

ОЦЕНКА СУФФОЗИОННОЙ ОПАСНОСТИ ПЛОЩАДКИ АЭС И ЕЕ ОКРЕСТНОСТЕЙ

Пендин В.В.¹, Гусельцев А.С.³, Фоменко И.К.¹, Зеркаль О.В.²,
Сироткина О.Н.²

(¹ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет им. С. Орджоникидзе», г. Москва; ²ФГБОУ ВО «Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова», г. Москва; ³ФБУ «НТЦ ЯРБ», г. Москва)

Аннотация: в статье рассматривается оценка суффозионной опасности площадки объекта атомной промышленности и его окрестностей. На первом этапе было выполнено районирование территории размещения атомной электростанции по суффозионной опасности, на втором – непосредственная оценка опасности развития суффозионного процесса под фундаментами возводимых зданий и сооружений. Районирование территории по суффозионной опасности выполнено средствами ARCGIS на основе карты плотности проявлений суффозионных процессов. Локальная оценка суффозионной опасности выполнена на основе методики ВНИИГ и пространственного анализа неоднородности песков, залегающих в верхней части геологического разреза промплощадки.

Ключевые слова: суффозия, районирование, опасность, анализ, неоднородность гранулометрический состав, пески.

Введение. В последние годы суффозия начинает привлекать все более пристальное внимание широкого круга специалистов, изучающих взаимодействие человека с геологической средой. Несмотря на то, что суффозионные явления встречаются практически повсеместно, в силу ряда объективных и субъективных причин роль этого процесса длительное время недооценивалась. Сейчас отношение к проблеме инженерно-геологического изучения суффозии начало заметно меняться в связи с необходимостью хозяйственного освоения суффозионно-опасных территорий и с резко возросшей техногенной активизацией процесса [9].

В термин «суффозия» в настоящее время различные исследователи вкладывают неоднозначные понятия. Впервые этот термин был предложен в конце девятнадцатого века А.П.Павловым. Слово суффозия возникло от латинского «suffodio» – подкапывать. А.П.Павлов под суффозией понимал разрушение и растворение минеральных частиц подземными водами [1,2,10]. В настоящее время существуют две основные трактовки понятия суффозионных процессов: включающее или исключаящее из понятия суффозии выщелачивание растворимых компонентов горных пород. Сторонники широкого понимания термина «суффозия» выделяют среди суффозионных процессов так называемую химическую суффозию. Такой подход к пониманию термина суффозия критикуется в работах В.Д.Ломтадзе (1977) [3], который считает, что выщелачивание солей – это коррозионный процесс и никакого отношения к суффозии не имеет. Отсюда В.Д. Ломтадзе делает вывод, что говорить о химической суффозии неправомерно [2].

В 2003 году вышла в свет монография В.П.Хоменко[9], в которой автор дал всеобъемлющую характеристику процесса суффозии, как одного из наименее изученных опасных экзогенных геологических процессов. В своей монографии В.П.Хоменко приводит следующее определение процесса суффозии: «разрушение и вынос потоком подземных вод отдельных компонентов и крупных масс дисперсных и цементированных обломочных горных пород, в том числе слагающих структурные элементы скальных массивов». Нам кажется, что это определение наиболее полно отражает процесс суффозии.

Результатом суффозионного процесса, являются подземные и поверхностные эрозийные и аккумулятивные формы – полости, зоны разуплотнения, воронки, ниши, конуса выноса и т.д. [1].

В соответствии с требованиями СП 11-105-97 «Инженерно-геологические изыскания для строительства» [7] при существующем или ожидаемом развитии опасных геологических процессов, к которым, согласно СП 115.13330.2011 «Геофизика опасных природных воздействий», [8], относится и суффозия, необходимо их качественное и количественное прогнозирование.

Целью настоящей работы является оценка суффозионной опасности площадки размещения объекта атомной промышленности и ее окрестностей. Для ее достижения на первом этапе было выполнено районирование территории размещения атомной электростанции (АЭС) по суффозионной опасности, на втором – непосредственная оценка опасности развития суффозионного процесса под фундаментами возводимых зданий и сооружений.

Общие сведения об объекте исследований. Площадка АЭС расположена в 15 км к северо-востоку от г. Волгодонск и в 8 км к западу от ст. Жуковская (рис. 1).



Рис. 1. Обзорная схема территории исследований (круги – радиусы соответственно 10 км и 3 км)

В геоморфологическом отношении площадка приурочена к северному макросклону аккумулятивно-денудационной равнины Доно-Сальского водораздельного склона. Рельеф площадки имеет плоскоравнинный характер, с незначительным уклоном ($i = 0,007$) в сторону водохранилища. Перепад абсолютных отметок дневной поверхности изменяется незначительно – от 30,08 м до 39,85 м.

В инженерно-геологическом отношении площадка АЭС достаточно четко разделяется на два участка: северо-западный и юго-восточный.

Первый расположен в пределах II надпойменной террасы р. Дон и примыкает к водохранилищу полосой 350-500м. Особенность геологического разреза здесь составляют аллювиальные (aQ_{III}) отложения, залегающие между имеющимися региональное распространение эолово-делювиальными суглинками и майкопскими глинами.

Второй участок промплощадки приурочен к нижней, северо-западной части макросклона Доно-Сальского водораздела. Здесь под эолово-делювиальными образованиями, общей мощностью 5-23м, залегают либо делювиальные (dQ_1) суглинки и глины, либо песчаные и песчано-глинистые отложения ергенинской свиты (N_2^e). Миоценовые отложения (N_2^e), мощностью 4-22м, подстилаются толщей майкопских глин, мощность которых колеблется от 27 м до 76 и более метров.

Инженерно-геологические условия промплощадки осложняются наличием двух водоносных горизонтов, образующихся вследствие несовершенства изолирующих водоупоров, единый водоносный комплекс. Оба горизонта разгружаются в водохранилище.

При обосновании безопасности рассматриваемой площадки были проанализированы следующие негативные геологические и инженерно-геологические процессы – склоновые процессы, переработка берегов водохранилища, просадочные процессы, процессы пучения, суффозионные процессы, подтопление и заболачивание [4].

Анализ имеющихся данных показал, что наибольшую опасность для зданий и сооружений АЭС могут иметь именно суффозионные процессы. Согласно ранее выполненным инженерным изысканиям «развитие суффозионных процессов характерно для засоленных грунтов, при фильтрации через них воды. Степень засоленности эолово-делювиальных суглинков зоны аэрации достигает 5-6%. Инженерно-геологическими изысканиями установлено, что они являются суффозионно-устойчивыми при скоростях движения воды не превышающих 0,035 м/сут. При существующих естественных напорных градиентах грунтовых вод (0,003-0,005) и фильтрационных свойствах пород ($K_f = 0,1-0,4$ м/сут) такие скорости не достигаются. Однако если учесть, что при утечках из водонесущих коммуникаций, а также их авариях, возможно формирование куполов растекания с первоначальными напорными градиентами более 1, то развитие на локальных участках суффозионно-провальных воронок исключить нельзя. Подобные явления достаточно часто отмечались в пределах территории г. Волгодонска» [4]. Кроме того, необходимо учитывать тот факт, что сооружение энергоблоков АЭС происходило под защитой глубинного водопонижения, сопровождавшегося не только значительными объемами откачиваемой воды и соответствующими градиентами потока грунтовых вод, но и, что особенно важно, весьма высокими концентрациями растворенных в них и выносимых в пруд-охладитель солей.

Представляется необоснованным рассмотрение в рамках инженерных изысканий только химической суффозии, так, как и механическая суффозия в песках, за счет выноса частиц мелкодисперсной фракции, представляет, на наш взгляд, наиболее серьезную опасность на участке промплощадки, приуроченной к северо-западной части макросклона Доно-Сальского водораздела.

Районирование территории размещения площадки АЭС по суффозионной опасности. Научно-обоснованный прогноз реакций литосферы на различные виды искусственных взаимодействий и составление на этой основе карты суффозионной опасности даёт возможность правильно спланировать мероприятия по управлению состоянием региональных, локальных и элементарных литотехнических систем (ЛТС), обосновать пространственно-временную структуру мониторинга ЛТС, создать инженерно-геологическую основу для разработки плана освоения территорий[2]. За последние годы были разработаны различные методы комплексного анализа геологической среды с целью районирования территорий по опасности возникновения геологических процессов. Так как большинство методов требуют комплексного анализа значительных массивов данных, все большее значение при решении подобных задач приобретают геоинформационные системы (ГИС) [6]. В настоящей работе для проведения районирования территории по суффозионной опасности был использован программный комплекс ARCGIS.

С целью районирования территории по суффозионной опасности, с топографической карты масштаба 1:50000, с привлечением информации по дистанционному зонди-

рованию (ДДЗ) территории были вынесены возможные участки проявления процесса суффозии (рис. 2).

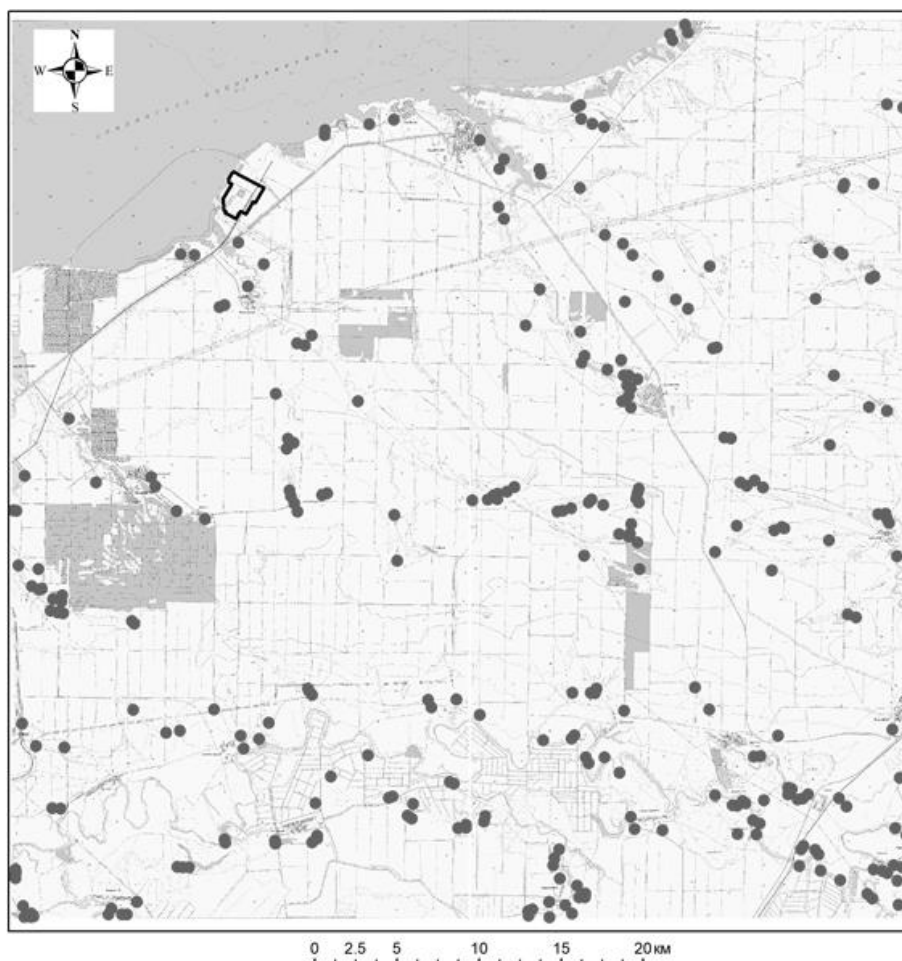


Рис. 2. Участки проявления суффозионных процессов

Следует отметить, что, несмотря на то, что рельеф как непосредственно площадки, так и прилегающей территории был существенно техногенно изменен при длительном сельскохозяйственном освоении, на материалах дистанционного зондирования достаточно хорошо прослеживается наличие на прилегающих территориях "полей" суффозионно-просадочных блюдцев, которые ранее (до запашки), широко были развиты на дневной поверхности.

На основе информации, полученной при тематической обработке данных дистанционного зондирования, была построена карта плотности проявлений суффозионных процессов, которая стала основой для районирования территории по суффозионной опасности. Для представления результатов оценки степени суффозионной опасности был использован принцип «светофора». В соответствии с этим вся территория была разделена на зоны:

Первая зона – характеризуется высокой суффозионной опасностью.

Вторая зона – характеризуется средней суффозионной опасностью.

Третья зона – характеризуется низкой суффозионной опасностью.

Разделение между зонами было выполнено на основе метода естественных границ. В методе естественных границ классы основаны на естественном группировании данных. Границы классов определяются таким образом, чтобы сгруппировать схожие значения и максимально увеличить различия между классами.

Итоговая карта суффозионной опасности приведена на рис.3.

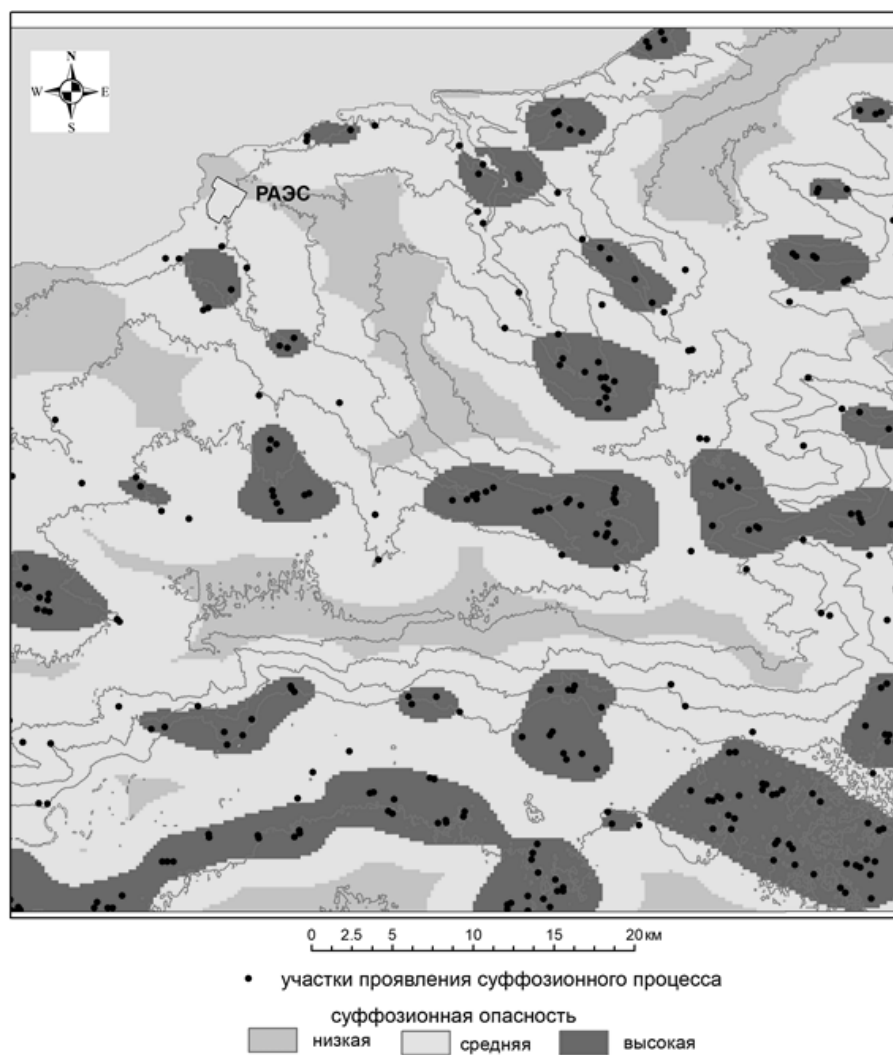


Рис. 3. Карта суффозионной опасности

Анализ карты суффозионной опасности (с учетом информации с топографической карты масштаба 1:50000) позволяет сделать вывод о том, что проявления суффозионных процессов приурочены к местам повышенного градиента подземных вод как естественного – борта оврагов, так и техногенного – водозаборы (например, артезианские скважины) происхождения. Согласно результатам районирования (рис.3), второй участок промплощадки, приурочен к нижней, северо-западной части макросклона Доно-Сальского водораздела, попадает в зону средней суффозионной опасности. Однако, с учетом повышенного техногенного воздействия, связанного, в первую очередь с понижением уровня подземных вод в пределах площадки в период принудительного водопонижения и с растворением солей в грунтах площадки, суффозионные процессы должны были быть техногенно активизированы.

Локальная оценка суффозионной опасности. Общая оценка механической суффозионной устойчивости песков изучаемой площадки производилась по методике ВНИИГ [5]. При этом принималось, что без ущерба для конструкции сооружений из грунта могут быть вынесены самые мелкие частицы, количество которых не превышает 3-5% по массе, т.е. критерий может быть записан в виде:

$$d_{c_{i \max}} < d_3 \div d_5, \quad (1)$$

$$d_{c_{i \max}} = 0,77d_{0 \max}, \quad (2)$$

где $d_{c_{i \max}}$ – максимальный размер частиц, которые могут быть вынесены фильтрационным потоком в результате суффозии;

$d_{0 \max}$ – диаметр максимальных фильтрационных пор в грунте, определенный по формуле:

$$d_{0max} = 00,455k\sqrt[6]{C_u}ed_{17}, \quad (3)$$

где k – коэффициент неравномерности раскладки частиц в грунте

$$k = 1 + 0,05 C_u, \quad (4)$$

$$C_u = d_{60}/d_{10}, \quad (5)$$

где C_u – степень неоднородности грунта,

d_{60} , d_{10} , d_{17} – диаметр частиц соответственно 60, 10, 17 процентной обеспеченности (диаметры частиц, меньше которых в данном грунте содержится (по массе) соответственно 60, 10, 17% частиц);

e – коэффициент пористости.

Результаты расчета по выражениям 1–5 сведены в табл. 1.

Из результатов выполненных расчетов, приведенных в таблице 1, следует, что все разности песчаных грунтов, развитые в верхней части геологического разреза в пределах промплощадки АЭС, являются потенциально суффозионно-неустойчивыми.

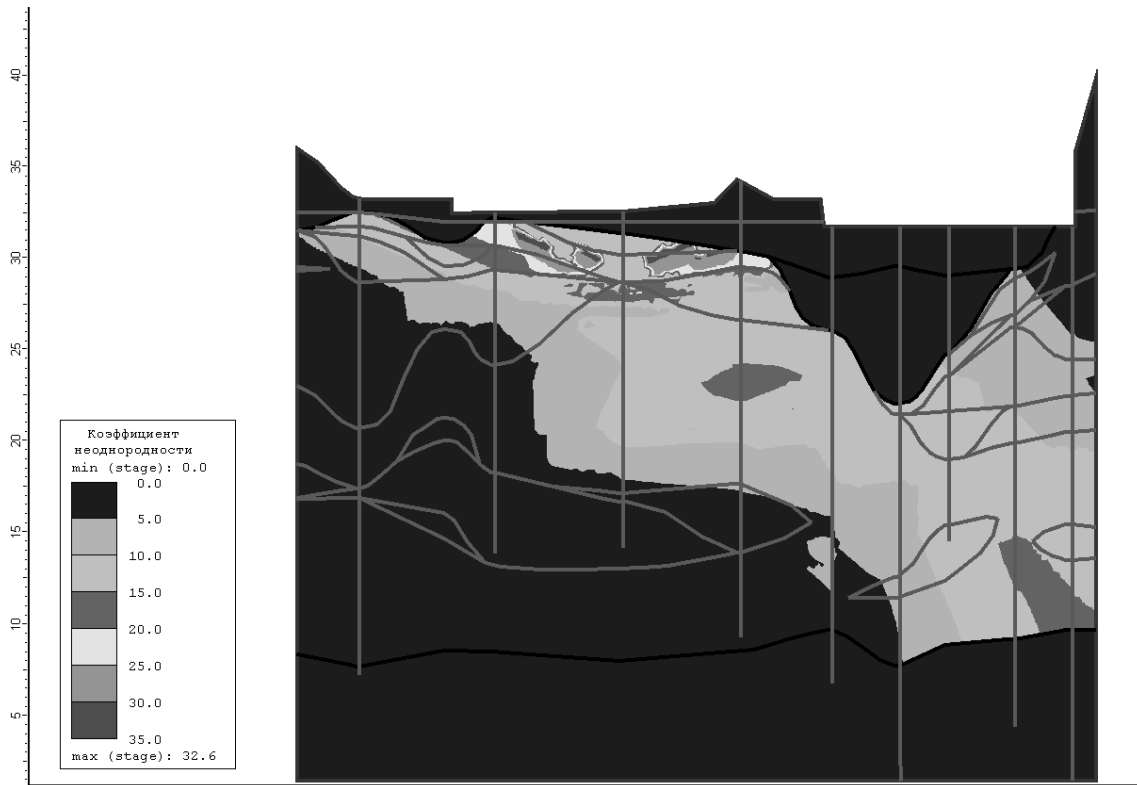
Таблица 1

Оценка суффозионной устойчивости песчаных грунтов

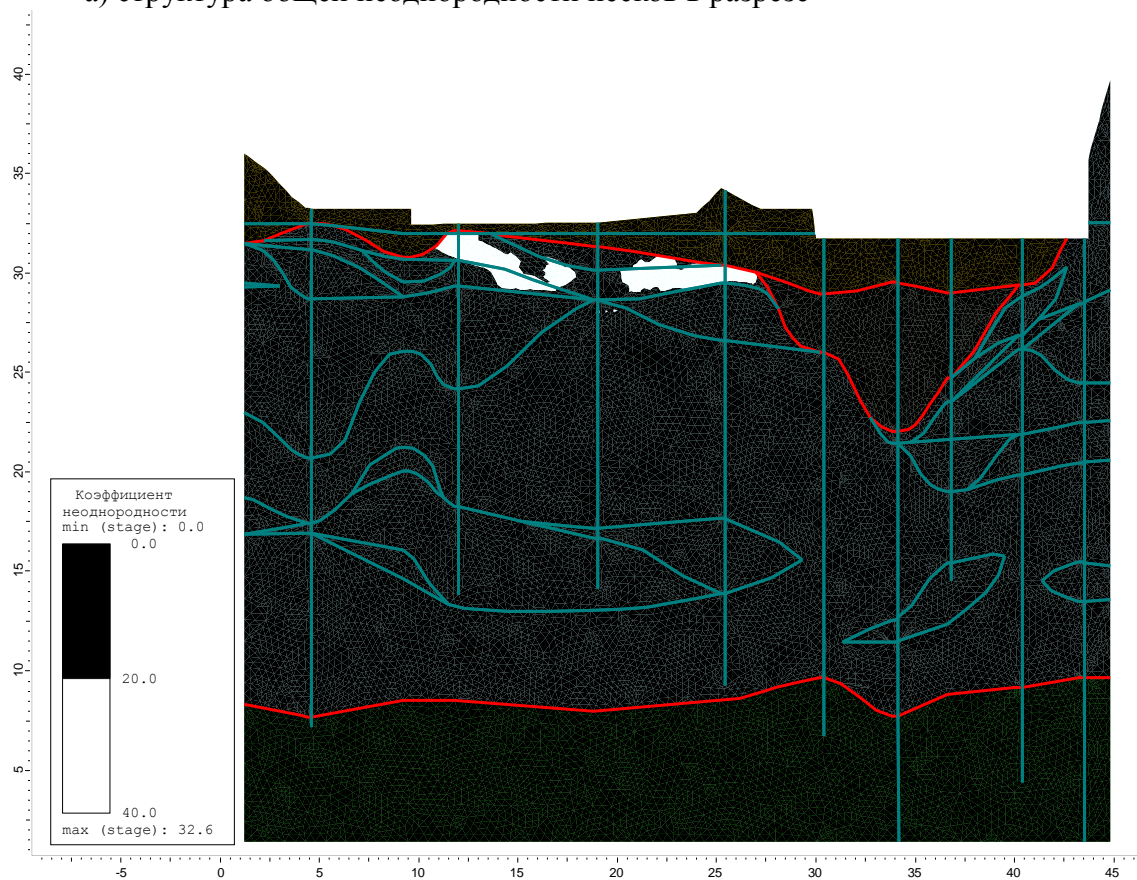
| Описание грунта | d_{60} | d_{10} | $C_u = d_{60}/d_{10}$ | k | e | d_{17} | d_{0max} | d_{cimax} | d_5 |
|----------------------------------------------|----------|----------|-----------------------|-------|-------|----------|------------|--------------|------------------|
| | | мм | | | | | | | |
| Песок пы- леватый, средней плотный | | 0,006 | 11,67 | 1,58 | 0,670 | 0,0085 | 0,458 | 0,353 | <0,005 |
| Песок пы- леватый, плотный | | 0,00125 | 52 | 3,6 | 0,525 | 0,0075 | 1,26 | 0,97 | <0,005 |
| Песок мел- кий, сред- ней плот- ный | | 0,085 | 1,545 | 1,077 | 0,641 | 0,06 | 0,306 | 0,236 | 0,01 |
| Песок мел- кий, плот- ный | | 0,085 | 1,545 | 1,077 | 0,520 | 0,06 | 0,296 | 0,228 | 0,015 |
| Песок средний | | 0,06 | 3,33 | 1,17 | 0,464 | 0,065 | 0,38 | 0,28 | 0,05 |
| Песок крупный | | 0,07 | 7,14 | 1,357 | 0,464 | 0,08 | 0,495 | 0,38 | 0,06 |

Для непосредственной оценки опасности развития суффозионных процессов под фундаментами возводимых зданий и сооружений был выполнен пространственный анализ неоднородности гранулометрического состава песков, залегающих в верхней части геологического разреза промплощадки АЭС. В качестве метода интерполяции был использован метод Чага, который позволяет рассчитать значения параметра в грунтовом массиве между точками, в которых определено значение того или иного параметра. Результаты выполненного анализа представлены на рис. 4а, из которого хорошо видно, что для рассматриваемой территории характерно развитие песков существенно неоднородного состава.

Основным условием, необходимым для развития суффозионного процесса, является наличие суффозионно-неустойчивых грунтов. К последним могут быть отнесены грунты, у которых коэффициент неоднородности гранулометрического состава – $C_u = d_{60}/d_{10} > 20$ [2].



а) структура общей неоднородности песков в разрезе



б) оценка суффозионной опасности

Рис. 4. Пространственный анализ неоднородности состава песков, залегающих в верхней части геологического разреза промплощадки АЭС

Анализ неоднородности песков (рис. 4б) показывает, что наиболее суффозионно-опасной (коэффициент неоднородности более 20) является верхняя часть разреза. Таким образом, неконтролируемое понижение уровня подземных вод, как в результате резкой сработки уровня водохранилища, так и при активном выполнении водопонижения УГВ, могло выступить в качестве триггера активизации суффозии и, как следствие, стать причиной дополнительной осадки фундаментов зданий и сооружений, размещенных на площадке.

Заключение. Изучение суффозионных процессов проводится уже более ста лет. К настоящему времени выработано представление о сущности суффозии, даны определения этого термина. Одно из определений, наиболее полно отражающих природу процесса суффозии, можно найти в работах В.П.Хоменко, безусловно являющегося одним из ведущих специалистов по изучению суффозионных процессов.

Интенсификация антропогенной деятельности во многих случаях сопровождается вовлечением в хозяйственный оборот территорий, для которых существует опасность развития суффозионных процессов. Одним из примеров недоучета особенностей инженерно-геологических условий в части оценки возможности развития суффозионных процессов, является промплощадка рассматриваемой АЭС. Дополнительный анализ суффозионной опасности, выполненный с привлечением ДДЗ, методов инженерно-геологического районирования, показал наличие на рассматриваемой территории условий для активизации развития суффозионных процессов, что безусловно, требует учета при освоении территории. Площадка АЭС по результатам районирования находится на границе низкой и средней суффозионной опасности. Локальная оценка суффозионной опасности показала, что наиболее суффозионно-опасной (коэффициент неоднородности более 20) является верхняя часть разреза.

Литература

1. Аникеев, А. В. Провалы и воронки оседания в карстовых районах: механизмы образования, прогноз и оценка риска. - М: РУДН, 2017. 328с.
2. Бондарик Г.К., Пендин В.В., Ярг Л.А. Инженерная геодинамика. – М.: КДУ, 2007. 327 с.
3. Ломтадзе В. Д. Инженерная геология. Инженерная геодинамика. - Л.: Недра, 1977. 479с.
4. Отчет по обоснованию безопасности. Ростовская АЭС. Энергоблок №4. АО НИАЭП, 2016.
5. П 49-90 (ВНИИГ) Рекомендации по методике лабораторных испытаний грунтов на водопроницаемость и суффозионную устойчивость
6. Пендин В.В., Фоменко И.К. Методология оценки и прогноза оползневой опасности. - М.: ЛЕНАНД, 2015. 230 с.
7. СП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть I. Общие правила производства работ.
8. СП 115.13330.2011. Геофизика опасных природных воздействий.
9. Хоменко В.П. Закономерности и прогноз суффозионных процессов. - М.: ГЕОС, 2003. 216 с.
10. Хоменко В.П. Карстово-суффозионные процессы и их прогноз. - М.: Наука, 1986. 98с.