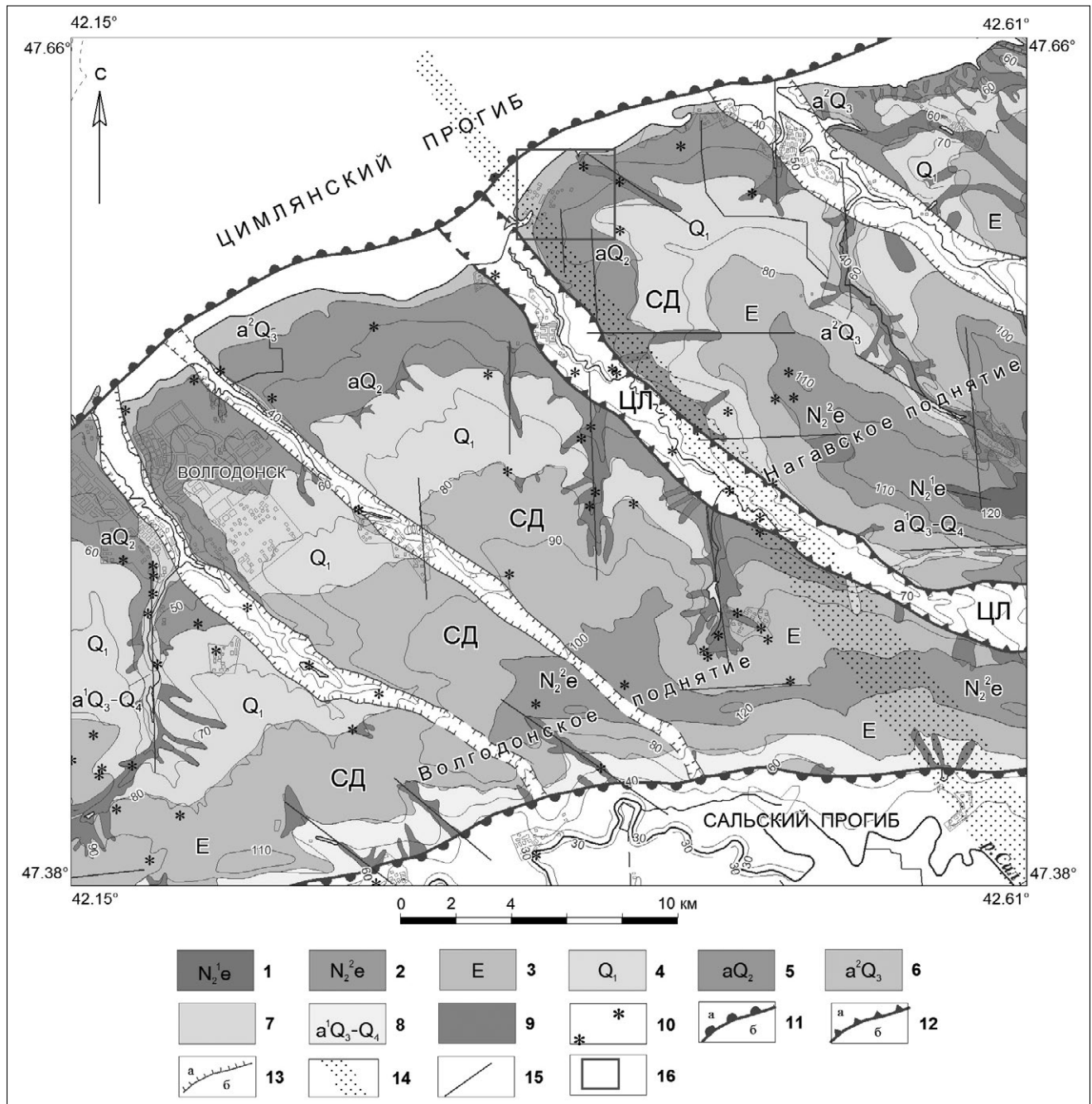


Рис. 4. Структурно-геоморфологическая (неотектоническая) схема района РоАЭС.

Эрозионно-денудационные и эрозионные поверхности, разновозрастные с покровными образованиями (чехлом лессовидных суглинков). Водоразделы разных порядков и их абсолютные отметки: 1 – раннеплиоценовая эргенинская поверхность (N_2^1e), >120 м; 2 – позднеплиоценовая эргенинская (N_2^2e), 120-100 м; 3 – эоплейстоценовая (E), 100-80 м; 4 – раннеоплейстоценовая (Q_1), 80-70 м.

Эрозионные, эрозионно-аккумулятивные и аккумулятивные поверхности речных и балочных террас (с чехлом лессовидных суглинков) и их склоны: 5 – среднего неоплейстоцена (III и IV террасы нерасчлененные ($a^1\Pi^1$) с аллювием в долинах Дона и Сала, местами эрозионные); 6 – первой половины позднего неоплейстоцена (II терраса) ($a^2\Pi^1$), 7 – второй половины позднего неоплейстоцена-голоцена (I терраса и пойма нерасчлененная) ($a^1\Pi^2-IV$), 8 – склоны долины р. Сал, не расчлененные по возрасту; 9 – днища и склоны ложбин, оврагов и балок позднеоплейстоценового возраста.

Формы рельефа: 10 – участки проявления суффозии в районе расположения РоАЭС. Неотектонические структуры (a – прогибы, б – поднятия): 11 – I порядка, 12 – II порядка, 13 – III порядка; 14 – Логовская геодинамически активная зона, 15 – зоны повышенной трещиноватости, 16 – промплощадка Ростовской АЭС.

Буквенные обозначения: СД – Сальско-Донское поднятие, ЦЛ – Цимлянскологовский прогиб.

профилей не прослеживаются, то можно предположить, что они имеют тектоническую природу и вызваны трещинами в подстилающей толще. Эта зона имеет, возможно, разрывное строение раздвигового типа, так как смещений слоев в майкопских и ергенинских отложениях по вертикали в ее пределах не зафиксировано.

Геодинамическая обстановка данной территории определяется одновременным сложным влиянием двух разнородных тектонических напряжений: 1) плиоцен-четвертичного латерального растяжения, наведенного с востока со стороны устойчиво и длительно развивающегося Прикаспийского прогиба, и 2) четвертичного субмеридионального сжатия, наведенного с юга со стороны Кавказа [5]. При этом субмеридиональное сжатие может вызывать развитие субширотных напряжений растяжения, которые могут суммироваться с прикаспийским растяжением. В этих условиях преимущественно будут развиваться субмеридиональные зоны растяжения, выраженные повышенной трещиноватостью. В этом аспекте Логовская зона рассматривается как праводвиговая с растяжением. С нашей точки зрения, зоны повышенной трещиноватости являются каналами, по которым происходит интенсивная инфильтрация поверхностных и грунтовых вод.

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

Гидрогеологические условия на исследуемой территории сложные. Они определяются взаимодействием природных и техногенных факторов. Основные водоносные горизонты в районе исследования:

- грунтовые в покровных эолово-делювиальных лессовидных суглинках верхне-среднео-плейстоценового возраста;
- горизонты в плиоценовых песках ергенинской свиты и верхнео-плейстоценовых песках II террасы.

Оба горизонта представляют собой единый напорный водоносный комплекс, водоупором для которого являются глины верхнеолигоцен-нижнемиоценовой майкопской серии. Все горизонты разгружаются в Цимлянское водохранилище. При сооружении АЭС происходило неоднократное принудительное глубинное водопонижение, сопровождавшееся значительным объемом откачиваемой воды, вызванной строительным водопонижением, работой водозабора и повышением градиента потока подземных вод [6]. При этом уровень горизонтов менялся в пределах 3-4 м. По всей вероятности, это не могло не вызывать развитие процессов суффозии. В то же время создание водохранилища вызвало поднятие уровня подземных и поверх-

ностных вод, что привело к затоплению долины Дона. Пойма и I терраса реки, а также приустьевые части балок и ручьев были затоплены, а в примыкающих к ним участках образовались болота. Как уже говорилось выше, в полосе, примыкающей к водохранилищу, большая часть аллювиальных песков II террасы и ергенинской свиты были затоплены и стали водонасыщенными. Об этом свидетельствуют данные бурения. Насыщению нижней части песчаной толщи водой способствует также наличие подстилающих ее водоупорных глин майкопской серии.

Таким образом, колебания уровня подземных вод, подпруживание стока поверхностных вод и водонасыщенность песков, залегающих на них, создают условия для проявления процессов суффозии в настоящее время.

ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

На пологом северном склоне Нагавского поднятия (возвышенности), где находится территория РоАЭС, вследствие широкого развития покровных образований, поверхности выравнивания и речные террасы Дона не имеют отчетливо выраженных уступов, и границы между ними проводятся условно по данным бурения. Такая граница вскрыта между II и III террасами, на которых расположены соответственно северная и южная части промплощадки РоАЭС (см. рис. 3). II терраса – аккумулятивная, она вложена в пески ергенинской свиты. III терраса – эрозионная, она выработана в песках ергенинской свиты и нагавских глинах; ее аллювиальный покров местами маломощен.

Большое влияние на развитие суффозионных и других негативных процессов имеет погребенный рельеф, который в этом районе нами установлен и детально исследован по данным бурения (рис. 5). В этом отношении особо важен рельеф кровли глин майкопской серии, являющихся водоупором для плиоценовых ергенинских, а также четвертичных аллювиальных песков. От глубины залегания глин и рельефа их поверхности зависит развитие многих процессов, в частности обводнение и оползание (смещение) вышележащих отложений. Поскольку кровля глин неровная, местами имеет уклон на запад, о чем было сказано выше, это может определять смещение по глинистому водоупору вышележащих отложений и наклон земной поверхности в этом же направлении. Возможно, этим, наряду с тектоническими причинами, объясняется смещение геодезических реперов.

Кровля майкопских глин неровная, размтая, изобилует понижениями глубиной от 2 до 10 м и длиной до 300-400 м. Некоторые приподнятые участки возвышаются на 6-8 м. Все эти неровно-

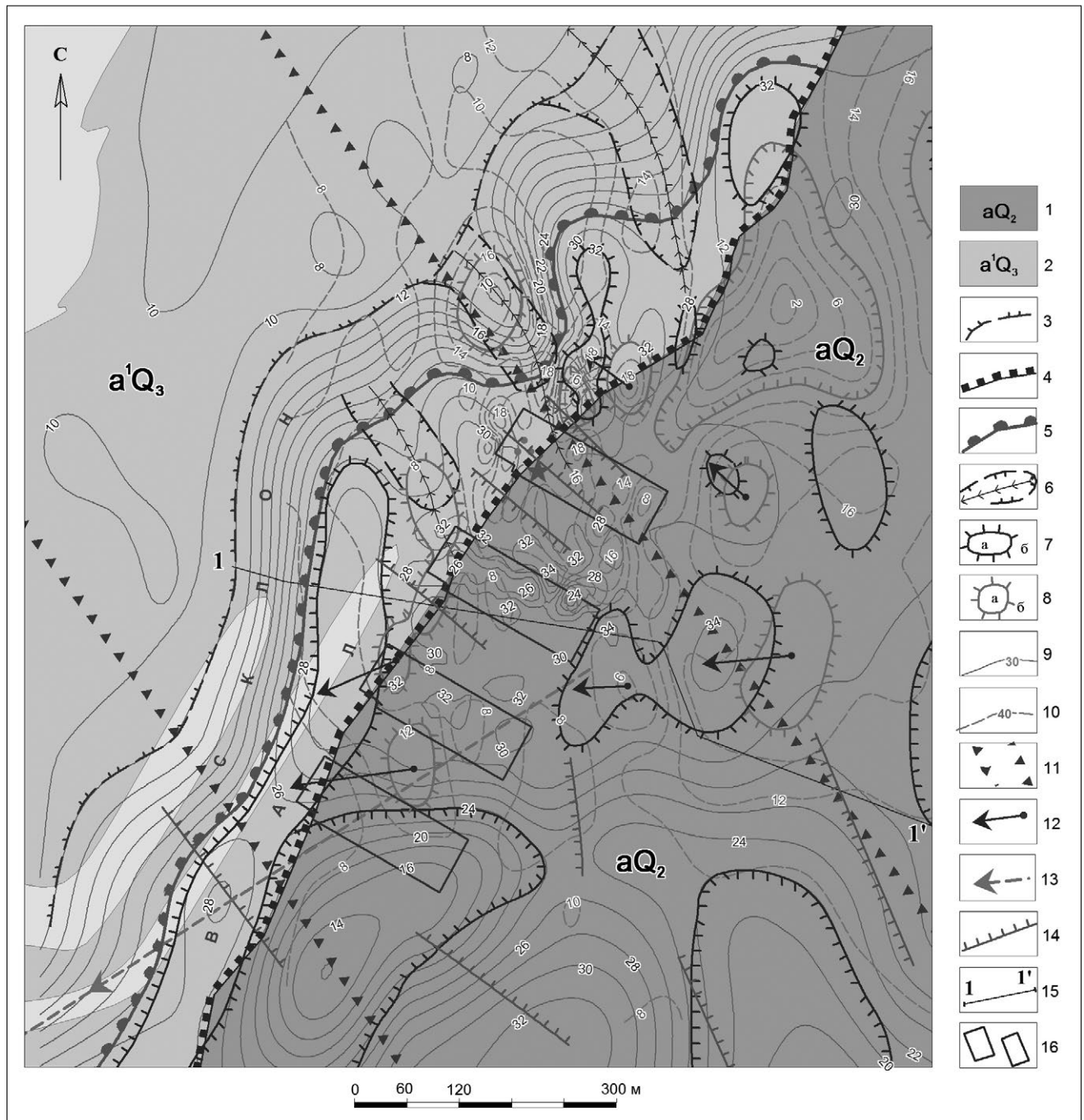


Рис. 5. Детальная карта погребенного рельефа площадки Ростовской АЭС и ее окрестностей, составленная по данным бурения.

Эрозионные, эрозионно-аккумулятивные и аккумулятивные поверхности речных и балочных террас (с чехлом лессовидных суглинков) и их склоны: 1 – среднего неоплейстоцена (III и IV террасы нерасчлененные (aII)), 2 – первой половины позднего неоплейстоцена (II терраса, a²III¹); 3 – граница между II террасой первой половины позднего неоплейстоцена и эрозионной поверхностью среднего неоплейстоцена; 4 – тыловой шов уступа, сложенного отложениями ергенинской свиты; 5 – бровка погребенного склона; 6 – ложбины в уступе с направлением суффозионного выноса.

Локальные структуры (а – поднятия, б – опускания) в кровле отложений: 7 – ергенинской свиты, 8 – майкопской серии; 9-10 – кровля отложений: 9 – ергенинской свиты плиоцена, 10 – майкопской серии позднеолигоцен-раннемиоценового возраста; 11 – Логовская геодинамически активная зона; 12 – направление смещений поднятий за период с майкопского по ергенинское время; 13 – направление смещения промплощадки Ростовской АЭС по геодезическим данным за период 2001-2016 гг.; 14 – эрозионные врезы в кровле ергенинских отложений; 15 – геолого-геоморфологический разрез по линии 1-1'; 16 – энергоблоки АЭС.

сти можно объяснить эрозионным расчленением во время длительного периода континентального режима, имевшего место в течение среднего и позднего миоцена. Кровля глин могла быть эродирована плиоценовыми руслами Дона во время накопления ергенинской свиты песков. В то же время не исключается и возможная тектоническая природа неровностей, о чем было сказано выше. Отрицательные формы из них могут быть приурочены к трещинам растяжения, а положительные – к локальным поднятиям.

Кровля залегающих выше ергенинских песков имеет абсолютные отметки от 32 м до 16-18 м. Подошва находится на абсолютной высоте 14-15 м, а на отдельных участках понижена до 8-9 м (см. рис. 2). В кровле выделяются повышенные и пониженные участки разных размеров. Ряд крупных линейных понижений и поднятий имеет субмеридиональное и северо-восточное простирание. Возможно, они являются остатками древних русел, приуроченными к зонам трещиноватости. Сравнение рельефа кровли погребенных песков и глин друг с другом показало смещение контуров некоторых поднятий в ергенинских песках (смещение показано стрелками на рис. 5), по сравнению с положением поднятий в кровле майкопских глин (см. рис. 5). Смещение их происходит по кровле майкопских глин. При этом в пределах Логовской активной зоны смещение направлено на запад, а восточнее ее на – север и северо-восток. Таким образом, изменение вектора смещений локальных поднятий относительно друг друга, возможно, обусловлено влиянием Логовской зоны.

Крупная погребенная форма рельефа – склон II террасы, вытянутый в северо-восточном направлении параллельно современной береговой линии водохранилища (см. рис. 5). Склон относительно крутой, имеет высоту до 20 м и ширину 100-150 м, его основание находится на абс. выс. 10-12 м, т. е. он до затопления долины Дона обрывался к руслу реки или поверхности поймы. Данные бурения позволили выявить в краевой части террасы, перекрытой лессовыми отложениями, ряд форм рельефа. В западной части протягивается валообразное поднятие шириной 50-100 м и относительным превышением 2-4 м. Это прирусловой вал террасы. Северо-восточнее вал размыт расчленяющими склон тремя заливообразными ложбинами, по которым, по всей вероятности, происходит вынос тонких частиц песка в сторону водохранилища, что может приводить к проседанию верхних слоев песков.

Этим, возможно, объясняются деформации грунтового основания под фундаментами 3-го и 4-го энергоблоков, находящихся как раз на участке происходящего размыва склона. Ложбины

своими верховьями как бы внедряются под основание этих энергоблоков. В то же время вал является преградой для размыва склона террасы близ 1-го и 2-го энергоблоков, вследствие чего обстановка для них рассматривается как благоприятная.

Техногенный фактор также усугубляет развитие суффозии в данном районе. Понижение уровня подземных вод при строительстве площадки (скважинные водозаборы), а также колебания уровня водохранилища, вызванные техногенными причинами, наряду с постоянными его сезонными колебаниями составляют первые метры за последние годы. Снижение уровня вызывает активизацию суффозионных процессов в ергенинских песках и перекрывающих их суглинках. И наоборот, повышение уровня может вести к подтоплению и водонасыщению песков, что также может вызывать суффозию.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На северном склоне Сальско-Донского новейшего поднятия и, в частности, в северо-западной части Нагавского поднятия, где расположена Ростовская АЭС, есть все условия для активного развития суффозионных процессов. К ним относятся песчаные толщи, залегающие на глинистом водопоре, и их текстурная неоднородность и водонасыщенность. Колебание грунтовых и подземных вод, вызванное образованием водохранилища, также может быть причиной развития суффозионных процессов. Покровные суглинки, характеризующиеся макропористостью и трещиноватостью, способствуют инфильтрации атмосферных осадков внутрь песчаной толщи с образованием просадочных форм. Кроме того, существенным фактором для развития суффозии является погребенный рельеф, в том числе склон, выработанный к прежнему уровню р. Дон. Этот рельеф расчленен ложбинами, по которым песок, по всей вероятности, выносится в водохранилище. Активности суффозионных процессов способствуют природные сезонные и техногенные колебания уровня водохранилища и откачка подземных вод. Суффозией можно объяснить просадки земной поверхности, вызывающие деформации грунтовых оснований и крены некоторых сооружений РоАЭС.

Помимо суффозии неблагоприятные процессы на территории размещения РоАЭС обусловлены современной тектонической обстановкой. Региональный наклон позднеолигоцен-раннемиоценовых глин в юго-западном направлении в соответствии с падением крыла антиклинальной складки при их увлажнении вызывает, предположительно, смещение залегающих на них плиоценовых песков, наклон земной поверхности

и движение грунта в том же направлении, о чем свидетельствуют горизонтальные смещения геодезических реперов на промплощадке. Современными тектоническими условиями растяжения, характерными для этого района, по всей вероятности, объясняется “расползание” промплощадки в западном и северо-восточном направлениях. Границей разнонаправленного расползания является Логовская геодинамически активная зона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геологическая карта масштаба 1:200 000. Лист L-38-1. Серия Кумо-Маньчская. Объяснит. записка. В.М. Орехова, В.И. Подгородниченко, И.Н. Томкович, Л.И. Кожухова. М.: Госгеолтехиздат, 1962. 53 с.
2. Геологическая карта масштаба 1:200 000. Лист L-38-VII. Серия Кумо-Маньчская. Объяснит. записка. Г.Н. Родзянко, Г.В. Дейно, С.Т. Прокопченко. М.: Недра, 1964. 52 с.
3. *Горецкий Г.И.* Палеопотамологические эскизы Палео-Дона и Пра-Дона. Минск: Наука и техника, 1982. 248 с.
4. Инженерная геология СССР. Платформенные регионы Европейской части СССР / Е.М. Сергеев, И.С. Комаров, В.Т. Трофимов. М.: Недра, Кн. 1. 1991. 271 с.
5. Новейшая тектоника и геодинамика: область сочленения Восточно-Европейской платформы и Скифской плиты. М.: Наука, 2006. 206 с.
6. *Пендин В.П., Гусельцев А.С., Фоменко И.К., Зеркаль О.В., Сироткина О.Н.* Оценка суффозионной опасности площадки АЭС и ее окрестностей. Опасные для строительства геологические процессы // Сб. матер. Междунар. сем., посвящ. 70-летию д.г.-м.н. В.П. Хоменко. М.: Изд-во МИСИ-МГСУ, 2019. С. 22-29.
7. *Хоменко В.П.* Суффозия. Природные опасности России. Экзогенные геологические процессы. М.: Издат. фирма “КРУК”, 2002. С. 158-173.

REFERENCES

1. *Geologicheskaya karta masshtaba 1: 200 000. List L-38-1. Seriya Kumo-Manychskaya. Ob'yasnit. zapiska.* [Geological map scale 1: 200 000. Sheet L-38-1. The Kuma-Manych series. Explanatory note]. Orekhova, V.M., Podgorodnichenko, V.I., Tomkovich, I.N., Kozhukhova, L.I., Eds., Moscow, Gosgeoltekhizdat, 1962, 53 p. (in Russian)
2. *Geologicheskaya karta masshtaba 1: 200 000. List L-38-VII. Seriya Kumo-Manychskaya. Ob'yasnit. zapiska.* [Geological map scale 1: 200 000. Sheet L-38-VII. The Kuma-Manych series. Explanatory note]. Rodzianko, G.N., Deino, G.V., Prokopenko, S.T., Eds., Moscow, Nedra, 1964, 52 p. (in Russian)
3. *Goretskii, G.I. Paleopotamologicheskie eskizy' Paleo-Dona i Pra-Dona.* [Paleopotamological sketches of the Paleo-Don and Pra-Don River]. Minsk, *Nauka i tekhnika*, 1982, 248 p. (in Russian)
4. *Inzhenernaya geologiya SSSR. Platformennyye regiony Evropeiskoi chasti SSSR* [Engineering geology of the USSR. Platform regions of the European part of the USSR]. Sergeev, E.M., Komarov, I.S., Trofimov, V.T., Eds., Moscow, Nedra Publ., book. 1, 1991, 271 p. (in Russian)
5. *Noveishaya tektonika i geodinamika: oblast' sochleneniya Vostochno-Evropeiskoi platformy i Skifskoi plity* [Neotectonics and geodynamics: the East European platform and the Scythian plate conjunction area]. Moscow, Nauka, 2006, 206 p. (in Russian).
6. *Pendin, V.V., Gusel'tsev, A.S., Fomenko, I.K., Zerkal, O.V., Sirotkina, O.N. Otsenka suffozionnoi opasnosti ploshchadki AES i eyo okrestnostei. Opasnye dlya stroitel'stva geologicheskie protsessy.* [Assessment of suffusion hazard at a NPP site and its vicinity. Geological processes hazardous to construction]. Proc. Intern. Workshop dedicated to the 70th birthday of Dr. Sci. V. P. Khomenko. Moscow, MISI-MGSU Publ., 2019, pp. 22-29. (in Russian)
7. *Khomenko, V.P. Suffoziya. Prirodnye opasnosti Rossii. Ekzogennyye geologicheskie protsessy.* [Suffosion. Natural hazards of Russia. Exogenous geological processes]. Moscow, Kruk Publ., 2002, pp. 158-173. (in Russian)

GEOLOGICAL CONDITIONS OF SUFFUSION PROCESSES DEVELOPMENT AND THEIR ACTIVITY AT SAL-DON NEOTECTONIC UPLAND (ROSTOV NPP AREA)

© 2019 N. V. Makarova^{1,*}, A. S. Gusel'tsev^{2,**}, T. V. Sukhanova¹, V. M. Makeev^{3,***}

¹*Geological Faculty, Lomonosov Moscow State University,
Leninskie Gory, 1, Moscow, 119991 Russia*

**E-mail: makarovanat@yandex.ru*

²*Research and Technological Center for Nuclear and Radiation Safety,
Malaya Krasnosel'skaya ul., 2/8, Moscow, 107140 Russia*

***E-mail: gouseltsev@secnrs.ru*

³*Sergeev Institute of Environmental Geoscience, Russian Academy of Sciences,
Ulanskii per., 13, str. 2, Moscow, 101000 Russia*

****E-mail: vmakeev@mail.ru*

Suffusion processes and their influence on the stability of the Rostov NPP site are investigated. Geological, tectonic, geomorphological, hydrogeological conditions, as well as anthropogenic factors affect the development and intensification of suffusion. These conditions and factors include the following: predominance of Pliocene and Quaternary sands in the geological cross-section; the presence of clay aquiclude underlying sandy deposits; natural seasonal and human-induced fluctuations of the water level in the Tsimlyansk reservoir; as well as pumping of groundwater. The buried relief in the shape of a slope dissected by erosional gullies are also of great importance. These erosional depressions are probably channels, along which sand is removed to the Tsimlyansk water reservoir. It is suffusion that may be the reason of surface subsidence that causes deformation of ground basements and inclinations of some engineering structures at NPP. Recent tectonic conditions control the formation of active zones and fracturing in the mantle deposits favoring percolation of surface water. Suffusion amplified by tectonic and technogenic factors results in the subsidence of soil basement in some places at the NPP site, displacement of reference marks, and inclination of engineering structures.

Keywords: *suffusion, water saturation, subsidence, buried landforms, geodynamic active zone, recent stresses, nuclear power plant units.*

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-78092019619-29>