

---

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

---

УДК 551.248.2:551.4.07:551.79:551.782

**К ВОПРОСУ О ГЕОЛОГИИ, ТЕКТЕНИКЕ И СТРАТИГРАФИИ  
ПЛОЩАДКИ СТРОИТЕЛЬСТВА НОВЫХ БЛОКОВ АЭС БУШЕР В  
ИСЛАМСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ ИРАН В СВЕТЕ ГЕОТЕХНИЧЕСКИХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ ПОСЛЕДНИХ ЛЕТ**

© 2020 В.Ю. Ульянов

*Приднепровская Государственная Академия Строительства и Архитектуры (ПГАСиА), Днепр, Украина*

Южный Иран в районе Загроса и границ Аравийской и Евразийской плит является сейсмически активной территорией, на которой находятся крупные промышленные объекты, в т.ч. АЭС «Бушер». В этой связи понятна актуальность изучения современной геодинамики и геологии региона. Геологическое строение территории после проведения инженерных изысканий 1974-2001 гг. уже казалось не вызывающим вопросов. Однако после завершения инженерных изысканий под новые блоки АЭС в 2015 появились новые взгляды на некоторые позиции по сейсмотектонике, а позднее, и по геологии района. В статье приведены сведения о геологии, тектонике и стратиграфии района и участка исследований, в т.ч. не освещённые ранее в отечественных отчётных материалах и научных статьях, а также рассмотрены возможные причины появления иных трактовок касемо сейсмотектоники и геологии района расположения площадки АЭС. Представлен краткий анализ результатов исследований, как выполненных ранее, так и завершённых относительно недавно. Рассмотрена дополнительная аргументация в пользу наличия разломных зон в пределах Бушерской антиклинали, предположенных иранскими исследователями. В частности, предположенный ими разлом Харк-Миш может быть частью погребённой древней антиклинальной складки до изменения положения её оси в современный период вследствие неотектонических процессов, обычных для данного региона в целом. Произведено сравнение геологии и тектоники Бушерской антиклинали с аналогичными структурами о. Харк и ближайших островов. Приведены также уточнённые сведения о стратиграфии отдельных геологических формаций района и площадки исследований. Не смотря на аргументированное обоснование различных позиций по геологии и тектонике района, представляется необходимым проведение ряда дополнительных специальных прямых и косвенных исследований, имеющих конечной целью обеспечение безопасности строящихся и действующих блоков АЭС «Бушер».

*Ключевые слова:* Исламская Республика Иран, АЭС Бушер, Бушерская антиклиналь, тектонические разломы, активные разломы, сейсмичность, геологическая формация, геологическая свита, стратиграфия, палеонтология.

Поступила в редакцию 24.08.2020

После доработки 13.10.2020

Принята к печати 16.10.2020

**Введение**

Южный Иран в районе Загроса и границ Аравийской и Евразийской плит традиционно является сейсмически активной территорией, на которой находятся крупные промышленные объекты Ирана, в частности, действующая АЭС «Бушер-1» и сооружаемая РФ АЭС «Бушер-2». В этой связи понятна актуальность изучения современной геодинамики, геологии и стратиграфии площадки строительства и региона в целом.

Изыскательские работы на полуострове выполнялись длительное время в несколько этапов в связи с особенностями работы политической и экономической обстановкой в самом Иране.

На первом этапе, в рамках реализации Программы по размещению на территории Ирана атомных энергетических источников, по заказу немецкой фирмы KWU фирмой «Dames & Moore» (США) в 70-е годы прошлого века в провинции Фарс были выполнены предварительные исследования для строительства АЭС «Бушер». По результатам этих исследований на полуострове Бушер были выбраны две площадки (Халиле и Амери). Исследования площадок «Халиле» и «Амери» были начаты в ноябре 1974 года. После выбора площадки «Халиле» для размещения АЭС Иран 1 и 2 исследования на ней продолжались с перерывами до ноября 1975 года и были окончательно завершены осенью 1976 года. В 1978 г. к юго-востоку от комплекса блока Иран-2 той же фирмой по заказу японской фирмы «Mitsubishi Heavy Industries» были проведены геотехнические исследования под проект завода по обессоливанию морской воды. После 1979 г. строительство атомной станции было прекращено. Отдельные виды исследований и наблюдений продолжались до 1984 года.

На втором этапе, после 1996 г., кроме российских (Атомстройэкспорт, Московский Атомэнергопроект, Нижегородский Атомэнергопроект) и иранских специализированных организаций (АЕОИ, «Darya-Khak», «Khak-e-Khoob Consulting Engineers», «Mahab Ghodds» и др.), буровые работы на Бушерском полуострове в этот период также проводила и иранская национальная нефтяная компания. Тектоника района особенно подробно изучалась в ходе проведения сейсмологической экспедиции Института физики земли Российской Академии Наук под руководством д.ф.-м.н. С.С. Арефьева в 1999-2001 гг. Работы были связаны с изучением сейсмической обстановки и непосредственно в районе строительства АЭС Бушер. Геофизические исследования включали работы в субрегиональном масштабе, выполненные как на суше, так и на акватории Персидского залива, и работы на площадке и в ее окрестностях. Основной объем работ был выполнен в 1998-2000 гг. В 2001 г. были выполнены дополнительные инженерные изыскания и исследования на площадках размещения основных сооружений блока 2 АЭС «Бушер».

На третьем этапе, после 2014 г., изыскания на площадке под дополнительные блоки АЭС по заказу Компании по производству и развитию атомной энергии Ирана (Заказчик) также проводили российские организации АО «Атомстройэкспорт» (далее именуемое Подрядчик) и АО «Атомэнергопроект» (АО АЭП). Со стороны Заказчика работы выполнялись компанией ОСЕ («Ofogh Consulting Engineers»). На основании конкурсных процедур, со стороны Подрядчика, к работам по инженерно-геологическим изысканиям традиционно широко привлекались профильные субподрядные организации, имеющие большой опыт проведения работ на площадках АЭС. Ориентировочно, в это же время иранские организации самостоятельно выполняли комплекс работ по сейсмологии района, предложив своё видение его новейшей тектоники, которое в известной степени вступило в некоторое противоречие с результатами всех ранее выполненных исследований российской стороны.

Настоящая статья имеет целью всесторонне проанализировать имеющиеся материалы инженерно-геологических изысканий, выполненных в последние годы. А также рассмотреть в районе проведения исследований некоторые иные сходные по геологическому строению и тектонике структурные элементы данного участка земной поверхности.

#### **Материалы и методы**

Геология Бушерского полуострова и площадки АЭС. Геологический разрез площадки под новые блоки АЭС в ходе третьего этапа работ детально изучен до

глубины более 100 м и представлен отложениями неогеновой, неоген-четвертичной и четвертичной систем.

К неогеновой системе относится формация Агаджари (*Aghajari Formation*), датируемая верхним миоценом – нижним плиоценом ( $N_1^3$ - $N_2^1$ ) и являющаяся верхним горизонтом группы Фарс (*Fars*), и представленная пестроцветной толщей переслаивающихся суглинков, глин, песков, глинистых сланцев, мергелей и песчаников. В ее верхах обособляется нижнеплиоценовая часть формации – свита Лахбари (*Lahbary member*), обозначенная на иранских геологических картах как Pl lbm, LBM или  $N_{1a.1}$ , и имеющая преимущественно песчано-алевритовый состав. Мощность формации на полуострове Бушер составляет 1500 м.

К неоген-четвертичной системе относятся мелководные морские отложения («кэпрок») верхнеплиоцен – нижнечетвертичного ( $N_2^3$ - $Q_1$ ) возраста, которые в виде эродированного панциря «бронируют» нижележащие отложения. «Кэпрок» сложен песчаниками с глинисто-карбонатным цементом и известняками-ракушниками. Образования «кэпрока» можно рассматривать как своеобразную морскую фацию верхнеплиоценовой формации Бахтиари (*Bakhtiari*), обозначенную на иранских геологических картах как Pl bk. Породы трещиноватые, выветрелые, часто разрушены до состояния дресвы и щебня, местами до песка. Мощность кэпрока – 1.6-9.0 м. Отложения кэпрока с небольшим угловым несогласием ( $2-3^\circ$ , по другим данным  $3-4^\circ$ ) залегают на слоях формации Агаджари.

К современному отделу четвертичной системы ( $Q_{IV}$ ) относятся эоловые и пролювиальные отложения (e.p $Q_{IV}$ ), развитые на поверхности участков, не затронутых строительством. Они представлены песками разной крупности, маловлажными со щебнем и дресвой песчаника и известняка. Мощность слоя песков - 0,9-3.0 м. Техногенные (насыпные) отложения (t $Q_{IV}$ ) широко распространены на территории площадки и представлены супесями и суглинками с прослоями пылеватого песка, с включениями щебня известняка и песчаника, обломков строительного мусора. Мощность техногенных грунтов составляет 0.3-4.2 м (для сравнения, на площадке 1 блока АЭС она составляет 1-14 м). Типовые геологические разрезы площадки приведены в научной статье списка литературы [1].

Большую часть своей геологической истории рассматриваемая площадь находилась в области интенсивного морского осадконакопления. В плиоцене формация Агаджари (на иранских геологических картах обозначенная как MP l aj) формировалась в мелководных дельтовых условиях. В конце плиоцена осадконакопление закончилось, предположительно наступил период эрозии, что отчасти подтверждается несогласным контактом «кэпрока» и формации Агаджари (отсутствуют отложения серии  $N_2^2$ ). С этого периода якобы фиксируется начало формирования Бушерской антиклинали. В ее пределах впоследствии накапливались мелководные морские известняки так называемого «кэпрока».

В тектоническом отношении рассматриваемая площадь расположена на территории Гулхарийского блока, являющегося частью Западного неотектонического макроблока. Поверхность Гулхарийского блока в северо-восточной части представляет собой равнину, представленную суглинками голоценовыми осадками, поверхность которой находится выше уровня моря, на юго-западе плавно переходит в дно Персидского залива. Над поверхностью возвышаются изолированные антиклинали, в ядрах которых обнажаются дочетвертичные отложения. Пока единственной тектонической структурой, определяющей геологические и тектонические условия площадки АЭС «Бушер» и прилегающей к ней десяти километровой зоны, на основании выводов российских исследований 1998-2015 гг., являлась т.н. Бушерская антиклиналь. Видимая часть Бушерского полуострова с расположенной в его южной части площадкой АЭС и очерчивает границы этой антиклинали. По мнению российских исследователей,

имеющиеся данные позволяли считать, что площадка АЭС в настоящее время находится в достаточно устойчивом тектоническом положении [2-4]. В пределах участка до настоящего времени пока не зафиксированы какие-либо поверхностные признаки разломов. Весь этот блок подвержен только слабым флексурным деформациям, которые, очевидно, продолжаются в наши дни. Наблюдаемые тектонические изгибы приповерхностных отложений характеризуются очень малыми градиентами. Средняя максимальная скорость тектонических поднятий за позднелайстоцен-голоценовый отрезок времени составляла до 0.3 мм/год. Сейсмических событий с  $M > 4.9$  в пределах антиклинали пока не отмечено, однако на прилегающей территории более сильные сейсмические события довольно часты и постоянны (Казерун-Боразджанская зона разломов). А ряд исследователей (Копничев, Соколова), опираясь на результаты изучения кольцевых структур сейсмичности в данном регионе в 2013-2016 гг., предполагают в нём возможность сейсмических событий с  $M > 6.5$ , причём в ближайшие годы [5].

Гидрогеологические условия площадки АЭС довольно просты. Региональный поток подземных вод на рассматриваемой территории ориентирован в направлении от центральной наиболее возвышенной части в сторону Персидского залива. Основным источником формирования ресурсов подземных вод являются атмосферные осадки. В связи с техногенным освоением территории ощутимую роль в питании подземных вод приобретают хозяйственные стоки, утечки из водонесущих коммуникаций и поступление воды на поливных участках. В связи с неглубоким залеганием уровней подземных вод значительную роль приобретают испарение и транспирация. Питание водоносных горизонтов в региональном плане происходит исключительно за счет атмосферных осадков. Продолжительные наблюдения за уровнями подземных вод свидетельствуют о влиянии на их режим глобальных климатических циклов. В период засушливых годов происходит повсеместное истощение запасов подземных вод, и региональные уровни снижаются в водораздельных частях на несколько метров, а в прибрежной зоне до 1 м. В периоды нормального инфильтрационного питания наблюдается постепенное восполнение запасов подземных вод, что выражается в постоянном (от года к году) росте уровней воды. В геологическом разрезе на территории расположения площадок АЭС до глубины 50 м российской стороной уверенно выделяется два водоносных горизонта:

- безнапорный водоносный горизонт в верхне-плиоцен-нижнечетвертичных морских отложениях «кэпрока» сезонного действия;
- напорный водоносный комплекс в слоистых песчано-глинистых отложениях верхнего миоцена – нижнего плиоцена формации Агаджари.

Следует отметить, что в отчётных материалах «Dames & Moore», касаемых гидрогеологии площадки 1 и 2 блоков (начатых постройкой фирмой KWU), для характеристики этой толщи, обладающей лишь «слабыми местными напорами», используется термин *very poor*. Естественный режим подземных вод определяется в первую очередь климатическими условиями. Минимальные уровни подземных вод фиксируются в летние периоды, а максимальные в сезон дождей. Годовые амплитуды колебаний уровней разнятся от 10 см до первых метров в зависимости от места расположения скважины. Минимальные амплитуды приурочены к скважинам в береговой зоне, а максимальные наблюдаются на водоразделах.

Учитывая отмеченное отдельными исследователями определённое и весьма близкое сходство геологического строения района п-ва Бушер и о. Харк, в настоящей работе уместно привести некоторые относительно малоизвестные данные о геологическом строении, тектонике и гидрогеологии последнего.

Геологическое строение о. Харк. Остров Харк расположен в северной части Персидского залива ~57 км к северо-западу от Бушера, в 3,7 км к юго-западу от

острова Харк и в 38 км от порта Генаве провинции Бушер. Самая высокая точка острова, называемая горой Дидебан, находится на отметке 87 м над уровнем моря. Геологическое строение острова Харк относительно простое и насчитывает 3 основных геологических слоя. Эти слои включают красноцветные отложения свиты Lahbary (или LBM на местных геологических картах) в верхах формации Агаджари плиоценового возраста (алевролит и цветные мергели), плейстоценовый рифовый известняк и конгломерат свиты Бахтиари (или ВК на местных геологических картах), а также голоценовые прибрежные морские пески [6-9]. Обширная площадь острова Харк покрыта известняком, покрывающий более древние отложения. Геология расположенного в непосредственной близости о. Харк по всей видимости подобна геологии о. Харк, но более точные сведения отсутствуют.

В тектоническом отношении о. Харк – это пологая асимметричная антиклиналь, на которой поверхностные пласты имеют средний уклон от 10 до 15 °. Самое последнее орогенное событие (пасаденское), зафиксированное на острове, способствовало появлению и развитию двух выявленных в рельефе антиклиналей более низшего ранга. Обе антиклинали имеют простирание осей к северо-западу. Юго-восточная антиклиналь занимает большую часть острова, тогда как северная антиклиналь присутствует только в северо-восточном углу. Продолжение сближения между Аравийской и иранские плитами привело к деформации молодых отложения на острове Харк и землетрясениям в горах Zagros. Для проведения детальных сейсмических и сейсмологических исследований в районе о. Харк было задействовано научно-исследовательское судно «Профессор Штокман». Это позволило в акватории Персидского залива изучить структуру и физические свойств осадочной толщи под дном залива для обнаружения разломных зон и дислокаций. Для исследования акватории Персидского залива использовалось суперразрешающее сейсмоакустическое профилирование с использованием сейсмопрофилографа типа CHIRP-II (CAP-6600), предназначенное для изучения тонкой структуры верхнего слоя осадков на глубину 20-40 м ниже морского дна с разрешением 10-30 см с целью выявления поверхностных неотектонических нарушений, газонасыщенных осадков и газовых «сипов». В частности, было установлено, что обширные антиклинальные складки внутри слоя донных осадков на ССЗ фланге профиля № 3 в районе о. Харк, вероятно, образовались в результате эпизодической тектонической активности, продолжавшейся примерно до времени 100 тыс. лет назад [10, 11]. Из недавних сейсмических событий в районе островов можно отметить землетрясения, имевшие место 10.08.2020г. с  $M=3.6$ , а также 18.09.2020г. с  $M=3.4$  и  $M=3.6$ .

Гидрогеологические условия о. Харк также довольно просты. Прибрежные течения создали большую песчаную отмель на восточной стороне острова. Этот процесс продолжается и в настоящее время. Мощность песков по данным бурения составляет до 5 м, что является достаточным для формирования основного водоносного горизонта на острове. Мергели свиты Lahbary мощностью до 20 м, расположенные вдоль антиклинальной оси с направлением север-юг в центре острова, выступают в качестве основы водоносного горизонта. Остров Харк полностью окружен морской водой, и его основной водоносный горизонт ограничен морской водой с востока, юга, севера, а также ограничен рифовыми известняками на западе. Чтобы определить уровень и направление подземных вод, 26 скважин были исследованы на острове Харк в мае 2011 года. Минимальная и максимальные глубины зеркала УГВ были зарегистрированы в 2,51 м и 8,12 м соответственно. Общее направление потока пресных подземных вод в водоносном горизонте острова Харк ориентировано от центра острова к восточному побережью [12-14].

### Результаты

В ходе ранее выполненных изысканий на площадке АЭС выявленное угловое несогласие в 2-3°, а по другим данным в 3-4°, между «кэпроком», выделенным по данным изысканий 2015г. на новой площадке в инженерно-геологический элемент (далее по тексту – ИГЭ) 3, а по данным изысканий 1998-2000гг. на площадке 1 блока в ИГЭ-2,2а,2б, и отложениями верхней части свиты Агаджари (выделенным по данным изысканий 2015г. как ИГЭ-5...14) считалось доказанным, как и причины его появления. Однако после анализа результатов изысканий последних лет выявились некоторые особенности геологического строения площадок под новые блоки. В основном это касается отложений, которые были неизвестны на участке 1 и 2 блоков (начатых постройкой фирмой KWU), где они практически отсутствуют. Особенно отчётливо это проявляется в части геологического разреза участков т.н. «ядерных островов» новых блоков, где под слоем «кэпрока» ИГЭ-3 строго ориентированно и очень ограниченно по площади залегают отложения внешне сходных по составу грунтов ИГЭ-6, 7, и, отчасти, ИГЭ-8, разделённые повсеместно развитой т.н. «плащеобразной» толщей суглинков и глин ИГЭ-5 (которые соответствуют грунтам ИГЭ-6 на площадке 1 блока АЭС). Большая часть указанных отложений предположительно выходит за пределы площадки под новые блоки и в целом промплощадки АЭС, о чём будет сказано ниже. Данные отложения, имеющие мощность до 7.3 м и выделенные автором статьи как «пра-кэпрок», представлены следующими грунтовыми разностями, а именно:

- ИГЭ-6 – песчаником желтовато-серым, слабой и средней крепости, на глинисто-карбонатном цементе, кавернозным, трещиноватым;
- ИГЭ-7 – тем же песчаником, но местами разрушенным до состояния щебенисто-дресвяного грунта;
- ИГЭ-8 – этим же песчаником, но с прослоями и линзами пылеватых песков.

Все отложения с включением обломков раковин ракушек. Это обстоятельство, как и особенности разреза в этой части площадки, уже заставляют думать об их различном геологическом возрасте и иных условиях образования отложений «кэпрока» и «пра-кэпрока». Палеонтологический анализ руководящих форм отложений ИГЭ-3 и ИГЭ-6, 7, 8, если он будет проведён, без труда установит разновозрастной характер этих отложений. Всё это позволяет иначе взглянуть на историю геологического развития района, тектонику и стратиграфию его отложений. Граница между «кэпроком» и подстилающими грунтами, ныне трактуемая как угловое несогласие, может являться в т.ч. и плоскостью смещения (типа плоского сдвига) между различными структурами, имеющими разное расположение в толще горных пород. Сама же предполагаемая плоскость смещения могла образоваться вследствие активных тектонических подвижек в районе в поздне-четвертичный период, обычных в этом регионе и зафиксированных у многих антиклинальных складок в данном районе, в частности, по изменению положения главной оси ближайшей к площадке АЭС антиклинальной складки Манд [15-17].

Сами по себе отложения «кэпрока» ИГЭ-3 также достаточно интересны. Многие исследователи относят их к верхнему плиоцену – нижнему плейстоцену. К этому весьма неопределённому временному интервалу предположительно и отнесены эти своеобразные отложения, которые в виде эродированного «панциря» бронирует купол полуострова Бушер. Это мелководные морские отложения, которые на площадке 1 блока АЭС подразделяются на две толщи. Верхняя представляет наиболее жесткую часть «панциря» и состоит из калькаренитов, ракушечников, кальцирудитов и биорудито – рифового комплекса (в том числе рифово-обломочных фаций). Нижняя часть состоит преимущественно из калькаренитов (в мористой половине поднятия) и из кальцилюлитов (в осевой и восточной части поднятия). Общая мощность «кэпрока» изменяется в пределах 2-6 м. В документах «D&M» («Dames & Moore») на

генерализированной колонке Прибрежного Фарси отложения «кэпрока» также были отнесены к формации Бахтиари, венчающей разрез плиоцена. Другие источники выделяют слой «кэпрок» в отдельный слой, т.н. слой Кхарк (*Kharg Limestone*), перекрывающие слои формации Бахтиари и имеющие суть ниже-плейстоценовый возраст.

Как уже указывалось выше, отложения т.н. «пра-кэпрока» ранее почти совершенно не изучались, т.к. были вскрыты только частью скважин на площадке 2 и 3 блоков АЭС в 2015 г. и большей частью выходят за пределы площадки. Данные отложения вполне могут являться своеобразной частью иной, реликтовой структуры в данном районе, также совершенно не изученной. Следует отметить, что при изысканиях «Dames & Moore» в 1974-1975 гг. они были вскрыты совершенно случайно только одной геотехнической скважиной Н-2 на самой границе исследуемой территории промплощадки за б. 2 блоком KWU. И по этой причине также подробно не были исследованы. Большая часть фрагментарно сохранившихся в разрезе новой площадки отложений «пра-кэпрока» вероятно до размыва и эрозии венчала разрез ныне предположительно погребённой под современными наносами антиклинальной складки, первоначальное положение главной оси которой ориентировочно было следующим: площадка АЭС – о. Шиф, до последующего смещения её оси с С на СЗ в поздне-четвертичное время вследствие неотектонических процессов. В настоящее время часть её предположена в низине между Бушерским полуостровом и материковым берегом, периодически затапливаемой водами Персидского залива. По этой причине она мало или же совсем не изучена и может быть вскрыта только буровыми скважинами при дополнительных исследованиях. Особо следует отметить, что участок расположения предполагаемой погребённой антиклинальной «пра-кэпрока» не изучался и в ходе масштабных геофизических работ 1998-2001 гг., оказавшись в стороне от большинства основных сейсмических профилей в данном районе, к тому же изучавших преимущественно глубинные структуры исследуемой территории. Наиболее представительный разрез «пра-кэпрока» (сохранившееся «ядро» слоя – грунты ИГЭ-6 и, отчасти, ИГЭ-7 и ИГЭ-8, как продукты его разрушения) при изысканиях 2015 г. был вскрыт разведочными скважинами только на участке т.н. «ядерных островов» блоков 2 и 3.

Возраст отложений «пра-кэпрока», представленных в разрезе как песчаник различной степени сохранности на глинисто-карбонатном цементе с фауной, также требует дополнительного уточнения. Предположительно, они являются обособленной частью свиты Лахбари, отложения которой достаточно широко, но фрагментарно, распространены в прибрежной зоне Загрос, вскрыты многими скважинами и относительно подробно изучены. Как известно из материалов изысканий по 1 блоку АЭС, миоценовая песчано-глинистая пачка Лахбари, приуроченная к верхам формации Агаджари, залегает под слоем «кепрока», местами под техногенными грунтами и фундаментами зданий, а вблизи моря под элювиально-делювиальными грунтами и современными пляжевыми отложениями. Она представлена известковыми суглинками, глинами и супесями со слоями, линзами, прослоями и включениями песка известкового, пылеватого и мелкого. При изысканиях 1998-1999 гг. вскрыта большинством скважин, в т.ч. и глубокими структурными скважинами С-1, С-2, С-3 в районе реакторного отделения 1 блока АЭС (1ZA/B). Однако упоминания о данной свите отсутствуют в материалах изысканий последующих лет. Анализируя материалы изысканий прежних лет, можно предположить, что в современном разрезе площадки 2 блока к свите Бахтиари условно могут быть отнесены отложения ИГЭ -3, 4, а отложения ИГЭ-5, 6, 7 и ниже вполне могут, отнесены к свите Лахбари, учитывая наличие выявленного ранее углового несогласия между «кэпроком» и подстилающими грунтами. Вопрос о положении нижней границы слоя Лахбари никогда не поднимался

в ходе выполнения изысканий. Но учитывая лишь повсеместно фрагментарный характер залегания слоя в верхах формации Агаджари при относительно малой его мощности, нижняя граница слоя не может залегать достаточно глубоко и, вероятнее всего, заканчивается на границе грунтов ИГЭ-11 и ИГЭ-12, где по данным сейсмических исследований также наличествует некая граница раздела. Но подтвердить или опровергнуть данное предположение можно также только в ходе специальных дополнительных исследований. Также требует дальнейшего изучения вопрос и происхождения отложений свиты Лахбари. Учитывая наличие загипсованности отдельных горизонтов разреза, возможно, предполагает их формирование не только в мелководных дельтовых, а также и в лагунных условиях.

В любом случае, отложения т.н. «пра-кэпрока» на площадке строительства представляют не только научный интерес с точки зрения тектоники, стратиграфии и палеонтологии, но и нуждаются также в гидрогеологическом доизучении по причине их возможной избыточной обводнённости, представляя собой фактически постоянный естественный «канал» поступления подземных вод на площадку строительства новых блоков со стороны водораздела, даже не смотря на мероприятия по укреплению грунтов оснований т.н. «ядерных островов» строящихся блоков 2 и 3. Укреплённое же основание последних, по сути, будет для этого «канала» выполнять роль своеобразной «стены в грунте» (барражной завесы), что вкупе с заглубленными сооружениями – сбросными каналами 2 и 3 блоков (соответственно, 20UQN и 30UQN) и, частично, береговыми насосными станциями 2 и 3 блоков (соответственно, 20UQA и 30UQA), будет препятствовать свободной разгрузке водоносного горизонта в Персидский Залив. Таким образом, избыточная обводнённость площадки АЭС в будущем может объясняться не близостью моря, а именно подтоком подземных вод по проницаемым отложениям вдоль оси предполагаемой антиклинали «пра-кэпрока», частично совпадающим с направлением от водораздела к площадке АЭС. После завершения строительства, именно это обстоятельство может стать одной из основных причин подтопления площадки и постоянного поступления грунтовых вод в заглубленные части зданий и сооружений АЭС, аналогичным на площадке 1 блока АЭС, но имеющих там несколько другие причины и отличную геологию. Что несомненно должно учитываться при разработке постоянной системы дренажа площадки АЭС под новые блоки.

Всё вышесказанное позволяет несколько иначе взглянуть и на аргументы иранской стороны (dr. Hessami и др.), выдвинувшей в последние годы иную трактовку тектонического строения Бушерского полуострова. В частности, она настаивала на существовании т.н. разлома Харг-Миш, якобы выраженного в рельефе полуострова и о. Шиф. Кроме разлома Харг-Миш, иранские специалисты настаивали и на существовании т.н. Бушерского разлома, обрамляющего Бушерскую антиклиналь с юго-западной стороны и параллельного её нынешней оси [18]. Вполне возможно, что предположенные иранской стороной разломные зоны в какой то степени так или иначе и были связаны с вышеуказанной реликтовой структурой, видимыми проявлениями которой и являются сохранившиеся на площадке под новое строительство отложения, именуемые автором настоящей статьи как «пра-кэпрок». А разлом Харк-Миш таким образом и является древним аналогом предполагаемого иранскими специалистами т.н. Бушерского разлома, по их мнению обрамляющего антиклинальную складку Бушерского полуострова со стороны акватории Персидского Залива.

Ещё одним дополнительным аргументом может служить отмеченное, в т.ч. и автором настоящей статьи, определённое сходство геоморфологии, геологического строения и, возможно, тектоники района п-ва Бушер и о. Харк, несмотря на их видимое различие по площади и некоторую удалённость друг от друга. Это отчасти подтверждается и промером глубин между островами Харк и Харко, имеющим, как и

между Бушерским полуостровом и о. Шиф, минимальные отметки. Тем более, что в недалёком геологическом прошлом Бушерский полуостров был островом, как ныне о. Харк, в т.н. «пра-Персидском Заливе», ранее имевшим несколько отличные от нынешнего Персидского Залива очертания. Расположение главных осей антиклинальных складок о. Харк в настоящее время в основном соответствует ориентации основной оси Бушерской антиклинали (ось «кэпрока»), в отличие от оси о. Харко, больше соответствующей ориентации оси ныне предположительно погребённой антиклинальной складки с ориентацией: о. Шиф-площадка АЭС (ось т.н. «пра-кэпрока»). А по этой причине, учитывая весьма сходную ориентацию о. Шиф и о. Харко по отношению соответственно к Бушерскому полуострову и о. Харк, не стоит исключать также и наличия под о. Харко иной, реликтовой структуры, подобной предположенной вблизи Бушерской антиклинали в районе о. Шиф. Учитывая данное и другие обстоятельства, участки расположения Бушерского полуострова и о. Харк и о. Харко вполне могли испытывать и вполне сходные тектонические процессы. Существующие разломные зоны о. Харк и о. Харко также могут быть подобны предположенным, но до сих пор так и не обнаруженным разломным зонам Бушерской антиклинали, образовавшимся в результате и разновозрастных тектонических процессов. Выявленные же в акватории вблизи о. Харк и о. Харко разломные зоны неясного пока генезиса также могут свидетельствовать о наличии таких зон и в акватории вблизи Бушерского полуострова. Следует отметить, что сведения геологического характера о островах Харк и Харко чрезвычайно скудны, учитывая особую стратегическую значимость этих территорий в экономике Ирана, и также нуждаются в дополнительном изучении и анализе.

Таким образом, исходя из вышеизложенного, становится совершенно очевидным, что инженерно-геологического доизучения требует не только сама площадка размещения новых блоков 2 и 3 АЭС «Бушер». А учитывая стратегическую важность объекта в целом, требует проведения исследований и оставшаяся недоизученной часть всего Бушерского полуострова в пределах Бушерской антиклинали с обязательным включением в район разведки о. Шиф и низинных участков между ними. Наиболее подробно должны быть изучены, причём прямыми, а не косвенными методами, грунты ИГЭ-6, 7, 8. Зона изучения грунтов ИГЭ-6, 7, 8 должна охватывать как площадки т.н. «ядерных островов» блоков 2 и 3, так и на площадку расположения строительно-монтажной базы (СМБ).

Помимо выполнения собственно стандартных инженерно-геологических исследований, включая гидрогеологические работы в виде кустовых откачек, наливов или нагнетаний, также необходимо будет провести и специальные палеонтологические (в т.ч. микрофаунистические) исследования грунтов ИГЭ-6, 7, 8. Эти типы отложений в пределах площадки АЭС на современном этапе вообще не изучались, хотя в финальном отчёте «Dames & Moore» упоминалось о стратиграфии полуострова и руководящих формах, но, вероятно, речь шла не о собственных исследованиях, а об использовании в отчётах результатов ранее выполненных профильных исследований иранской стороны. Подобные исследования проводятся в регионе Персидского Залива иностранными и иранскими научными организациями и в настоящее время [19-21].

В рамках выполнения перечисленных выше перспективных исследований будет вполне уместным и выполнение работ по изучению микрогеодинамики полуострова методами радонометрии (почвенный радон и радон в воде буровых скважин), в т.ч. и в радон-гелиевом варианте, с целью выяснения возможного наличия скрытых приповерхностных разломов и оценки степени их возможной активности [22, 23]. Эти тектонические элементы вполне могут иметь определённо прямую связь с особенностями геологического строения площадки под новые блоки, касаемо грунтов ИГЭ-6, 7, 8. Следует особо отметить, что радонометрия во всех её видах до настоящего

времени никогда не проводилась не только на площадке АЭС, но и в пределах всей провинции Бушер. А между тем эти исследования уже совершенно необходимы в тектонически активных областях в свете появления нормативных документов, введенных в действие в последние годы.

### Выводы

После анализа материалов инженерных изысканий прошлых лет, в т.ч. на площадке 1 и 2 блоков KWU, вскрылись некие новые обстоятельства, касаемо тектоники площадки под строящиеся блоки АЭС. Необходимость в дополнительном изучении материалов была вызвана и выявленными некоторыми существенными отличиями в геологическом строении площадки под новые блоки от площадок блоков 1 и 2 KWU, причины, появления которых пока не совсем ясны.

Главным отличием площадки под новые блоки являются вскрытые частью скважин под повсеместно развитыми отложениями суглинков и глин ИГЭ-5 отложений ИГЭ-6,7, весьма сходных с поверхностными слоями, именуемыми как «кэпрок». Однако вскрытые отложения, условно именуемые автором настоящей статьи как «*пра-кэпрок*», предположительно имеют другой возраст. Вполне возможно, что данные отложения также являются фрагментарно сохранившейся частью иной реликтовой геологической структуры – древней погребённой антиклинальной складки, ось которой имела другое расположение, отличное от расположения оси Бушерской антиклинали в настоящее время. А предположенные иранской стороной тектонические разломы Бушерской антиклинали, в т.ч. разлом Харк-Миш, вполне могут быть своеобразным проявлением этой более древней структуры.

Геология и тектоника Бушерской антиклинали вполне сходна с геологией о. Харк и окружающих островов. Расположение главных осей антиклинальной складки о. Харк в настоящее время вполне соответствует ориентации Бушерской антиклинали (ось «кэпрока»), что нельзя сказать про расположение осей о. Харк и о. Шиф, предположительно имеющих в своей основе несколько отличные геологические структуры. Разломные зоны о. Харк и акватории Персидского залива вблизи него также могут быть подобны предположенным, но до сих пор не обнаруженным разломным зонам Бушерской антиклинали, в т.ч. в её акватории.

Отложения предположенного «*пра-кэпрока*» на новой площадке нуждаются в особо тщательном гидрогеологическом доизучении по причине избыточной их обводнённости, представляя собой естественный «канал» поступления подземных вод на строительную площадку со стороны водораздела. После завершения строительства именно это обстоятельство предположительно станет одной из основных причин возможного подтопления площадки и постоянного поступления грунтовых вод в заглубленные части зданий и сооружений АЭС, аналогичным на площадке 1 блока АЭС.

Таким образом, представляется совершенно очевидным, что в инженерно-геологическом доизучении нуждается не только сама площадка размещения новых блоков 2 и 3 АЭС «Бушер», а, учитывая стратегическую значимость будущего энергетического узла в экономике ИРИ, и оставшаяся недоизученной часть всего Бушерского полуострова в пределах Бушерской антиклинали с обязательным включением в район разведки о. Шиф и низинных участков между ними. Наиболее подробно должны быть изучены, причём прямыми (в т.ч. и буровыми), а не только косвенными методами, именно грунты ИГЭ-6,7,8. Помимо выполнения собственно стандартных инженерно-геологических исследований, необходимо будет провести и специальные палеонтологические (в т.ч. микрофаунистические) исследования грунтов ИГЭ-3 и ИГЭ-6,7,8, т.к. последние в пределах площадки АЭС вообще не изучались.

В рамках выполнения перечисленных выше исследований является обоснованным и выполнение работ по изучению микрогеодинамики полуострова методами

радонометрии (почвенный радон и радон в воде буровых скважин), в т.ч. и в радон-гелиевом варианте, с целью установления предположительно скрытых приповерхностных разломов и оценки степени их активности. Результаты предполагаемых исследований, возможно, будут более значимы, т.к. радонометрия во всех её видах на площадке АЭС «Бушер» и её окрестностях никогда не проводилась.

Все предположенные исследования имеют цель обеспечения качественного проведения всего цикла строительных работ и безопасной эксплуатации уже законченных постройкой объектов АЭС «Бушер».

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пендин, В. В. Организация управления подземной гидросферой на объектах атомной энергетики (на примере АЭС Бушер) / В. В. Пендин, А. С. Гусельцев А.С. – Инженерная геология. – Ноябрь 2006, – С. 21-32.
2. Бачманов, Д. М. Возрастная зональность грубой молассы внешнего Загроса и миграция новейшего орогенеза / Д. М. Бачманов // Геотектоника. – 2001. – № 6. – С. 90-94.
3. Рогожин, Е. А. Сейсмотектонические особенности Ахрамского землетрясения 24 сентября 1999 года (Иран, Загрос) / Е. А. Рогожин // Геотектоника. – 2012. – № 5. – С. 63-74.
4. Ребецкий, Ю. Л. Определение предельных фокальных механизмов слабых землетрясений и современная геодинамика юга Ирана / Ю. Л. Ребецкий, А. А. Лукк, Р. Э. Татевосян, В. В. Быкова // Геодинамика и тектонофизика. – 2017. – № 8(4). – С. 971-988. – URL : <https://doi.org/10.5800/GT-2017-8-4-0327>.
5. Копничев, Ю.Ф. Кольцевые структуры сейсмичности в районе Ирана: возможная подготовка сильных землетрясений / Ю. Ф. Копничев, И. Н. Соколова // Вестник НЯЦ РК. – 2019. – Вып. 2. – С. 106-113.
6. Pirouz, M. Neogene sediments and modern depositional environments of the Zagros foreland basin system / M. Pirouz, G. Simpson, A. Bahroudi, A. Azdari // Geol. Mag. 148(5-6). 2011. 3. 838-853, DOI: 10.1017/S0016756811000392.
7. Sahraeyan, M. Detrital Modes of the Aghajari Formation Sandstones and Their Geological Implications, Southwest of Iran / M. Sahraeyan, Bahrami M. // World Applied Sciences Journal. 32(7): 1258-1267, 2014, DOI: 10.5829/idosi.wasj.2014.32.07.2029.
8. Шариатиния, З. Исследование миграции углеводородов в шельфовом бассейне Загрос (Иран) для изучения динамики флюидов в карбонатных коллекторах олигоцен-миоценового возраста / З. Шариатиния, М. Хажижи, С. Фейзния, А.Х. Ализай, Г. Леврессе // Геология и геофизика. – 2013. – Т. 54, № 1. – С. 83-105.
9. Bahrami, M. Lithofacies and Sedimentary Environments of Aghajari Formation in Dehsheikh Mountain, West of Shiraz, Iran // World Applied Sciences Journal. 6(4): 464-473, 2009.
10. Bachmanov, D. M. Active faults in the Zagros and central Iran / D. M. Bachmanov, V. G. Trifonov, Kh. T. Hessami, A. I. Kozhurin, T. P. Ivanovac, E. A. Rogozhind, M. C. Hademie, F. H. Jamali // Tectonophysics. 380. (2004). P. 221-241.
11. Макаревич, В. Н. Литолого-стратиграфические особенности и палеогеографические условия седиментации осадочного чехла провинции Дезфуль (Иран) / В. Н. Макаревич, А. А. Нехаев // Нефтяная геология. Теория и практика. – 2012. – Т. 7, № 3. – С. 1-9.
12. Jafarzadeh, N. Evaluation of drinking water quality indices (case study: Bushehr province, Iran) / N. Jafarzadeh, M. Ravanbakhsh, K. Ahmadi Angali, A.Zare Javid, Darioush, R.Vakil Abadi, S. Ardeshirzadeh. Environmental Health Engineering and Management Journal 2017. 4(2). 73-79, DOI: 10.15171/EHEM.2017.11.
13. Shahsavari, A. Determination of origin and distribution of saline water in the aquifer of Kharg Island, Iran / A. Shahsavari, K. Khodaei, F. Asadian, M. Nakhaei, A. Sardar, A. Moradi, R. Hatefi, S. M. Zamanzadeh // Arabian Journal of Geosciences. V.8. P. 3129-3137 (2015), DOI:10.1007/s12517-014-1450-7.
14. Zar'e, M. Tsunami hazard in the shorelines of Kharg island (Persian Gulf), Iran / Mehdi Zar'e, Seyed-Ahmad Hashemi, Roya Ebadi Sahar Amirnejad-Mojdehi, Roya Rahmani and Ali Sardar // Earthq Sci (2012) 25: 299-305, DOI: 10.1007/s11589-012-0855-1.
15. Mohammad-Reza Forudi Jahromi, Ali Solgi, Mohsen Pourkermani, Abdollah Saedi., Role of the Kazerun and Borazjan faults in emplacements Dashti salt dome, Boushehr / Journal of Applied Science and Agriculture, 9(4) April 2014, Pages: 1884-1892.
16. Talebian, M. Offset on the Main Recent Fault of NW Iran and implications for the late Cenozoic Tectonics of the Arabia – Eurasia collision Zone / M. Talebian, J. Jackson // Jurnal of Geophys. J. Int (2002). 150: 422-439.

17. *Vernant, P.* Present-day crustal deformation and plate kinematics in the Middle East constrained by GPS measurements in Iran and northern Oman / P. Vernant, F. Nilforoushan, D. Hatzfeld, M.R. Abbassi, C. Vigni, F. Masson, H. Nankali, F. Martinod, A. Ashtiani, R. Bayer, F. Tavakoli, J. Chery // *Journal of Geophys. J. Int* (2004). 157: 381-398.
18. *Рогожин, Е. А.* Современная практика оценки сейсмической опасности объектов ядерной энергетики / Е. А. Рогожин, Р. Э. Татевосян // *Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН*. – URL : <http://atomsro.ru/wp-content/uploads/file/0PORTAL/AtomStroyStandart-2017/k6/Rogojin.pdf>.
19. *Yazdi, M.* Miocene brachyuran Crustacea from Konar-Takhteh and Ahram sections, southwestern Iran / M. Yazdi, A. Bahrami, P. Abbasi, R. Sadeghi, Francisco J. Vega // *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. Vol. 65, №2. 2013. P. 225-233.
20. *Heidari, A., Feldmann, R.M., Moussavi-Harami, R.,* Miocene decapod crustacean from the Guri Member of the Mishan Formation, Bandar-Abbas, Southern Iran: *Bulletin of the Mizunami Fossil Museum* (2012). 38. P. 1-7.
21. *Vega, F.J., Gholamalian, H., Hassani, M-J., Sajadi, S-H., Schaaf, P.* Miocene Crustacea from northern Bandar Abbas, South Iran: *Neues Jahrbuch fuer Geologie und Palaontologie* (2012). 265(3), 221-234.
22. *Ульянов, В. Ю.* Мониторинг радона как индикатора сейсмотектонических 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.
23. *Седин, В. Л.* On the possibility of evaluating the tectonic fault activity at the Akkuyu Nuclear Power Plant by sample radon measurements during environmental impact assessment / В. Л. Седин, В. Ю. Ульянов // *Вестник МГСУ*. – 2019. – Т. 14, Вып. 10. – С. 1272-1279, DOI: 10.22227/1997-0935.2019.10.

## REFERENCES

- [1] *Pendin V.V., Guseltsev A.S.* Organizaciya upravleniya podzemnoj gidrosferoj na ob'ektax atomnoj e'nergetiki (na primere AE'S Busher) [Organization of Management of the Underground Hydrosphere at Nuclear Power Facilities (for example, Bushehr NPP)]. *Inzhenernaya geologiya* [Engineering Geology]. Moskva, noyabr' [Moscow, November] 2006. No 4. P. 21-32 (in Russian).
- [2] *Bachmanov D.M.* Vozrastnaya zonal'nost' gruboj molassy' vneshnego Zagrosa i migraciya novjshego orogenez [Age Zonality of Gross Molasses of the Outer Zagros and Migration of Recent Orogenesis]. *Geotektonika* [Geotectonics]. 2001. No 6. P. 90-94 (in Russian).
- [3] *Rogozhin E.A.* Sejsmotektonicheskie osobennosti Axramskogo zemletryaseniya 24 sentyabrya 1999 goda (Iran, Zagros) [Seismotectonic Features of the Akhram Earthquake on September 24, 1999 (Iran, Zagros)] *Geotektonika* [Geotectonics]. 2012. No 5. P. 63-74 (in Russian).
- [4] *Rebetskiy Yu.L., Lucc A.A., Tatevosyan R.E., Bykova V.V.* Opredelenie predel'ny'x fokal'ny'x mexanizmov slab'y'x zemletryasenij i sovremennaya geodinamika yuga Irana [Determination of the Limiting Focal Mechanisms of Weak Earthquakes and Modern Geodynamics of the South of Iran]. *Geodinamika i tektonofizika* [Geodynamics and Tectonophysics]. 2017. 8(4): 971-988. URL: <https://doi.org/10.5800/GT-2017-8-4-0327> (in Russian).
- [5] *Kopnichev Yu.F., Sokolova I.N.* Kol'cevye struktury' sejsmichnosti v rajone Irana: vozmozhnaya podgotovka sil'ny'x zemletryasenij [Ring Structures of Seismicity in the Region of Iran: Possible Preparation of Strong Earthquakes]. *Vestnik NYaCz RK* [Bulletin of the NNC RK]. 2019. Issue 2. P. 106-113 (in Russian).
- [6] *Pirouz M., Simpson G., Bahroudi A., Azdari A.* Neogene Sediments and Modern Depositional Environments of the Zagros Foreland Basin System / *Geol. Mag.* 2011. 148(5-6). P. 838-853. DOI:10.1017/S0016756811000392.
- [7] *Sahraeyan M., Bahrami M.* Detrital Modes of the Aghajari Formation Sandstones and Their Geological Implications, Southwest of Iran / *World Applied Sciences Journal* 32(7): 1258-1267, 2014. DOI:10.5829/idosi.wasj.2014.32.07.2029.
- [8] *Shariahinia Z., Hajizhi M., Feizniya S., Alizay A.Kh., Levresse G.* Issledovaniye migratsii uglevodorodov v shel'fovom bassejne Zagros (Iran) dlya izucheniya dinamiki flyuidov v karbonatnykh kollektorakh oligotsen-miotosenovogo vozrasta [Study of Hydrocarbon Migration in the Zagros shelf (Iran) for Studying Fluid Dynamics in Carbonate Reservoirs of the Oligocene-Miocene Age]. *Geologiya i geofizika* [Geology and Geophysics]. 2013. V. 54. No 1. P. 83-105 (in Russian).
- [9] *Bahrami M.* Lithofacies and Sedimentary Environments of Aghajari Formation in Dehsheikh Mountain, West of Shiraz, Iran // *World Applied Sciences Journal*. 6(4): 464-473, 2009.

- [10] Bachmanov D.M., Trifonov V.G., Hessami Kh.T., Kozhurin A.I., Ivanovac T.P., Rogozhind E.A., Hademie M.C., Jamali F.H. Active Faults in the Zagros and Central Iran // *Tectonophysics* (2004). 380. P. 221-241.
- [11] Makarevich V.N., Nekhaev A.A. Litologo-stratigraficheskiye osobennosti i paleogeograficheskiye usloviya sedimentatsii osadochnogo chekhla provintsii Dezful' (Iran) [Lithological-Stratigraphic Features and Paleogeographic Conditions of Sedimentation of the Sedimentary Cover of the Province of Dezful (Iran)]. *Neftyanaya geologiya. Teoriya i praktika* [Petroleum Geology. Theory and Practice]. 2012. T.7., No 3. P. 1-9 (in Russian).
- [12] Nematollah Jafarzadeh, Maryam Ravanbakhsh, Kambis Ahmadi Angali, Ahmad Zare Javid, Darioush, Ranjbar Vakil Abadi, Shirin Ardeshtirzadeh. Evaluation of Drinking Water Quality Indices (Case Study: Bushehr Province, Iran) / *Environmental Health Engineering and Management Journal* 2017, 4(2). P. 73-79. doi 10.15171/EHEM.2017.11.
- [13] Shahsavari A., Khodaei Kamal, Asadian Farhad, Nakhaei Mohamad, Sardar Ali, Moradi Abolfazl, Hatefi Rahele, Zamanzadeh Seyed Mohammad. Determination of Origin and Distribution of Saline Water in the Aquifer of Kharg Island, Iran / *Arabian Journal of Geosciences* (2015). V.8. P. 3129-3137. DOI:10.1007/s12517-014-1450-7
- [14] Mehdi Zar'e, Seyed-Ahmad Hashemi, Roya Ebadi Sahar Amirnejad-Mojdehi, Roya Rahmani, and Ali Sardar. Tsunami Hazard in the Shorelines of Kharg Island (Persian Gulf), Iran / *Earthq Sci* (2012) 25: 299-305. DOI:10.1007/s11589-012-0855-1.
- [15] Mohammad-Reza Forudi Jahromi, Ali Solgi, Mohsen Pourkermani, Abdollah Saedi. Role of the Kazerun and Borazjan faults in emplacements Dashti Salt Dome, Boushehr / *Journal of Applied Science and Agriculture*, 9(4). April 2014. P. 1884-1892.
- [16] Talebian M., Jackson J. Offset on the Main Recent Fault of NW Iran and Implications for the Late Cenozoic Tectonics of the Arabia – Eurasia collision Zone, *Jurnal of Geophys. J. Int* (2002). 150: 422-439.
- [17] Vernant P., Nilforoushan F., Hatzfeld D., Abbassi M.R., Vigni C., Masson F., Nankali H., Martinod F., Ashtiani A., Bayer R., Tavakoli F. Chery J. Present-Day Crustal Deformation and Plate Kinematics in the Middle East Constrained by GPS Measurements in Iran and Northern Oman. *Journal of Geophys. J. Int* (2004). 157: 381-398.
- [18] Rogozhin E.A., Tatevosyan R.E. Sovremennaya praktika otsenki seysmicheskoy opasnosti ob'yektov yadernoy energetiki [Modern Practice of Assessing the Seismic Hazard of Nuclear Power Facilities]. Institut fiziki Zemli im. O.Yu. Shmidt RAN [Institute of Physics of the Earth O.Yu. Schmidt RAS]. URL: <http://atomsro.ru/wp-content/uploads/file/0PORTAL/AtomStroyStandart-2017/k6/Rogojin.pdf>, free (in Russian).
- [19] Mehdi Yazdi, Ali Bahrami, Peyman Abbasi, Reza Sadeghi, Francisco J. Vega. Miocene Brachyuran Crustacea from Konar-Takhteh and Ahram Sections, Southwestern Iran / *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. 2013. Vol. 65, № 2. P. 225-233.
- [20] Heidari A., Feldmann R.M., Moussavi-Harami R. Miocene Decapod Crustacean from the Guri Member of the Mishan Formation, Bandar-Abbas, Southern Iran: *Bulletin of the Mizunami Fossil Museum*. 2012. № 38. P. 1-7.
- [21] Vega F.J., Gholamalian H., Hassani M-J., Sajadi S-H., Schaaf P. Miocene Crustacea from northern Bandar Abbas, South Iran: *Neues Jahrbuch fuer Geologie und Palaontologie*. 2012. 265(3), 221-234.
- [22] Ulyanov V.Yu. Monitoring radona kak indikatora seysmotektonicheskikh sobytiy na ploshchadke AES «Bushehr-1» i prilegayushchey territorii provintsii Bushehr 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).
- [23] Sedin V.L., Ulyanov V.Yu. On the possibility of evaluating the tectonic fault activity at the Akkuyu Nuclear Power Plant by sample radon measurements during environmental impact assessment [Possibility of Evaluating the Tectonic Fault Activity at the Akkuyu Nuclear Power Plant by Sample Radon Measurements during Environmental Impact Assessment]. *Vestnik MGSU*. 2019. T.14. Issue 10. P. 1272-1279. DOI: 10.22227 / 1997-0935 (in Russian).

## Geology, Tectonics and Stratigraphy of the Construction Site of the New Bushehr NPP Units in the Islamic Republic of Iran as Part of Recent Geotechnical Studies

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** – Southern Iran in the area of Zagros and the borders of the Arabian and Eurasian plates is a seismically active territory in which large industrial facilities are located, including Bushehr NPP. In this regard the relevance of studying modern geodynamics and geology of the region is understandable. The geological structure of the territory after engineering surveys of 1974-2001 no longer seemed questionable. However, after completion of engineering surveys for new NPP units in 2015, new views on some positions on seismotectonics, and later on the geology of the area, appeared. The article provides information about the geology, tectonics and stratigraphy of the region and the research area, including not covered earlier in domestic reporting materials and scientific articles, and also considered the possible reasons for the appearance of other interpretations regarding seismotectonics and geology of the area where the NPP site is located. A brief analysis of the research results, both previously completed and completed relatively recently, is presented. An additional argument is considered in favor of the presence of fault zones within the Bushehr anticline proposed by Iranian researchers. In particular, the Khark-Mish fault supposed by them may be part of the buried ancient anticlinal fold before the position of its axis changes in the modern period as a result of neotectonic processes common to the region as a whole. The geology and tectonics of the Bushehr anticline are compared with similar structures on Fr. Hark and the nearest islands. Updated information on the stratigraphy of individual geological formations of the region and the research area is also provided. In spite of the reasoned justification of various positions on the geology and tectonics of the region, it seems necessary to conduct a number of additional special direct and indirect studies aimed at ensuring the safety of the Bushehr NPPs under construction and operating.

**Keywords:** Islamic Republic of Iran, Bushehr NPP, Bushehr anticline, tectonic faults, active faults, seismicity, geological formation, geological formation, stratigraphy, paleontology.