# Состояние геологической среды в районе расположения нововоронежской АЭС

В. Л. Бочаров, А. Я. Смирнова, А. Э. Курилович

Воронежский государственный университет

Определено, что устойчивое состояние геологической среды, существующее со времени начала строительства первого энергоблока и в течение последующих 46 лет работы атомной электростанции, не препятствует продлению срока функционирования III–V энергоблоков и ввода в строй новых современных более мощных энергоблоков Нововоронежской АЭС-2. Ключевые слова: Нововоронежская АЭC, ядерная энергетика, энергетическая и экологическая безопасность, энергоблок, геологическая среда, подземные воды, инженерно-геологические условия, мониторинг.

Введение

Ядерная энергетика в мировом производстве электроэнергии занимает видное место, достигнув примерного паритета с гидроэнергетикой. В 1981–1987 гг. около половины общемирового прироста производства электроэнергии происходило за счет строительства АЭС [11]. После Чернобыльской аварии в 1986 г. темпы роста ядерной энергетики существенно снизились, и она вступила в новый, более сложный для нее период развития [5].

К началу 90-х гг. XX в. в России функционировало девять промышленных атомных электростанций, суммарная мощность которых составляла 20, 242 МВт. Доля атомной энергии в общем балансе ее производства в России составляла чуть более 11 % [13].

Однако растущий спрос на энергию и все более широкая осведомленность об экологических выгодах чистой ядерной энергии создают в настоящее время основу для возрождения ядерной энергетики в крупных масштабах. Она может способствовать решению антикризисных проблем, а так же проблем связанных с энергетической и экологической безопасностью, ускоренным экономическим развитием, улучшения качества окружающей среды и жизни населения. Поэтому принятой в 2006 г. Федеральной целевой программой «Развитие атомного энергопромышленного комплекса России» намечено увеличение доли ядерной энергии в общем энергетическом балансе к 2025 г. до 20–25 % [13].

Для этой цели будут построены новые атомные электростанции, а также расширены существующие станции за счет строительства новых, современных ядерных реакторов, со значительной большей мощностью и с более высокой эффективностью топливо использования, и как следствие, высоким уровнем экологической безопасности.

Нововоронежская АЭС: современное состояние геологической среды Нововоронежской АЭС находится на первой левобережной надпойменной террасе р. Дон в 42 км южнее г. Воронежа (рис. 1).

Поверхность площадки имеет слабый пологий наклон в сторону поймы реки, абсолютные отметки её меняются от 109 до 112 м. Энергетический © Бочаров В. Л., Смирнова А. Я., Курилович А. Э., 2011 пуск первого блока ВВЭР-210 с электрической

мощностью 210 МВт состоялся в 1964 г. На тот момент времени это была самая мощная ядерная энергетическая установка в мире (210 МВт) и первая в стране. Второй энергоблок ВВЭР-365 был запущен в 1969 г. Третий и четвёртый блоки с реакторами ВВЭР-440 стали вырабатывать электроэнергию с 1971 и 1972 гг. соответственно.

Последний, самый мощный ВВЭР-1000 был запущен в 1980 г. В настоящее время после вывода из эксплуатации в 1984 г. первых двух блоков функционируют третий, четвёртый, пятый блоки с суммарной мощностью 1874 МВт. При этом продолжительность работы третьего и четвёртого блоков продлена до 2015 г.

В 2006 г. начато строительство Нововоронежской АЭС-2 с мощными энергетическими установками третьего поколения ВВЭР-1200.

Нововоронежская АЭС является одним из лидеров отечественной атомной электроэнергетики и характеризуется высокой степенью эффективности и экологичности [3]. Промышленная площадка Новоронежской атомной электростанции находится в пределах первой левобережной надпойменной террасы р. Дон эрозионно-аккумулятивного генезиса. Поверхность площадки имеет слабый пологий наклон в сторону поймы р. Дон. Абсолютные отметки её меняются от 109 до 112 м. На участке пятого энергоблока поверхность спланирована на отметке 98 м [9].

В геологическом строении района Нововоронежской АЭС участвуют кристаллические породы архей-протерозойского возраста, отложения девонской системы, слагающие цоколь террасы, а также перекрывающие их рыхлые неогеновые и четвертичные отложения [8, 12, 14]. Архейпротерозойский фундамент (AR-PR) представлен гранито-гнейсами и кристаллическими сланцами, залегающими на глубинах 120–150 м. Кристаллический фундамент осложнен разломами северозападной и юго-восточной ориентировки и более мелкими разнопорядковыми тектоническими нарушениями. Тектоническая раздробленность кристаллической коры по мнению Л.И. Надежка [6, 7] определяет характер современной сейсмичности.

На фундаменте с угловым и стратиграфическим несогласием залегают терригенно-карбонатные отложения нижне- и верхнещигровской подсвит верхнего девона (D3sc). Кровля этих отложений вскрывается на глубинах 18–27 м с абсолютными отметками 82, 1–84, 4 м. В разрезе девонских отложений преобладают известняки плотные, крепкие, местами трещиноватые. На девонских породах фрагментарно залегают маломощные останцы нижнего карбона, представленные серыми глинами, реже разнозернистыми песками барремского яруса (K1br).

Неогеновые отложения включают породы кривоборской свиты верхнего плиоцена (alN3 2kr).

Отложения свиты с размывом залегают на верхнедевонских известняках и нижнемеловых глинах.

Кровля неогеновых отложений вскрыта скважинами на глубине 32–38 м, абсолютные отметки кровли варьируют в пределах 82, 5–92, 5 м. Разрез неогена слагают пески преимущественно кварц- полевошпатового состава от мелкозернистых до гравелистых (в нижней части).

Четвертичные отложения (Q) залегают на размытой кровле коренных пород. Разрез четвертичных отложений представлен главным образом песками. Флювиогляциальные пески с гравием хронологически соответствуют времени донского ледника (f osIdns). Мощность песчаных пород составляет 42–50 м. Образования второй надпойменной террасы (a2tII) сформированы среднезернистыми песками с прослоями суглинков и глин. В основании второй террасы залегают гравелистые и крупнозернистые пески. Общая мощность отложений второй террасы 8–10 м. Аллювиальные отложения первой надпойменной террасы (altIII) включают пески от пылеватых до гравелистых кварц-полевошпатового состава, местами с прослоями и линзами глин, супеси и суглинков. Мощность их колеблется от 8 до 16 м. Современный отдел представлен техногенными образованиями (thQIV), в основном песками и известково-глинистым материалом мощностью от 0, 3 до 0, 7 м.

В гидрогеологическом отношении район Нововоронежской АЭС характеризуется наличием двух водоносных горизонтов: четвертичного и верхнедевонского (рис. 2). Водовмещающими породами четвертичного горизонта являются аллювиальные пески первой надпойменной террасы. Мощность обводненных песков изменяются от 7 до 8 м, коэффициент фильтрации составляет около 10 м/сут. Горизонт безнапорный, абсолютные отметки уровня составляют 87, 5–89, 0 м. На участке третьего и четвертого энергоблоков амплитуда колебания уровня грунтовых вод составляет 0, 3–0, 4 м. При движении к пойме реки она возрастает до 0, 6 м. Многолетняя амплитуда колебания уровня грунтовых вод четвертичного водоносного горизонта находится в пределах 0, 3–0, 6 м [10]. Первое значение стабильно выдерживается; оно обусловлено влиянием техногенного фактора, в основном режимом работы водопонизительных установок. По-видимому, предложенная система работы дренажных сооружений способствует поддержанию колебания уровня воды в интервале 0, 3–0, 4 м. По химическому составу подземные воды четвертичного водоносного горизонта относятся к гидрокарбонатно-сульфатному кальциевому классу с минерализацией от 0, 2 до 0, 3 г/дм3 (табл. 1). В подземных водах постоянно присутствуют активные соли азота в незначительных количествах (сумма солей не превышает 22 мг/дм3, причем более 90 % массы приходится на нитрат-ион). Присутствие тяжелые металлы (железо и марганец) отмечено во всех исследуемых скважинах, но их концентрации также не превышают предельно допустимых концентраций.

Девонский напорный водоносный горизонт является основным эксплуатируемым водным объектом. Водовмещающие породы представлены трещиноватыми верхнещигровскими известняками.

Коэффициент фильтрации подземных вод изменяется от 0, 5 до 30, 5 м/сут, высота напора составляет 9–11 м, пьезометрический уровень зафиксирован на отметках 88–89, 5 м. По основным гидрохимическим показателям подземные воды относятся к гидрокарбонатно-сульфатному кальциево-натриевому классу. Из группы микроэлементов отмечено присутствие железа и марганца и в крайне незначительных нитрат-иона (3, 5–3, 8 мг/ дм3). Подземные воды девонского горизонта отличаются высокой степенью гидрогеохимической устойчивости. Вариации содержаний в отдельных скважинах по всем компонентам и показателям крайне незначительны, а сами концентрации не выходят за пределы предельно-допустимых для воды хозяйственно-питьевого назначения [1].

Подземные воды относятся к группе пресных, с невысокой минерализацией, устойчиво меньшей на 0, 3 мг/дм3. Они умеренно мягкие (3, 9– 4, 4 ммоль/дм3), со слабо щелочной реакцией (pH 7, 4–7, 4; общая щелочность 4, 1–4, 6 мг-экв). По основным гидрохимическим показателям подземные воды относятся к гидрокарбонатно-сульфатному кальциево-натриевому классу (табл. 2).

Из группы микроэлементов отмечено на уровне чувствительности анализа присутствие железа и марганца. Примечательно, что из активных солей азота достаточно надежно обнаружен только нитрат-ион в крайне незначительных количествах (3, 5-3, 8 мг/дм3). Фтор и полифосфаты присутствуют в подземных водах, однако их концентрация крайне малы. Подземные воды верхнещигровского горизонта отличаются высокой степенью гидрогеохимической устойчивости. Вариации содержаний в отдельных скважинах по всем компонентам и показателям крайне незначительны, а сами концентрации не выходят за пределы предельно-допустимых для воды хозяйственно-питьевого назначения (см. табл. 2).

Гидрогеодинамика для промышленной площадки Нововоронежской атомной электростанции может рассматриваться в границах трехслойной фильтрационной модели, состоящей из двух водоносных горизонтов – четвертичного и верхнеде-

вонского, разделенных слабопроницаемым слоем глинистых пород [4]. Среднее значение отметки подошвы нижнего водоносного горизонта (кровли нижнещигровских глин) составило 65 м. Эта величина была принята за начало отсчета относительных уровней подземных вод и относительных отметок границ инженерно геологических элементов. Трещиноватые известняки нижнего водоносного горизонта и верхнещигровские глины промежуточного слоя по фильтрационным свойствам были приняты однородными. В пределах промышленной площадки интенсивность атмосферного питания принималась равной 20 мм/ год. Дебит водозабора «Промышленная зона» из нижнего водоносного горизонта оценивается равным 6000 м3/сут.

Разработанная и уточненная модель была использована для прогноза изменений гидрогеологических условий применительно к различным вариантам эксплуатации сооружений Нововоронежской атомной электростанции [2, 4]. Рассмотрен вариант эксплуатации пятого блока атомной электростанции при современной интенсивности техногенной инфильтрации. Целью данного расчета была оценка влияния водозабора «Промышленная зона», эксплуатирующего нижний водоносный горизонт, на окружающую среду. Результаты расчета показали, что эксплуатация водозабора практически не сказывается на уровне грунтовых вод верхнего водоносного горизонта. Для нижнего водоносного горизонта радиус влияния водозабора составляет около 2 км с максимальным понижением напора в районе водозабора на 4 м. Как показали расчеты, эксплуатация водозабора интенсивностью 6000 м3/сут. увеличивает максимальную разность напоров на промышленной площадке на 1, 4–4 м. Данные прогнозных расчетов показали, что при нормативной интенсивности техногенных утечек из сооружений действующих блоков, повышение уровня воды в верхнем горизонте не создаст угрозы подтопления сооружений пятого блока. Расчетный градиент фильтрационного напора в раздельном слое глин на два порядка меньше критического, что обеспечивает суффозионную устойчивость раздельного слоя глин [4].

С учетом анализа инженерно-геологических условий, литологического состава и физико-механических свойств грунтов в пределах промышленной зоны Нововоронежской АЭС выделены следующие геологические тела, осредненные по стратиграфическому и литологическому принципу

А. Современные отложения, включающие 1 –техногенные образования (tН), представленные песчаными, в меньшей степени, глинистыми грунтами со значительным содержанием строительного мусора.

Б. Отложения первой и второй надпойменных террас р. Дон, соответственно являющиеся основанием зданий и сооружений энергоблоков III, IV и V и представленные 2 – песками (a1-2QIII) мелкими (м), средней крупности (с), крупными (к) средней плотности и плотными, с отдельными прослоями рыхлых, от маловлажных до насыщенных водой, глинистыми. Пески распространены повсеместно и залегают на коренных верхнедевонских известняках под техногенными образованиями и отложениями почвенно-растительного слоя; 3 – глинами (a1-2QIII) от тугопластичных до твердых; 4 – суглинками (a1-2QIII) от мягкопластичных до твердых; 5 – супесями (a1-2QIII) от твердых до пластичных.

Глинистые грунты залегают в песчаной толще в виде прослоев и линз различной мощности (от нескольких сантиметров до 3 метров).

В. Девонские отложения верхнещигровской подсвиты, представленные 6 – глинами (D3sc2) от тугопластичных до твердых мощностью 0, 2–4, 3 м. Они имеют выдержанное распространение, залегают на известняках того же возраста и перекрываются аллювиальными отложениями первой и второй надпойменных террас; 7 – известняками (D3sc2) трещиноватыми, вскрытыми на несколько метров. Эти породы характеризуются плотной текстурой, местами трещиноватые, прочные: предел прочности на одноосное сжатие в среднем составляет 100 МПа.

Расчетные значения показателей физико-механических свойств для инженерно-геологических элементов, выделенных в активной зоне основания сооружений соответственно составляют: для песчаных грунтов – модуль деформации от 5, 6 до 30 МПа, угол внутреннего трения от 26 до 30°, удельное сцепление от 0 до 4 кПа; для глинистых четвертичных грунтов соответственно 17–30 МПа, 18–24°, 8–68 кПа, для девонских глин – 8, 7–24 МПа, 9–19°, 111 кПа.

Признаков проявления геологических процессов, негативно влияющих на устойчивость зданий и сооружений, не отмечено.

Таким образом, можно считать, что геологические условия промышленной площадки Нововоронежской АЭС отличаются устойчивостью по отношению к внешним естественным и техногенным факторам воздействия и не препятствуют продлению сроков эксплуатации существующих энергоблоков.

Выводы Более чем полувековая история развития ядерной энергетики однозначно свидетельствует о том, что вопросы безопасности в ядерных энергетических объектах однозначно должны стоять на первом месте и только потом собственно выработка электроэнергии. Главный критерий при выборе концепции безопасности – обеспечить устойчивый режим функционирования АЭС с уровнем безопасности, базирующемся на принципе глубоко эшелонированной защиты, соответствующей лучшим мировым показателям. В принятой Федеральной целевой программе [13] предпочтение отдается освоенным технологиям получения ядерной электроэнергии на основе модифицированных тепловых реакторов с водой под давлением (ВВЭР) и реакторов большой мощности канальных (РБМК). Вместе с тем ставится проблема продолжения эксплуатации уже существующих АЭС, поскольку успешное выполнение принятой Федеральной целевой программы без решения этой проблемы весьма затруднительно.

Многолетний опыт эксплуатации Нововоронежской АЭС показывает, что состояние геологической среды в районе расположения атомного энергетического объекта остается стабильно безопасным. Не зафиксировано никаких негативных изменений ни в геологических структурах и горных породах, их наполняющих, ни в составе и динамике циркулирующих подземных водных потоков, ни в инженерно-геологических условиях. Современное состояние геологической среды не препятствует дальнейшей работе существующих энергоблоков Нововоронежской АЭС и завершению строительства Нововоронежской АЭС-2. Необходимое условие – эффективное функционирование сети комплексного геолого-геофизического мониторинга.

Список литературы

1. Бочаров В. Л. Факторный анализ в гидрогеохимических исследованиях района Нововоронежской АЭС / В. Л. Бочаров, В. Г. Бунеева, Ю. М. Зинюков // Применение ЭВМ при гидрогеохимическом моделировании. Тез. докл. Всесоюз. семинара. – Л. : Ленинград. ун-т, 1991. – С. 38–39.

2. Бочаров В. Л. Влияние водохранилищ и АЭС на подземные воды / В. Л. Бочаров, А. Я. Смирнова, М. Н. Бугреева // Научное чтения. Всеурал. совещ. По подземным водам Урала и сопредел. территории. Тез. докл. – Пермь : Перм. ун-т, 1994. – С. 69–70.

3. Бочаров В. Л. Экологическая безопасность атомных электростанций Центральной России / В. Л. Бочаров // Междунар. науч. конф. «Биологические проблемы устойчивого развития природных экосистем». Тез. докл. Часть 1. – Воронеж : Воронеж. ун-т, 1996. – С. 19–21.

4. Готлиф А. А. Численное моделирование фильтрационных потоков в основаниях энергетических объектов // А. А. Готлиф, В. Д. Озерова, В. С. Прокопович // Основания, фундаменты и механика грунтов, 1997. – C. 10–14.

5. Елагин Ю. П. Реакторные установки отечественных АЭС / Ю. П. Елагин. – М. : ЦОИ, 1992. – 37 с.

6. Надежка Л. И. Тектоническая раздробленность кристалл. коры и характер современной сейсмичности территории Воронеж. кристалл. массива / Л. И. Надежка, М. А. Ефременко, О. М. Ипполитов // Геологические опасности. Мат. XV Всеросс. конф. с Междунар. участ. – Архангельск : Ин-т эколог. пробл. Севера, 2009. – С. 324– 327.

7. Надежка Л. И. О возможных причинах локальных землетрясений на территории Воронежского кристаллического массива / Л. И. Надежка [и др.] // Свойства, структура, динамика и минерагения литосферы Восточно-Европейской платформы. Мат. XVI Междунар. конф. Т. 2. – Воронеж : Научная книга, 2010. – С. 73–76.

8. Савко А. Д. Геология Воронежской антеклизы / А. Д. Савко // Труды НИИ Геологии Воронеж. ун-та. – Воронеж : Воронеж. ун-т, 2002. – Вып. 2. – 165 с.

9. Смирнова А. Я. Эколого-гидрогеохимические условия и геофизические свойства пород в зоне влияния Нововоронежской АЭС / А. Я. Смирнова, В. Л. Бочаров, А. П. Тарков // Природные ресурсы Воронежской области, их воспроизводство, мониторинг и охрана. – Воронеж : Воронеж. ун-т, 1995. – С. 55–57.

10. Смирнова А. Я. Оценка уровненного режима грунтовых вод и теплового загрязнения р. Дон в районе Нововоронежской АЭС по сообществам низших растений / А. Я. Смирнова, Г. А. Анциферова. Л. Н. Строгонова // Вестник Воронеж. ун-та. Сер.: Геол. – 2006. – № 1. – С. 207–216.

11. Тихонов М. Н. Ядерные энергетические установки: постижение реальности / М. Н. Тихонов, М. И. Рылов // Теоретическая и прикладная экология. – 2009. – № 3. – С. 48–56.

12. Трегуб А. И. Неотектоника территории Воронежского кристаллического массива / А. И. Трегуб. – Воронеж : Воронеж. ун-т, 2002. – 220 с.

13. Федеральная целевая программа «Развитие атомного энергопромышленного комплекса России на 2007–2010 годы и на перспективу до 2015 года» // Постановление Правительства Российской Федерации от 6 октября 2006 г. – М., 2006. – № 605. – 155 с.

14. Холмовой Г. В. Неоген-четвертичный аллювий и полезные ископаемые Верхнего Дона / Г. В. Холмовой. – Воронеж : Изд-во Воронеж. ун-та, 1993. – 98 с.