

**ИЗЫСКАНИЕ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ,
СТРОИТЕЛЬСТВО И МОНТАЖ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

УДК 551.49:621.039.1

**ОСОБЕННОСТИ МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕНИЯ
ТЕРМОМОНИТОРИНГА ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА ПЛОЩАДКЕ АЭС
БУШЕР-1 В ИСЛАМСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ ИРАН**

© 2021 В.Ю. Ульянов

Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры (ПГАСиА), Днепр, Украина

В статье представлены некоторые возможности термометрии при проведении мониторинга подземных вод на АЭС Бушер-1. Рассмотрены возможные источники локальных аномалий температурного поля, регистрируемого в скважинах. Показано, что температурные измерения позволяют в т.ч. определять и важные особенности эксплуатации скважин системы мониторинга, их конструктивные характеристики, целостность обсадных колонн и источники питания водоносных горизонтов. А в условиях площадки АЭС «Бушер-1», находящейся, как известно, в сложной сеймотектонической обстановке, температурный мониторинг имеет особое дополнительное значение. Мониторинговые температурные измерения в скважинах позволяют получить больше информации об изменениях гидрогеодинамического поля перед тектоническими событиями по сравнению с традиционными измерениями уровня столба жидкости. По этой причине температурный мониторинг на площадке АЭС «Бушер» должен стать частью специализированного сейсмомониторинга, имеющего целью безопасную эксплуатацию АЭС в сложных сеймотектонических условиях зоны Загрос и прилегающей части иранского побережья Персидского залива.

Ключевые слова: Исламская Республика Иран, АЭС, мониторинг подземных вод, термомониторинг, скважинная термометрия, гидрогеологические скважины.

Поступила в редакцию 11.01.2021
После доработки 26.02.2021
Принята к печати 05.03.2021

Введение

Ускоренное развитие атомной энергетики и индустрии, увеличение мощностей АЭС и строительство крупных энергетических комплексов, как правило, приводят к выведению из хозяйственного оборота значительных площадей. К тому же, в процессе эксплуатации АЭС используются большие объемы водных ресурсов, возникают дополнительные тепловые и радиационные воздействия на окружающую среду, в результате чего возможна и активизация некоторых опасных геодинамических процессов, зачастую приводящих к характерным изменениям в различных звеньях среды. По совокупности факторов в районах размещения АЭС формируются особые природно-техногенные комплексы, отличающиеся определенными тенденциями изменений геологической среды, иногда приводящими и к негативным эколого-экономическим последствиям. Усилия, положенные на восстановление естественного равновесия в таких комплексах, обычно бывают чрезвычайно затратными и не всегда приводят к позитивным результатам. По этой причине организация многофакторного мониторинга геологической среды районов размещения АЭС требует пристального внимания и специально разработанных методик [1-3].

В задачи мониторинга геологической среды районов расположения АЭС, как правило, входят:

- а) прогноз развития геологической среды;

б) разработка рекомендаций по оптимизации функционирования природно-техногенных комплексов;

в) повышение экологической безопасности самих АЭС.

Многолетние наблюдения за работой АЭС, как в России, так и за рубежом показывают, что объектам атомной энергетики присуща ярко выраженная совокупность свойственных только им техногенных воздействий на геологическую среду, которая обязательно должна приниматься во внимание при организации мониторинга. Эти воздействия по своим последствиям условно можно выделить в несколько типовых групп:

- приводящих к нарушению водного баланса;
- приводящих к изменению состояния и свойств грунтов основания;
- приводящих к значительному увеличению активности тепломассопереноса;
- приводящих к загрязнению окружающей среды радиоактивными элементами.

Материалы и методы

Как известно, техногенное тепловое воздействие является одним из важных и практически постоянных факторов влияния на геологическую среду площадок АЭС. Данный тип воздействия возникает по причине относительного многообразия конструктивных схем устройства атомных станций и систем охлаждения ядерных реакторов. В результате этого с изменением водного и теплового баланса верхней зоны грунтового разреза площадок АЭС происходит повышение активности тепломассопереноса и формируется т.н. ореол теплового взаимодействия объектов атомных станций с геологической средой. Большинство объектов АЭС характеризуется значительным тепловыделением в окружающую среду в основном путем сброса термальных вод из систем охлаждения целевого оборудования, которое становится еще более значимым в южной климатической зоне, в которой в настоящее время РФ сооружает атомные объекты (Иран, Индия, Турция, Египет, Бангладеш, Китай). Повышение температуры сбросных вод, путем инфильтрации смешивающихся с естественными водоносными горизонтами, является основной причиной развития устойчивых процессов тепломассопереноса, также иногда меняющих состояние и свойства грунтов оснований АЭС. Таким образом, в наблюдательную сеть мониторинга геологической среды территорий АЭС должны обязательно включаться температурные наблюдения и контроль за процессами тепломассопереноса [4].

Как уже указывалось, основную долю в тепловыделении АЭС в окружающую среду составляет сбросное тепло (по отдельным подсчетам, в среднем до 65-70%). На современных АЭС вода используется в качестве главного теплоотводящего элемента в сетях производственно-технического водоснабжения, бассейнах-охладителях, градирнях и др. В то же время утечки и инфильтрация нагретых техногенных вод (с температурой до 45-50°C, а иногда и выше) не исключаются из-за конструктивных, а также и из-за строительных недоработок. В результате вокруг АЭС формируется устойчивое техногенное тепловое поле – своеобразная температурная аномалия, протяженность которой в плане определяется теплофизическими свойствами пород и гидрогеологическими условиями территории. Некоторые данные о влиянии тепловых источников АЭС на нагрев грунтовых вод представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Нагрев грунтовых вод территории АЭС на различном расстоянии от источника [Groundwater heating of the NPP territory at different distances from the source]

Параметр	Номера термометрических скважин							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Расстояние от источника нагрева, м	25	75	100	125	150	650	750	1000
Повышение температуры грунтовых вод, °С	11.0	3.5	2.2	1.5	1.2	1.0	0.7	0.5

Следует иметь в виду, что активному развитию процессов теплопереноса в районах размещения АЭС чаще всего способствуют следующие основные факторы, а именно:

- заглубленность тепловыделяющих элементов энергетического комплекса в грунтовое основание, особенно при наличии протяженных сбросных коммуникаций, предназначенных для сброса термальных вод с АЭС, расположенных в прибрежной зоне морей;
- техногенное усиление инфильтрационного питания грунтовых вод, сопровождающееся локальным или повсеместным подъемом их уровней и изменением скоростей фильтрации;
- повышенным водопотреблением АЭС по сравнению с другими объектами (по отдельным оценкам в среднем около 2.0 м³/сек против 1,1 м³/сек на ТЭС при безвозвратных потерях т.е. 1 м³/сек на каждые 1000 мВт).

Проведенными Яковлевым Е.А., Графским Б.В., Собоновичем Э.В. и др. наблюдениями было установлено, что максимально высокие температуры грунтовых вод регистрируются в основном в зоне брызгальных бассейнов и градирен промплощадки, а также пруда-охладителя АЭС. Свои особенности имеются и на площадках АЭС в южной климатической зоне, особенно расположенных в непосредственной близости от морских акваторий, используемых для целей охлаждения целевого оборудования, и зачастую находящихся в районах повышенной сейсмичности. В зоне интенсивного водообмена, как правило, ограниченного в разрезах местным или региональным водоупором, наблюдается относительная равномерность прогрева грунтовых вод. Кроме того, часто наблюдается близость к плоскорадиальному распределению поля устойчивого повышения температуры грунтовых вод от внешнего контура промплощадки и до зоны естественного движения грунтового потока (область конвективного переноса тепла). Наряду с этим прослеживается тесная связь режима развития теплового поля с геофильтрационными параметрами подстилающих грунтов, проявляющаяся в похожем характере изменения градиентов уровней и температур [5]. Локальные же температурные аномалии природного характера должны быть выявлены и исследованы еще на стадии инженерных изысканий.

В настоящее время основой термомониторинга на площадках АЭС является скважинная термометрия, представляющая собой измерение температуры скважинной жидкости. Для практических целей скважинная термометрия реализуется в двух вариантах: как метод исследований естественного теплового поля Земли, носящего стационарный характер, и как метод изучения нестационарных тепловых полей, имеющих искусственное (техногенное) происхождение. В первом случае измерения температуры производятся в скважинах с установившимся или практически установившимся тепловым режимом. При этом измеряемым и интерпретируемым параметром является естественная температура пород, слагающих разрез скважины, а метод обычно именуют геотермией [6-8]. Особенностью геотермических исследований является возможность прогнозирования тектонического строения территории, определение областей питания подземных вод и пр. [9]. Для второго случая, помимо скважин сети мониторинга дополнительно выполняются измерения в поверхностных водоемах и сбросных технологических каналах, использующих термальную воду, а также в галереях и колодцах дренажных систем, прочих водопунктах.

АЭС «Бушер-1» в ряду объектов, созданных при участии РФ за рубежом, от отечественных АЭС отличается как конструктивной схемой, так и особенностями обеспечения работы оборудования в южной климатической зоне, т.е. в условиях, ранее почти не встречавшихся в отечественной практике. Это же относится и к организации мониторинга подземных вод, в котором термометрии было уделено повышенное

внимание, учитывая в т.ч. структурно-тектонические условия площадки и района расположения АЭС в целом.

Результаты

В период проведения масштабных геотехнических исследований 1998-1999 гг. измерение температуры подземных вод на площадке АЭС проводились иранской фирмой «Mahab Ghodss consulting engineers» («MG») совместно с ОАО «Атомэнергопроект» (ОАО «АЭП») по сети пробуренных геотехнических скважин. Из графиков термометрии в наиболее глубоких скважинах С-1, С-2, С-3, расположенных вокруг здания реактора 1 блока и пройденных до 100 м, следовало, что наибольшие сезонные изменения температуры касались слоев до глубины 10-12 м. К глубине 30 м значения температуры по скважинам С-1, С-2, С-3, а также по скважинам G-1, G-3, IB-14, IB-15, IB-17, IB-18, стабилизировались и находились в пределах 27-27.5°C.

С глубиной фиксировался равномерный рост температуры до значений 29-29.5°C на глубине 85 м (температурный градиент $\text{Grad} = 0.05 \text{ }^\circ\text{C}/\text{м}$). На поверхности грунтовых вод температура колебалась от 25°C до 28.5 °C, что связано с режимом нагрева и охлаждения вод Персидского залива и относительным местоположением самих скважин. В этот же период было выполнено математическое моделирование температурного режима площадки. По результатам которого был сделан вывод о том, что влияние бетонных сооружений АЭС на температурный режим грунтового основания невелико: температура будет увеличиваться не более чем на 2-3°C на расстоянии, не превышающем 10 м от фундаментов. Влияние циркуляционных водоводов на температурный режим их грунтового основания также будет ограничивается малой зоной. В частности, в окрестностях труб и на расстоянии 30 м от отводящих водоводов температура грунта, по мнению разработчиков модели, не превысит 35°C.

После завершения масштабных геотехнических исследований 1998-1999 гг. постоянные измерения температур подземных и поверхностных вод на площадке АЭС были возобновлены российской стороной только в мае 2010 года с началом работы группы гидрогеологического мониторинга при УС БАС ЗАО «Институт Оргэнергострой» (ЗАО «ИОЭС»). Число объектов термометрии при осуществлении мониторинга постоянно увеличивалось, причем измерения температур производились уже не только в существовавших ранее, но уже и в новых режимных скважинах, частью оборудованных по настоянию российской стороны, а также в дренажных колодцах у турбинных зданий обоих блоков. Дополнительные измерения температур проводились в открытых сбросных гидротехнических сооружениях, пожарном водоеме и проч. сооружениях площадки 1 блока. После пуска АЭС и начала сброса термальных вод через систему заглубленных технологических трубопроводов и каналов большого сечения число объектов термометрии вновь увеличилось, достигнув к концу 2012 года 34 единиц. Но и этого оказалось, как выяснилось впоследствии, недостаточным.

За период 2010-2012 года выявленные ранее температурные тенденции верхней части горизонта подземных вод в целом сохранились, за исключением участка в центральной части площадки. Температурный фон на периферийных участках на протяжении 2010-2012 года составлял в среднем от 27°C до 28°C. В центральной части площадки, особенно на участке размещения зданий и сооружений т.н. «ядерного острова», после пуска АЭС температурный фон верхнего горизонта подземных вод определялся в большей степени условиями функционирования системы «реактор-турбоагрегат». В частности, в период работы турбоагрегата был отмечен факт влияния сброса термальных технологических вод через заглубленный закрытый сбросной канал на температурный режим скважин № 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, R16 и даже удаленных PI_7, PI_12, основной частью расположенных между т.н. «ядерным островом» и береговыми

насосными станциями. Так, в период постоянной работы турбоагрегата температура верхней части грунтового водоносного горизонта на участке скважин № 5 и № 6, расположенных в непосредственной близости от закрытого сбросного канала со стороны здания реактора, за короткое время достигла значений 32°C с явной тенденцией к дальнейшему повышению. Несомненно, на температурный режим подземных и поверхностных вод в пределах площадки влияли также и климатические факторы (нагрев и охлаждение Персидского залива, особенно в прибрежной части), а также утечки из напорных и безнапорных водонесущих коммуникаций, утечки из различных сооружений и емкостей, функционирующие дренажные системы. Карта гидроизотерм в период работы турбоагрегата выявила наличие утечек из открытого сбросного канала по направлению к пожарному водоему и далее к подводящему каналу, ведущему к береговым блочным насосным станциям. Вне зоны влияния сбросных сооружений в местах постоянных или временных техногенных утечек температурный фон обычно снижался до значений 24.0...24.5°C и менее, причем вне всякой связи с сезонными климатическими факторами. Эти выводы подтверждались и анализами химического состава подземных вод в местах выявленных температурных аномалий.

Предварительных анализ данных термомониторинга настоятельно потребовал дальнейшего расширения перечня объектов наблюдений, как и количества режимных скважин. В рамках планировавшихся ЗАО «ИОЭС» работ по исследованию водно-химического режима вод в заглубленных частях зданий и сооружений, в первую голову – кабельных и технологических каналах с целью выяснения источников и путей проникновения воды, предстояло дополнительно изучить и их температурный режим. Но после досрочного прекращения российской стороной собственного, выполняемого параллельно с иранским, мониторинга подземных вод на площадке 1 блока АЭС, его функции продолжила только иранская сторона в лице Дирекции АЭС (BNPP) и ее структур. По этой причине, начиная с 2013 года, какая-либо информация о полноте и качестве проведения иранской стороной собственного термомониторинга подземных вод на площадке 1 блока отсутствует. Помимо прекращения мониторинга подземных вод, а также уже фактически начатых исследований водно-химического режима заглубленных частей зданий и сооружений АЭС, после передачи блока Заказчику не осуществился и ряд прочих геотехнических проектов, разработанных российской стороной. О наличии же подобных геотехнических проектов у структур Заказчика сведений также нет.

Следует отметить, что относительно непродолжительный период наблюдений за температурным режимом подземных и поверхностных вод в условиях начала постоянной эксплуатации системы «реактор-турбоагрегат» позволял сделать только предварительные выводы. Однако в условиях длительной эксплуатации АЭС дальнейшее изменение температурного режима подземных вод и, как следствие, возможное его влияние на состояние грунтового основания не подлежало сомнению, особенно в центральной части площадки. Поэтому в будущем представлялось необходимым дополнительно увеличить число точек термометрии (в основном, в виде режимных скважин), особенно на участках расположения сбросных сооружений прибрежной зоны, причем как на суше, так и, что особенно важно, в пределах акватории, где они фактически полностью отсутствуют. И продолжить проведение термомониторинга, но уже в расширенном виде, с учетом требований действующих нормативных документов и рекомендаций профильных исследований [10-17]. Имеющейся же первичной информации оказалось вполне достаточно для разработки собственной методики расширенного термомониторинга на площадке 1 блока АЭС, составленной с максимальным учетом всех местных природных и техногенных факторов.

Дополнительные задачи расширенного термомониторинга на площадке 1 блока АЭС «Бушер» представлялись следующими:

– уточнение в процессе осуществления длительное время дренажа грунтовых вод вокруг турбинных зданий обоих блоков местоположения водоносных горизонтов и направления движения фильтрационных потоков;

– установление температурного режима грунтовых вод по всему стволу выбранных наблюдательных скважин с целью уточнения фильтрационных и тепло-физических характеристик различных слоев верхней части геологического разреза;

– определение степени влияния распределения температур грунтовых вод по стволу скважин при оценке их химического состава и минерализации, а также возможных причин их изменений;

– организация постоянной термометрии вод, просачивающихся в наиболее заглубленные сооружения площадки, в первую голову, секции кабельных и технологических каналов на участке т.н. «ядерного острова» 1 блока. А также на нижних плитах зданий турбины (на отметке – 10.500 м) и действующей береговой блочной насосной станции (на отметке – 12.500 м).

Методика проведения специального расширенного термомониторинга на площадке 1 блока, в отличие от ранее выполняемых работ, заключалась в инструментальном опробовании (термометрии) стволов выбранных скважин ниже УПВ и до забоя с интервалом в 1 м. Опробование целесообразнее было проводить в скважинах № 5, 6, 7, 11, 13, PI_7, PI_12, R 16. Температурную кривую в указанных скважинах необходимо было записывать только при спуске регистрирующего прибора (термометра), при этом скорость перемещения его должна была быть строго постоянной. При подъеме допускалось проводить лишь контрольные измерения температур. Частота наблюдений при выполнении расширенного термомониторинга планировалась 1 раз в месяц при возможном учащении в особо оговоренных случаях по требованию служб эксплуатации АЭС.

В качестве приборного оборудования рекомендовалось применение, помимо стандартных гидрогеологических термометров, также электронных скважинных термометров российского производства ТСЭ-50-100, МХ-1555, ЭКУ-Т50, УТСК-ТЭ-50, ММТ-1, ММТ-4, КМТ-4 или другого типа, которые обеспечивали бы большую точность измерения (до 0,05 °С), или же их зарубежных аналогов. Учитывая реальную радиологическую обстановку, сложившуюся после начала эксплуатации 1 блока АЭС, следовало проводить скважинную термометрию в тесном контакте со службой внешней дозиметрии Дирекции АЭС (BNPP). В случае повышения содержания радионуклидов в отдельных скважинах представлялось необходимым заменить ручные измерения установкой автоматизированных систем из датчиков типа logger. В этом случае возможно также было применение гирлянд из кварцевых (термисторных) датчиков. Результаты измерений представлялись в виде стандартных отчетов (заключений) с необходимыми графическими (карты гидроизотерм) и текстовыми приложениями. При наличии на площадке АЭС автоматизированной системы мониторинга недр или, если таковая была бы создана иранской стороной, то данные термометрии пополнили бы соответствующий банк данных.

В перспективе, использование данных термометрии, учитывая сложные геотехнические условия площадки 1 блока АЭС, характеризующейся к тому же большим количеством разветвленных подземных коммуникаций с размещенными в них многочисленными трубопроводами различных систем, наряду с использованием акустических течеискателей, универсальных переносных кондуктометров и радиометров, могло бы послужить дополнительным средством обнаружения мест скрытых утечек как из трубопроводов различного назначения (в т.ч. и при проведении

их гидравлических испытаний), так и из прочих, в т.ч. заглубленных гидротехнических сооружений, в процессе их эксплуатации [18].

В условиях площадка АЭС «Бушер-1», находящейся, как известно, в достаточно сложной сеймотектонической обстановке, температурный мониторинг имел бы еще и особое дополнительное значение. В этой связи крайне интересными и заслуживающими внимания являлись проведенные в период осуществления мониторинга российской стороной температурные измерения в скважине С-1 у портала здания ректора. Причиной повышенных значений температур воды в скважине С-1, отмеченных на протяжении всех циклов мониторинга, причем вне всякой связи с техногенными и близповерхностными природно-климатическими факторами, по всей вероятности, являлся локальный тепловой поток из недр. Это подтверждалось произведенными еще в 1998-1999 гг. замерами температур по всему стволу скважины. В верхней части скважины, глубина которой первоначально составляла 100 м, а на момент начала проведения мониторинга вследствие заилиения и засыпки строительным мусором не превышала 12 м, были зафиксированы температуры 29-31°C. Хотя в ходе проведения в 1998-1999 гг. дополнительных изысканий, температура 29.5°C в указанной скважине была зафиксирована только на глубине 85 м (замер 08.03.1999 г.). Дополнительным обстоятельством, способствующим значительному прогреву грунтовых вод в указанной скважине, по всей видимости, является наличие оставленной в скважине металлической обсадной трубы. Вблизи устья скважины С-1 отсутствовали какие-либо постоянно действующие тепловые инженерные коммуникации, а на участке ее расположения температура воды, специально измеренная в смотровых колодцах и приемниках системы промливневой канализации, на даты выполнения замеров не превышала 18...21°C. Температура воды в скважине С-1 также была резко отлична и от прочих мониторинговых скважин на площадке 1 блока, за исключением расположенных в непосредственной близости от сбросных коммуникаций, да и у тех только в период работы системы «реактор-турбоагрегат». Все вышеизложенное позволяло предположить как периодическую изменчивость теплового потока из недр на площадке 1 блока, как и его приуроченность к локальным участкам промплощадки, возможно, характерную и для территории всего Бушерского полуострова, тесно связанную с сеймотектоническими факторами. Из данного предположения следует, что большим подспорьем в проведении данного сегмента термометрических исследований было бы наличие в рабочем состоянии на площадке 1 блока хотя бы одной из глубоких геотехнических скважин, подобных скважинам С-1, С-2, С-3 глубиной 100м в свое время пройденных возле здания реактора, из которых С-1 частично, а С-2 и С-3 были полностью уничтожены в ходе работ по достройке блока. Уместным будет напомнить, что при достройке блока также были ликвидированы и другие относительно менее глубокие геотехнические скважины, пройденные ранее на площадке 1 блока, причем даже те, которые располагались на ее периферии вне всякого фронта работ. Многие из ликвидированных скважин к тому же были капитальными, находились в рабочем состоянии и ранее вполне успешно использовались для целей мониторинга. А глубин оставшихся скважин, составляющих максимум 15-30 м, все же представлялось явно недостаточным для проведения требуемых исследований. *Примечание: не исключено, что аналогичным образом будут ликвидированы еще сохранившиеся после проведения изысканий 2015-2018 гг. геотехнические скважины и на площадке под новые блоки АЭС, где они были бы просто необходимы для проведения в дальнейшем аналогичных исследований, в т.ч. и в силу принятой схемы укрепления грунтового основания под ответственными сооружениями указанных блоков, нуждающегося в постоянном геотехническом (в т.ч. и методами геотермии) контроле.*

Таким образом, полученные данные являются подтверждением того, что мониторинговые температурные измерения в скважинах на площадке данной АЭС важны, т.к. позволяют получить существенно больше информации об изменениях гидрогеодинамического поля, в т.ч. и перед тектоническими событиями, по сравнению с традиционными измерениями уровня столба жидкости. По этой причине температурный мониторинг на площадке АЭС «Бушер» должен стать частью специализированного общеплощадочного сейсмомониторинга, имеющего целью безопасную эксплуатацию АЭС в сложных сейсмотектонических условиях зоны Загрос и прилегающей части иранского побережья Персидского Залива. Во исполнении данного предложения и с учетом начала строительных работ на площадке под новые блоки АЭС должна быть рассмотрена возможность организации на пустующей длительное время площадке б. 2 блока (KWU) постоянно действующего стационарного полигона для гидрогеодинамического (ГГД) и термомониторинга, которые вкуче с мониторингом радона могли бы войти в структуру такого общеплощадочного сейсмомониторинга, необходимость которого не вызывает никаких сомнений [19-21]. Для чего уже сейчас стоило бы предпринять определенные меры технического и административного характера для обеспечения сохранности пока еще существующих на площадке б. 2 блока (KWU) геотехнических скважин категории «ВН» и «R». А также должна быть изучена путем технического освидетельствования возможность переоборудования наиболее сохранившихся из них в мониторинговые (в т.ч. и в исключительно термометрические). Все указанные работы целесообразнее всего выполнять под эгидой геотехнического отдела при управлении нового строительства, в состав которого должна входить и собственная служба мониторинга подземных вод, аналогичная существовавшей в 2010-2012гг. при достройке 1 блока АЭС.

При фактическом расширении АЭС до 3 блоков, строительство двух новых блоков которой уже началось, программа и задачи термомониторинга как составной части мониторинга подземных вод на площадке АЭС «Бушер-2», могут быть дополнительно скорректированы, возможно, и с учетом исследований прошлых лет на смежных участках 1 и б. 2 (KWU) блоков. Как и на площадке 1 блока, при работе блоков на новой площадке, учитывая определенное сходство конструктивных схем и систем охлаждения оборудования АЭС, грунтового разреза, а, следовательно, и теплофизических свойств грунтов, значительное увеличение температур грунтовых вод также будет фиксироваться в зоне закрытых заглубленных сбросных каналов 2 и 3 блоков. Подобными также могут быть и объекты наблюдений на площадках новых блоков, естественно, с учетом так и нереализованного проекта проведения расширенного термомониторинга на площадке 1 блока АЭС. А возможны и иные сценарии, учитывая разрабатываемую систему дренажа площадки новых блоков АЭС, отличную от существующей на площадке 1 блока, и способной изменить картину теплового поля в целом после завершения строительства и начала постоянной эксплуатации.

Выводы

По результатам термомониторинга на площадке 1 блока АЭС «Бушер» за весь период наблюдений было установлено, что на участке размещения зданий и сооружений т.н. «ядерного острова» после пуска АЭС температурный фон верхнего горизонта подземных вод определялся в большей степени условиями функционирования системы «реактор-турбоагрегат». Максимальные значения температур подземных вод были зафиксированы вдоль сбросных заглубленных коммуникаций. Несомненно, на температурный режим подземных и поверхностных вод в пределах площадки влияли также и климатические факторы (нагрев и охлаждение Персидского залива, особенно в прибрежной части), а также утечки из напорных и безнапорных водонесущих коммуникаций, утечки из различных сооружений и

емкостей, функционирующие дренажные системы. Выявленные же локальные аномалии требовали дальнейшего изучения.

В условиях площадки АЭС «Бушер-1», находящейся, как известно, в сложной сейсмотектонической обстановке, температурный мониторинг, по мнению автора настоящей статьи, имел бы и особое, дополнительное значение. Не подлежит сомнению, что проведенные на достаточном техническом уровне расширенные мониторинговые температурные измерения позволили бы получить существенно больше информации об изменениях гидрогеодинамического поля перед тектоническими событиями в районе расположения объекта по сравнению с традиционными измерениями уровня столба жидкости. По этой причине, температурный мониторинг на промплощадке АЭС «Бушер», наряду с мониторингом радона, мог бы стать частью специализированного общеплощадочного сейсмониторинга, имеющего целью безопасную эксплуатацию всех блоков АЭС в сложных сейсмотектонических условиях зоны Загрос и прилегающей части иранского побережья Персидского залива. Но для успешного выполнения подобных исследований желательно наличие на площадках под новые и старые блоки, помимо прочих составляющих, хотя бы по 1 режимной скважине глубиной не менее 100 м, вкуче с возможной организацией специального стационарного полигона на пустующей площадке б, 2 блока (KWU).

Учитывая сходные геологические условия площадок под старые и новые блоки АЭС «Бушер», все вышесказанное правомочно для организации и проведения термомониторинга подземных вод на площадке строящихся блоков № 2 и 3. Но термомониторинг на новой площадке должен выполняться уже в соответствии с требованиями нормативных документов, вступивших в действие в последнее время, в том числе СТО СРО-Г 60542954 00020–2019 и др. Однако все указанные работы целесообразнее всего выполнять под эгидой геотехнического отдела при управлении нового строительства, включающего и собственную службу мониторинга подземных вод, аналогичную существовавшей в 2010-2012 гг. при достройке 1 блока АЭС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Глинский, М.Л.* Мониторинг состояния недр в районах расположения ядерно и радиационно опасных объектов и оценка безопасности их долгосрочной эксплуатации / М.Л. Глинский, А.В. Глаголев, В.Ф. Котлов // Радиоактивные отходы. – 2018. – № 3(4). – С. 78-86.
2. *Климова, Т.И.* К вопросу совершенствования системы объектного мониторинга состояния недр на предприятиях Госкорпорации «Росатом» / Т.И. Климова, Е.Б. Севтинова, Л.Г. Чертков, А.Д. Палагушин, М.В. Удаляя // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 2015. – № 4. – С. 65-74. – URL : <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2015-4-65-74>
3. *Белоусова, А.П.* Особенности мониторинга подземных вод в районах расположения АЭС / А.П. Белоусова // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. – 2017. – № 3(111). – С. 64-77. – URL : <https://elibrary.ru/item.asp?id=28779073>.
4. *Королев, В.А.* Мониторинг геологической среды / В.А. Королев ; под ред. В.Т. Трофимова. – Москва : МГУ, 1995. – 272 с.
5. *Яковлев, Е.А.* Итоги и задачи изучения изменения геологической среды в районах возведения атомных электростанций / Е.А. Яковлев, Б.В. Графский, Г.В. Лисиченко, Э.В. Собонович / Проблемы рационального использования геологической среды. – Москва : Наука, 1988. – С. 203-224.
6. *Аузин, А.А.* Возможности скважинной термометрии при решении гидрогеологических задач / А.А. Аузин, Хеляль Марьям Ахмад // Вестник ВГУ. Серия: Геология. – 2019. – № 1. – С. 72-75.
7. *Аузин, А.А.* Геотермические исследования в скважине 11/89 на учебном геофизическом полигоне Веневитиново / А.А. Аузин // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. – 1999. – № 8. – С. 192-194.
8. *Череманский, Г.А.* Геотермия / Г.А. Череманский / Ленинград : Недра, 1972. – 271 с.

9. Юрков, А.К. Об информативности температурного мониторинга в скважинах при изучении тектонического режима / А.К. Юрков, Д.Ю. Демежко, В.И. Уткин // Уральский геофизический вестник. Екатеринбург. – 2011. – № 1(18). – С. 45-52.
10. РД 153-34.1-21.325-98 Методические указания по контролю за режимом подземных вод на строящихся и эксплуатируемых (тепловых) электростанциях. – Москва, 1998.
11. СП 151.13330.2012 Инженерные изыскания для размещения, проектирования и строительства АЭС. Часть II. Инженерные изыскания для разработки проектной и рабочей документации и сопровождения строительства. – Москва, 2012.
12. РСН 75-90 Инженерные изыскания для строительства. Технические требования к производству геофизических работ. Каротажные методы. – Москва : Стройиздат, 1990.
13. Сидоров, В.А. Состояние и развитие геофизических исследований гидрогеологических скважин / В.А. Сидоров, С.А. Калташев, Л.Г. Коротченко // Москва : ВСЕГИНГЕО. 1985. – 34 с.
14. Методические рекомендации по применению геофизических исследований в скважинах при проведении гидрогеологических и инженерно-геологических работ / под ред. И.М. Гершановича. – Москва : ВСЕГИНГЕО, 1986. – 67 с.
15. РБ 036-06. Мониторинг инженерно-геологических условий размещения объектов ядерного топливного цикла // Ядерная и радиационная безопасность. – 2007. – № 4. – С. 44-49.
16. Бугаев, Е.Г. Требования и особенности проведения комплексного геолого-геофизического мониторинга в районе и на площадке размещения объектов использования атомной энергии (ОИАЭ) / Е.Г. Бугаев, А.С. Гусельцев, Л.М. Фихиева // Труды пятой научно-технической конференции к 100-летию организации инструментальных сейсмологических исследований на Камчатке «Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России». Петропавловск-Камчатский, 27 сентября – 03 октября 2015 г. – Обнинск : Федеральный исследовательский центр «Единая геофизическая служба России», 2015. – С. 33-37.
17. СТО СРО-Г 60542954 00020-2019 Объектный мониторинг состояния недр. Правила ведения. – Москва : СРО НП «СОЮЗАТОМГЕО», 2019.
18. Ульянов, В.Ю. Методика обнаружения утечек из водонесущих коммуникаций как составная часть геотехнического мониторинга на площадке АЭС «Бушер-1» в Исламской Республике Иран / В.Ю. Ульянов // Глобальная ядерная безопасность. – 2017. – № 1(22). – С. 7-12.
19. Ульянов, В.Ю. Мониторинг радона как индикатора сейсмоструктурных событий на площадке АЭС «Бушер-1» и прилегающей территории провинции Бушер Исламской Республики Иран / В.Ю. Ульянов // Глобальная ядерная безопасность. – 2017. – № 4(25). – С. 7-17.
20. Учет внешних событий, исключая землетрясения, при проектировании атомных электростанций. Руководство № NS-G-1.5. Международное агентство по атомной энергии. – Вена, 2008. – 105 с.
21. Макеев, В.М. Проблема выявления ослабленных зон при изучении инженерно-геологических условий (на примере территории Бушерской АЭС) / В.М. Макеев, В.М., А.С.Гусельцев, И.М. Кравченко // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геоэкология. – 2020. – № 5. – С. 24-31. DOI: 10.31857/S0869780920050057.

REFERENCES

- [1] Glynskiy M.L., Glagolev A.V., Kotlov V.F. Monitoring sostoyaniya neдр v rayonakh raspolozheniya yaderno i radiatsionno opasnykh ob"yektov i otsenka bezopasnosti ikh dolgosrochnoy ekspluatatsii [Subsoil Condition Monitoring in Nuclear and Radiation Facilities and the Estimation of Long Term Maintenance Safety Guide]. Radioaktivnyye otkhody [Radioactive Waste]. 2018. No.3(4). P. 78-86 (in Russian).
- [2] Klimova T.I., Sev'tinova E.B., Chertkov L.G., Palagushin A.D., Udalaya M.V. K voprosu sovershenstvovaniya sistemy ob"yektного monitoringa sostoyaniya neдр na predpriyatiyakh Goskorporatsii «Rosatom» [The Question of Improving the System Object Monitoring of Subsurface Conditions at the Enterprises of the State Corporation «Rosatom»]. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geologiya i razvedka [Proceedings of Higher Educational Establishments. Geology and Exploration]. 2015. No.4. P.65-74. URL: <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2015-4-65-74> (in Russian).
- [3] Belousova A.P. Osobennosti monitoringa podzemnykh vod v rayonakh raspolozheniya AES [Peculiarities of Groundwater Monitoring in the Areas of NPP Location]. Vodoochistka. Vodopodgotovka. Vodосnabzheniye [Water Purification. Water Treatment. Water Supply]. 2017. No.3(111). P. 64-77 URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28779073> (in Russian).

- [4] Korolev V.A., edited by V.T. Trofimova Monitoring geologicheskoy sredy [Monitoring of the Geological Environment]. Moskva: Moskovskiy gosudarstvennyy universitet [Moscow: Moscow State University]. 1995. 272 p. (in Russian).
- [5] Yakovlev E.A., Grafsky B.V., Lisichenko G.V., Sobotovich E.V. Itogi i zadachi izucheniya izmeneniya geologicheskoy sredy v rayonakh vozvedeniya atomnykh elektrostantsiy [Results and Tasks of Studying Changes in the Geological Environment in the Areas of Nuclear Power Plant Construction]. Problemy ratsional'nogo ispol'zovaniya geologicheskoy sredy [Problems of the Rational Use of the Geological Environment]. Moskva: Nauka. [Moscow: Science]. 1988. P. 203-224 (in Russian).
- [6] Auzin A.A., Khelyal Maryam Ahmad. Vozmozhnosti skvazhinnoy termometrii pri reshenii gidrogeologicheskikh zadach [Possibilities of Borehole Thermometry in Solving Hydrogeological Problems]. Vestnik VGU. Seriya: Geologiya [Vestnik VSU. Series: Geology]. 2019. No.1. P. 72-75 (in Russian).
- [7] Auzin A.A. Geotermicheskiye issledovaniya v skvazhine 11/89 na uchebnom geofizicheskom poligone Venevitinovo [Geothermal Studies in Well 11/89 at the Venevitinovo Training Geophysical Test Site]. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya [Bulletin of the Voronezh State University. Series: Geology]. 1999. No.8. P. 192-194 (in Russian).
- [8] Cheremenskiy G.A. Geotermiya [Geothermy]. Leningrad: Nedra. 1972. 271 p. (in Russian).
- [9] Yurkov A.K., Demezhko D.Yu., Utkin V.I. Ob informativnosti temperaturnogo monitoringa v skvazhinakh pri izuchenii tektonicheskogo rezhima [About the Information Content of the Temperature Monitoring in Wells in the Study of Tectonic Regime]. Ural'skiy geofizicheskii vestnik [Ural Geophysical Bulletin]. Yekaterinburg 2011. No.1(18). P. 45-52 (in Russian).
- [10] RD 153-34.1-21.325-98 Metodicheskiye ukazaniya po kontrolyu za rezhimom podzemnykh vod na stroyashchikhsya i ekspluatiruyemykh (teplovykh) elektrostantsiyakh [Guidelines for Monitoring the Regime of Groundwater at Constructed and Operated (Thermal) Power Plants]. – Moskva [Moscow], 1998 (in Russian).
- [11] SP 151.13330.2012 Inzhenernyye izyskaniya dlya razmeshcheniya, proyektirovaniya i stroitel'stva AES. Chast' II. Inzhenernyye izyskaniya dlya razrabotki proyektnoy i rabochey dokumentatsii i soprovozhdeniya stroitel'stva [Engineering Surveys for the Placement, Design and Construction of Nuclear Power Plants. Part II. Engineering Surveys for the Development of Design and Working Documentation and Construction Support]. Moskva [Moscow]. 2012 (in Russian).
- [12] RSN 75-90 RSN 75-90 Inzhenernyye izyskaniya dlya stroitel'stva. Tekhnicheskiye trebovaniya k proizvodstvu geofizicheskikh rabot. Karotazhnyye metody [Engineering Surveys for Construction. Technical Requirements for the Production of Geophysical Works. Logging Methods]. Moskva [Moscow]. Stroyizdat. 1990 (in Russian).
- [13] Sidorov V.A., Kaltashev S.A., Korotchenko L.G. Sostoyaniye i razvitiye geofizicheskikh issledovaniy gidrogeologicheskikh skvazhin [State and Development of Geophysical Research of Hydrogeological Wells]. Moskva: VSEGINGEO [Moscow: VSEGINGEO]. 1985. 34 p. (in Russian).
- [14] Metodicheskiye rekomendatsii po primeneniyu geofizicheskikh issledovaniy v skvazhinakh pri provedenii gidrogeologicheskikh i inzhenerno-geologicheskikh rabot [Guidelines for the Use of Geophysical Surveys in Wells When Carrying out Hydrogeological and Engineering-Geological Works]. Pod red. I.M. Gershanovicha [ed. I. M. Gershanovich]. Moskva: VSEGINGEO [Moscow: VSEGINGEO]. 1986. 67 p. (in Russian).
- [15] RB 036-06. Monitoring inzhenerno-geologicheskikh usloviy razmeshcheniya ob'yektov yadernogo toplivnogo tsikla [Monitoring of Engineering and Geological Conditions for the Placement of Nuclear Fuel Cycle Facilities]. Yadernaya i radiatsionnaya bezopasnost' [Nuclear and Radiation Safety]. 2007. No.4. P. 44-49 (in Russian).
- [16] Bugaev E.G., Guseltsev A.S., Fikhieva L.M. Trebovaniya i osobennosti provedeniya kompleksnogo geologo-geofizicheskogo monitoringa v rayone i na ploshchadke razmeshcheniya ob'yektov ispol'zovaniya atomnoy energii (OIAE) [Requirements and Features of Complex Geological and Geophysical Monitoring in the Area and on the Site of Nuclear Facilities (NF)]. Trudy pyatoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii k 100-letiyu organizatsii instrumental'nykh seismologicheskikh issledovaniy na Kamchatke «Problemy kompleksnogo geofizicheskogo monitoringa Dal'nego Vostoka Rossii». Petropavlovsk-Kamchatskiy, 27 sentyabrya – 03 oktyabrya 2015 g. [Proceedings of the Fifth Scientific and Technical Conference Dedicated to the 100th Anniversary of the Organization of Instrumental Seismological Studies in Kamchatka: “Problems of Integrated Geophysical Monitoring of the Russian Far East. Petropavlovsk-Kamchatsky, September 27-October 03, 2015]. Obninsk: Federal'nyy issledovatel'skiy tsentr «Yedinaya geofizicheskaya sluzhba Rossii» [Obninsk, Ed. Federal Research Center «United Geophysical Service of Russia»]. 2015. P. 33-37 (in Russian).

- [17] STO SRO-G 60542954 00020-2019 Ob'yektnyy monitoring sostoyaniya nedr. Pravila vedeniya [Object Monitoring Subsoil Conditions. Rules of Conduct]. Moskva [Moscow]: SRO NP «SOYUZATOMGEO». 2019 (in Russian).
- [18] Ulyanov V.Yu. Metodika obnaruzheniya utechek iz vodonesushchikh kommunikatsiy kak sostavnaya chast' geotekhnicheskogo monitoringa na ploshchadke AES «Busher-1» v Islamskoy Respublike Iran [Technique of Leak Detection from the Water Bearing Communications as the Component of Geotechnical Monitoring of the Bushehr-1 NPP Platform in the Islamic Republic of Iran]. Global'naya yadernaya bezopasnost' [Global Nuclear Safety]. 2017. No.1(22). P. 7-12 (in Russian).
- [19] Ulyanov V.Yu. Monitoring radona kak indikatora seysmotektonicheskikh sobytiy na ploshchadke AES «Busher-1» i prilegayushchey territorii provintsii Busher Islamskoy Respubliki Iran [Monitoring of Radon as an Indicator of Seismotectonic Events at the Bushehr-1 NPP Site and the Adjacent Territory of the Bushehr Province of the Islamic Republic of Iran]. Global'naya yadernaya bezopasnost' [Global Nuclear Safety]. 2017. No.4(25). P. 7-17 (in Russian).
- [20] Uchet vneshnikh sobytiy, isklyuchaya zemletryaseniya, pri proyektirovanii atomnykh elektrostantsiy. Rukovodstvo № NS-G-1.5 [External Events Excluding Earthquakes in the Design of Nuclear Power Plants. Safety Guide, No. NS-G-1.5]. Mezhdunarodnoye agentstvo po atomnoy energii [International Atomic Energy Agency]. Vena [Vienna]. 2008. 105 p.
- [21] V. M. Makeev, A. S. Guseltsev, I. M. Kravchenko Problema vyyavleniya oslablennykh zon pri izuchenii inzhenerno-geologicheskikh usloviy (na primere territorii Busherskoy AES) [The Problem of Identifying Weakened Zones in the Study of Geotechnical Conditions (for example, the Territory of the Bushehr NPP)]. Geokologiya. Inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya [Geoecology. Engineering Geology, Hydrogeology, Geocryology]. 2020. No.5. P. 24-31. DOI: 10.31857 / S0869780920050057 (in Russian).

Methodology Specific Features of Underground Water Thermomonitoring at the Bucher-1 NPP Site in the Islamic Republic of Iran

V.Yu. Ulyanov

*Dnieper State Academy of Construction and Architecture, Chernyshevsky St., 24a, Dnepr, Ukraine, 49600
ORCID iD: 0000-0002-9028-3408
e-mail: vuluanov@mail.ru*

Abstract – The article presents some of the possibilities of thermometry when monitoring groundwater at the Bushehr-1 NPP. Possible sources of local anomalies of the temperature field recorded in the wells are considered. It is shown that temperature measurements allow, incl. to determine the important features of the operation of the monitoring system wells, their design characteristics, the integrity of the casing strings and the power sources of the aquifers. And in the conditions of the Bushehr-1 NPP site, which is known to be in a complex seismotectonic environment, temperature monitoring is of particular additional importance. Monitoring temperature measurements in wells provide more information about changes in the hydrogeodynamic field before tectonic events compared to traditional measurements of the liquid column level. For this reason, temperature monitoring at the Bushehr NPP site should become a part of specialized seismic monitoring aimed at the safe operation of the NPP in difficult seismotectonic conditions in the Zagros zone and the adjacent part of the Iranian coast of the Persian Gulf.

Keywords: Islamic Republic of Iran, NPP, underground water monitoring, thermomonitoring, borehole thermometry, hydrogeological wells.