

ОЦЕНКА ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ СВОЙСТВ ГРУНТОВ ОСНОВАНИЯ ПРИ РАЗМЕЩЕНИИ АЭС

А.С. ГУСЕЛЬЦЕВ¹, В.В. ПЕНДИН², Г.П. БАРУЛИН¹, Д.Н. ГОРОБЦОВ²

¹*«Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности» (ФБУ «НТЦ ЯРБ»)
107140, Россия, г. Москва, ул. Малая Красносельская, дом 2/8, корпус 5; e-mail: gouseltsev@gmail.com,
gbarulin@yandex.ru*

²*Российский государственный геологоразведочный университет
117997, Россия, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 23, e-mail: pendin@yandex.ru, dngorobtsov@mail.ru*

Рассмотрена методика оценки изменчивости физических характеристик грунтов, которая может использоваться как для выделения возможных зон ослабления и тектонических структур в пределах площадки размещения атомной электростанции (АЭС), так и традиционно — для учёта влияния на поведение элементарной природно-технической системы «сооружение — грунты основания». Задачи выявления характера проявления возможных различных структурных неоднородностей, которые могут повлиять как на оценку площадки размещения, так и на размещение генерального плана объекта, были поставлены при оценке полей геологических параметров на одной из сооружаемых АЭС в пределах площадки размещения и прилегающей территории. На основе анализа результатов лабораторных испытаний сравнивались показатели физических свойств грунтов (влажности, плотности, плотности сухого грунта, показателя текучести) выделенного слоя-маркера, которому отвечают меловые отложения туронского яруса. Для оценки пространственной изменчивости характеристик грунтов выборочно проанализированы результаты инженерно-геологических изысканий на площадке размещения АЭС, в частности, реакторных отделений. Установлено, что для того чтобы дать корректный прогноз пространственной изменчивости массива грунтов, необходимы дополнительные инженерно-геологические изыскания площадки, обеспечивающие надёжное определение, либо подтверждение полученных деформационных и прочностных свойств грунтов, залегающих в основании сооружений на всю глубину, превышающую глубину сжимаемой толщи.

Ключевые слова: изменчивость приповерхностной области литосферы; физические свойства грунтов; поля геологических параметров; первое и второе направления изменчивости; пространственная изменчивость.

ESTIMATION OF THE DIMENSIONAL VARIABILITY IN THE PROPERTIES OF SOILS IN THE BASEMENT OF THE ATOMIC POWER STATION (APS) TERRITORY

A.S. GOUSSELTSEV¹, V.V. PENDIN², G.P. BARULIN¹, D.N. GOROBTSOV²

¹*Scientific and Engineering Centre for Nuclear and Radiation Safety (FBI «SEC NRS»)
107140, Russia, Moscow, Malaya Krasnoselskaya st. 2/8, bld. 5; e-mail: gouseltsev@gmail.com, gbarulin@yandex.ru*

²*Russian State Geological Prospecting University
117997, Russia, Moscow, Miklouho-Maklay's street, 23, e-mail: endin@yandex.ru, dngorobtsov@mail.ru*

A method of the estimating the variability of the physical and mechanical characteristics of soils has been considered. The applying of this method in practice can be used to find out the weakened zones and tectonic structures at the territory of the atomic power stations, and also — traditionally — to estimate the influence on the behavior of the elementary natural technical system «construction — soils». The tasks of the revealing the character of the occurrence of the various possible structural non-homogeneities, which may influence on the atomic power station territory estimation, as well as a general plan allocation, have been estimated in geological parameters fields' assessment at the one of the constructed atomic power stations territory and environs. The characteristics of the physical properties (humidity, density, zero-air dry unit weight, index fluidity) have been compared on the base of the analyses of the laboratory tests. The analysis has been done for a layer-marker which corresponds to the chalk deposits of the Turonian stage. A selective analysis of the dimensional variability of the soils' properties has been done for the engineering-geological researches results on the territory of the atomic power-station and, in particular, reactor divisions. It has been concluded, that to make a right forecast, the additional engineering and geological investigations of the atomic power station are needed. Such researches will allow the sustainable definition, or confirmation, of the existing deformation and strength properties of the soils which are in the basement of the buildings for the depth, which is deeper than compressible thickness depth.

Keywords: the variability of lithosphere's subsurface zone; physical properties of soils; field of geological parameters; the first and the second directions of the variability; dimensional variability.

Приповерхностная область литосферы обладает рядом фундаментальных свойств, которые следует непременно учитывать при её изучении и анализе геологических процессов и её эволюции. Фундаментальные свойства литосферы (изменчивость и неоднородность) обуславливают параметры формирования компонентов инженерно-геологических свойств, которые следует рассматривать как сложную, многофакторную, трансформирующуюся во времени систему [3].

Оценка пространственной или пространственно-временной изменчивости поля геологического параметра в зависимости от решения той или иной инженерной задачи может являться ключом к решению или подходам в оценке той или иной проблемы, связанной не только с учётом её влияния на поведение элементарной природно-технической системы (ПТС) «сооружение — грунтовое основание», как этого требуют сегодня нормативные технические документы, но и таких важных при выборе площадки размещения АЭС факторов как распространение структурно обусловленных зон ослабления, являющихся одним из проявлений экзогенной геодинамики и активной тектоники.

Федеральные нормы и правила (ФНП), используемые в атомной отрасли (СП 151.13330.2012¹, ПиНАЭ-5.10-87², ПиНАЭ 5.6³) требуют оценки поведения грунтов основания не только в естественном залегании, но и в техногенно-изменённых условиях. Согласно СП 22.13330.2016⁴, для этого используется мониторинг физико-механических характеристик грунтов основания ответственных сооружений как часть геотехнического мониторинга. Результаты мониторинга позволяют выполнить пространственно-временную оценку изменчивости грунтов основания и сравнить её с проектом. Но для этого требуется соблюдение полного цикла инженерно-геологических изысканий, начиная от обоснования инвестиций и до мониторинга на этапе сооружения и эксплуатации объекта [2]. Это особенно актуально, когда такие ответственные сооружения размещаются на достаточно слабых грунтах.

Краткая характеристика инженерно-геологических условий площадки

Рассматриваемая территория представляет собой эрозионную равнину, формирование рельефа

которой протекало в течение неоген-четвертичного времени и продолжается в наше время. Рельеф формировался в процессе неравномерного стабильного проявления новейших тектонических движений. Вследствие этого он имеет отчетливо выраженное ступенчатое строение.

Площадка расположена в пределах неледниковой области. Основные крупные формы рельефа — долины рек и водораздельные возвышенности — выработаны процессами эрозии и аккумуляции постоянных и временных потоков, а также плоскостной денудацией.

Рассматриваемая территория характеризуется развитием новейших и современных деформаций и разновозрастным рельефом. В неотектоническом отношении исследуемый район является частью пологой и слабо дифференцированной Среднерусской системы поднятий. Помимо этого, по юго-западной границе площадки размещения АЭС проходит зона разломов, которая в свою очередь граничит с разломом в кристаллическом фундаменте. Эта группа разломов ограничивает блок в форме треугольника, в пределах которого и расположена площадка (в пределах Сеймской геодинамической зоны).

В геологическом строении площадки принимают участие осадочные отложения юрской, меловой, палеогеновой, неогеновой и четвертичной систем.

Четвертичные отложения представлены глинами, суглинками, супесями и песками различного гранулометрического состава, торфами.

Плиоценовые и эоценовые отложения представлены переслаивающимися глинами слюдистыми, комковатыми, песками кварцевыми.

Сантонские отложения K_2 — мергели глинистые и глины мергелистые серые, светло-серые, зеленовато-серые, слюдистые, ожелезненные, с частыми прослоями мергеля серого, трещиноватого, слюдистого, ожелезненного, местами разрушенного до состояния щебня.

Туронские отложения K_2 залегают с незначительным размывом на песчаных породах альб-сеноманского яруса K_{1-2} . Отложения представлены толщей белого писчего, пластичного, тиксотропного мела с прослоями твёрдого, трещиноватого, с подчиненными линзами брекчевидного мела. В нижней части разреза мел опесчаненный, иногда в виде меловой пасты с конкрециями фосфоритов.

¹ 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 // Федеральный закон от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании». <http://docs.cntd.ru/document/1200103172> (дата обращения — 21.09.2017).

² ПиНАЭ-5.10-87. Основания реакторных отделений атомных станций // Министерство атомной энергетики СССР от 11 01 1989. <http://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294848/4294848449.htm> (дата обращения — 21.09.2017).

³ ПН АЭ 5.6. Нормы строительного проектирования АС с реакторами различного типа. Правила и нормы в атомной энергетике // Министерство атомной энергетики СССР от 29 декабря 1986 г. <http://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293846/4293846843.htm> (дата обращения — 21.09.2017).

⁴ СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83* // Утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 16.12.2016 г. № 970/пр. <http://docs.cntd.ru/document/1200084710> (дата обращения — 21.09.2017).

Нижне- и верхнемеловые отложения альб-сеноманского яруса (нерасчлененные) — пески пылеватые, мелкие и средней зернистости, зеленовато-серые, кварцево-глауконитовые, глинистые, слюдистые.

Подземные воды, находящиеся в зоне влияния сооружения, приурочены к четвертичным отложениям и породам мелового возраста. Водоносные горизонты гидравлически связаны один с другими, характеризуются едиными условиями питания и разгрузки, близким химическим составом (воды гидрокарбонатные и сульфатно-гидрокарбонатные кальциевые, магниевые-кальциевые и натриево-кальциевые, пресные, по значению рН воды нейтральные).

В процессе анализа материалов инженерно-геологических изысканий на исследуемой территории возможно проявление таких негативных экзогенно-геологических процессов, как эрозия, суффозия, карст.

Анализ материалов инженерно-геологических изысканий площадки

Как показал анализ материалов инженерно-геологических изысканий, данные о физико-механических свойствах грунтов не характеризуют изученность всей площадки. Прежде всего это связано с отсутствием скважин в контурах сооружения, малого числа точек полевых испытаний, их небольшой глубины заложения, недостаточного числа лабораторных определений, некорректной камеральной обработки и пр. Это является отступлением от требований, предъявляемых к инженерно-геологическим изысканиям для АЭС и вносит дополнительную трудность при оценке пространственной изменчивости характеристик грунтов.

Анализ изменчивости физических свойств на площадке АЭС

Изменчивость — всеобщее свойство материи, отражающее тенденцию её развития (эволюции) [9]. Изучение изменчивости некоторой области литосферы предполагает получение информации о свойствах этой области в её отдельных точках, анализ изменения свойств в различных направлениях, выявление структуры области и оценку её однородности (неоднородности) [1].

Изменение литосферы в пространстве, её пространственная структура отражают пространственную изменчивость комплекса физических полей, под влиянием которых она формируется и изменяется [3].

Одной из задач при оценке инженерно-геологических условий размещения объектов использова-

ния атомной энергии (ОИАЭ), в частности, атомных электростанций, на этапах, предвещающих оценку пространственной изменчивости физико-механических свойств грунтов основания сооружений, является оценка структурно-тектонического плана исследуемой территории с целью выявления и характера проявления различных структурных неоднородностей (разломов, разрывов, ослабленных зон, узлов пересечения разломов и пр.) [7], которые могут влиять как на выбор площадки размещения, так и на размещение генерального плана объекта. В этом случае оценка пространственной изменчивости характеристик грунтов является одним из прямых методов, которым можно не только оконтурить зоны выделяемых структур, но и оценить влияние этой изменчивости на участки возможного размещения объекта, подготовив тем самым почву для такой оценки непосредственно на самих участках [8].

Одно из следствий первой аксиомы теории изменчивости литосистемы [2] содержит положение о случайной составляющей геологического процесса. Поле геологического параметра представляется в графической форме как карта изолиний геологического параметра отражающая пространственно-временную картину его изменчивости. Сечения поля следует ориентировать так, чтобы эти сечения отражали все элементы структуры поля геологического параметра, существенные с точки зрения поставленной задачи, что достигается их ориентировкой.

Несмотря на кажущуюся простоту теоретического обоснования на практике оценка изменчивости геологического параметра в большинстве случаев до сих пор представляет определённые трудности. Часть грунтов в силу своей заметной неоднородности и изменчивости характеристик практически не могут быть оценены с точки зрения изменчивости их свойств (к примеру, аллювиальные отложения). Поэтому необходимо искать более однородные слои, принимая одновременно во внимание то обстоятельство, что различные поля, формирующиеся в слоях и влияющие на их физико-механические свойства, в какой-то мере воспринимают и сами влияют на поля в окружающих их грунтах и тем самым отражают общую картину полей геологических параметров в рассматриваемом массиве, следовательно, и картину свойств окружающих грунтов [4]. Такие слои по аналогии с принятой в геологии для оценки других геологических свойств и характеристик терминологии будем называть слоями — маркерами.

Выделение в массиве лишь только одного слоя-маркера также вносит свою неопределённость в оценку изменчивости геологических параметров грунтов, слагающих массив, особенно если

поля геологических параметров в нём носят достаточно хаотичный характер и не подчиняются какому-то основному тренду (например, влиянию ослабленных зон различного генезиса). Поэтому необходимо учитывать иерархию блочной дискретности земной коры на рассматриваемой территории, что позволяет на различных масштабных уровнях более корректно определять направления главных сечений полей изменчивости геологических параметров [6].

На рассматриваемой нами территории размещения АЭС такому слою-маркеру отвечают меловые отложения турона: достаточно выдержанная мощность, относительная однородность, относительно неглубокое залегание, позволяющее его детальное инженерно-геологическое опробование, достаточно стабильные, по крайней мере в пределах рассматриваемой площадки и данного периода времени, тектонические, геодинамические и гидрогеологические условия [5]. К сожалению, приведённым условиям в какой-то мере отвечает только он и это само по себе накладывает неопределённость, отмеченную выше. Однако выделение в его пределах двух, а возможно даже трех подслоев, пусть даже не разнесенных по мощности массива, при существующих достаточно выраженных тектонических, геодинамических и гидрогеологических условиях позволило надеяться на то, что поля геологических параметров, построенные по выделенным слоям-маркерам, отражают общую картину изменчивости инженерно-геологических характеристик массива.

Но при оценке изменчивости геологического параметра необходимо учитывать и то, что не все характеристики практически могут быть оценены. Это касается в основном механических характеристик (сцепление, угол внутреннего трения, модуль деформации) грунтов и объясняется слишком большим влиянием случайных составляющих при их определении. Следовательно, необходимо еще и выделить те характеристики, которые играют ведущую роль при формировании параметров и характеристик, участвующих в расчетах деформации основания и устойчивости сооружения. В данном случае для представительной оценки изменчивости меловых отложений туронского яруса был выбран следующий спектр физических характеристик: влажность, плотность грунта, плотность сухого грунта, консистенцию.

Поскольку, как уже отмечалось, меловые отложения турона, несмотря на свою однородность, в силу воздействия различных факторов, обладают различными по разрезу физико-механическими характеристиками, было принято решение для анализа пространственной изменчивости разбить толщу меловых отложений на три зоны:



Подробный анализ изменчивости, сопровождающийся построением моделей распределения геологических параметров (влажности, плотности, плотности сухого грунта и показателя текучести) для всех трёх слоёв в целом показал «хаотичное» изменение всех рассматриваемых параметров по площади, их пиковые значения, в основном, тяготеют один к другим (рис. 1, 2).

При этом к таким центрам в одних случаях могут тяготеть пониженные значения характеристик, а в других повышенные. Тип такого поведения, за исключением поведения пар «плотность грунта — влажность», где связь обычно всегда прямая, и пар «плотность сухого грунта — влажность», где связь обычно обратная, приводит к выводу, что на рассматриваемой территории под воздействием определённых факторов в одних случаях сформированы как-бы уплотнённые, а в других — разуплотнённые зоны. Это позволяет утверждать, что в случае исключения ряда неопределённостей, можно не только предполагать, но и обосновать достаточно тесную связь в пространственной изменчивости геологических параметров во всем массиве, следовательно, определить и основные факторы, влияющие на эту изменчивость.

В любом случае положительным результатом данной работы является попытка оценки пространственной изменчивости геологических параметров, которая пусть в большей мере лишь качественно, но позволила наглядно «показать», как они могут изменяться на площадке, выявить определённые проблемные вопросы в процессе инженерно-геологических изысканий и проблемные места в инженерно-геологических условиях площадки размещения АЭС. При этом на площадке не

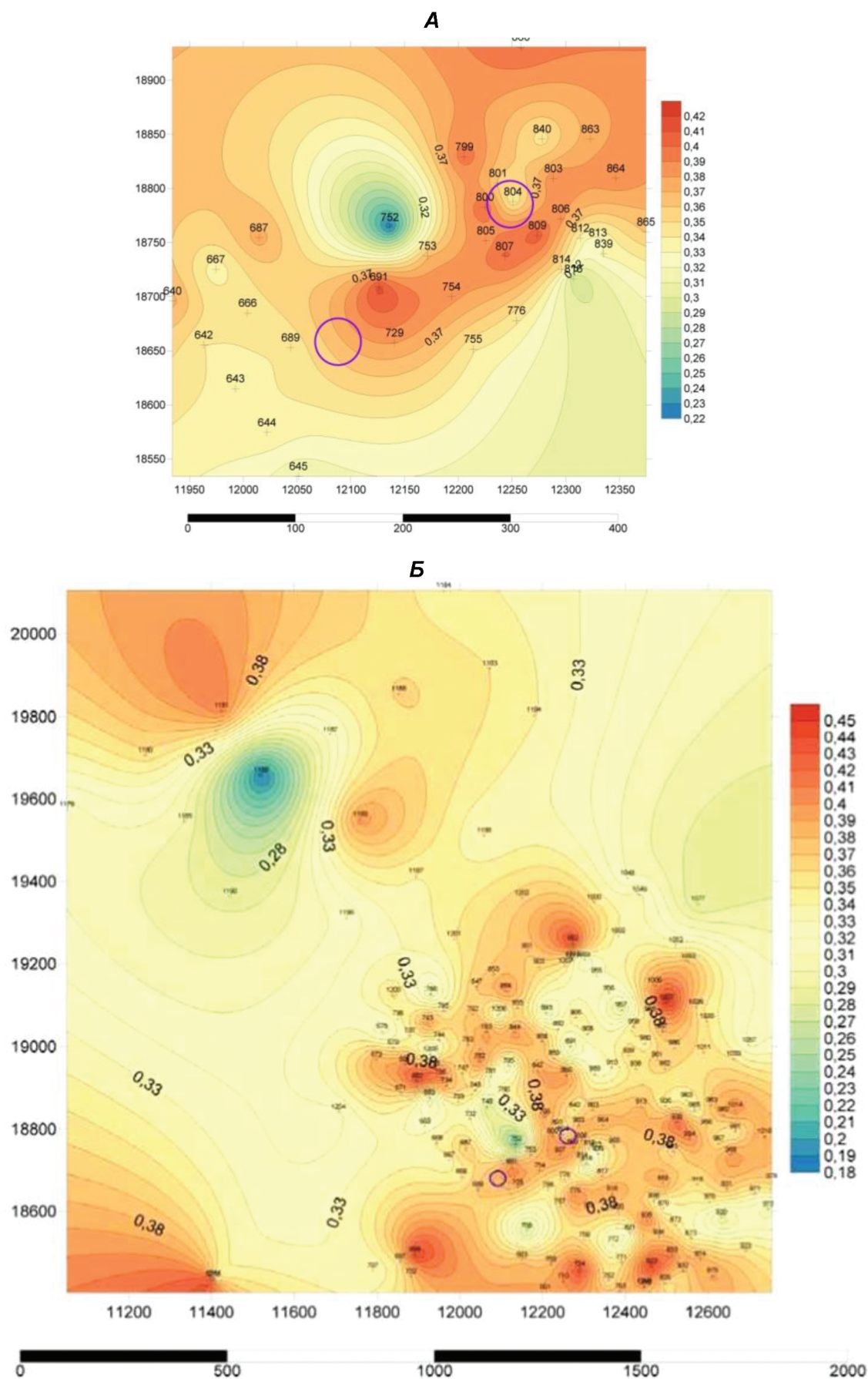


Рис. 1. Модель поля влажности (доли ед.) верхнего слоя туранских отложений в области расположения двух реакторных отделений (А) и всей площадки (Б)

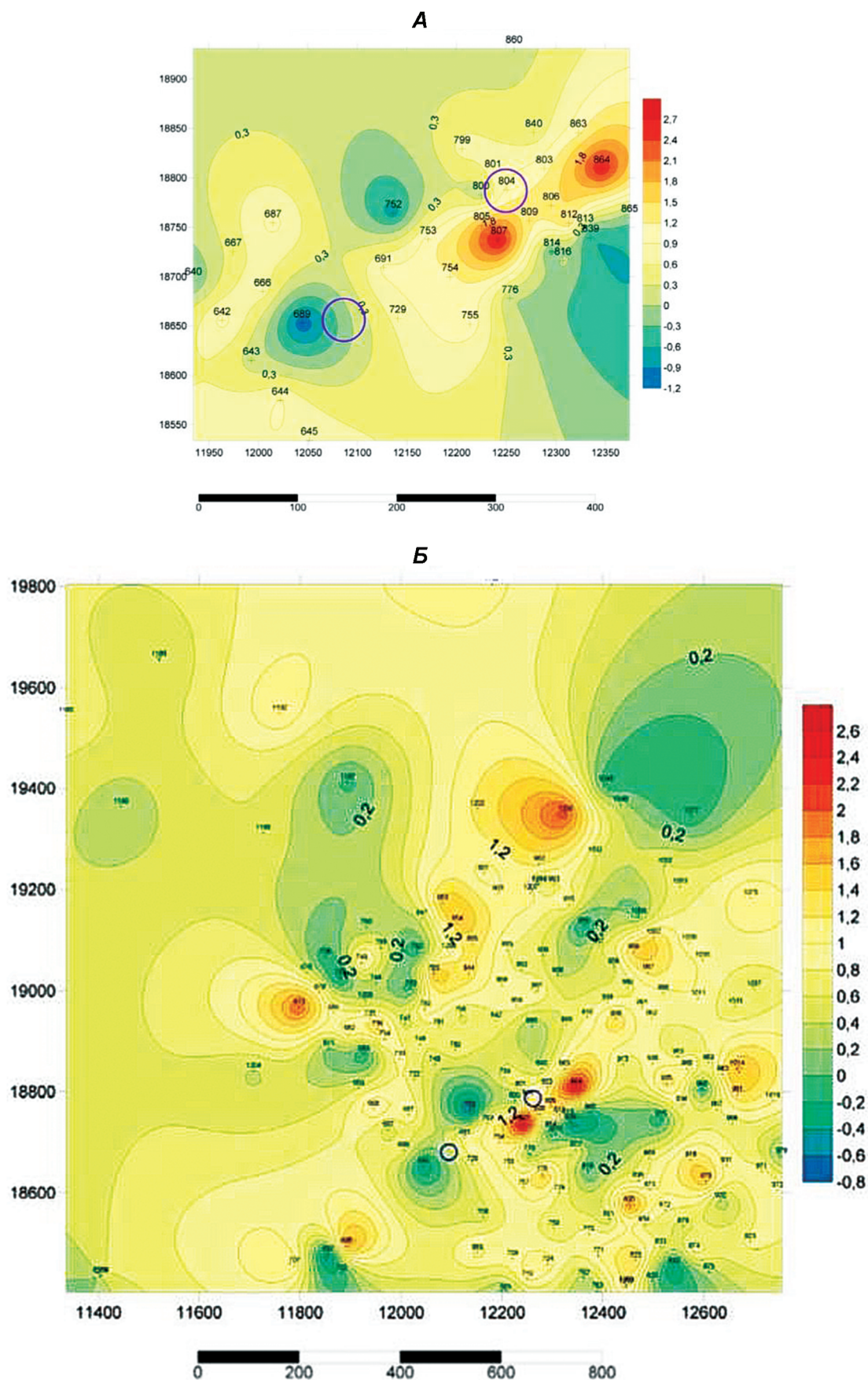


Рис. 2. Модель поля показателя текучести верхнего слоя туронских отложений в области расположения двух реакторных отделений (А) и всей площадки (Б)

выделяется заметных трендов в изменчивости полей геологического параметра. Это согласуется с выводами других исследований, показавших, что площадка размещения АЭС находится в пределах относительно стабильного в геотехническом отношении блока.

Выводы

1. Изучение материалов инженерно-геологических изысканий позволило выявить ряд существенных неопределенностей, которые повлияли на качество выполненного анализа. Это привело к тому, что результаты анализа носят в большей степени качественный, нежели количественный характер.

2. Обоснованное, но все-таки условное в силу недостаточности данных, выделение трёх слоев в пачке туронских меловых отложений позволяет выполнить анализ пространственной изменчивости выделенных геологических параметров всей толщи, используя третье направление изменчивости. Однако с учетом всего спектра неопределенностей, это представляется достаточно трудной задачей.

3. В связи с несостоятельностью ранее принятых основных направлений изменчивости для объяснения хаотичного на первый взгляд характера изменчивости свойств грунтов на исследуемой площадке, тяготения пиковых значений параметров к определённым областям, то сосредоточенного, то рас-

средоточенного их проявления, нужно искать и обосновывать другие доминирующие причины.

4. Необходимо отметить еще одну неопределённость, которая привносится в результате машинной обработки полученных данных. Компьютерное построение поля геологического параметра, как любая карта или разрез, требует вмешательства инженера-геолога, так как не учитывает все особенности инженерно-геологических условий рассматриваемой территории.

5. По результатам данной работы в силу отмеченных выше неопределенностей не удалось выполнить количественную оценку полей изменчивости ведущих геологических параметров меловых отложений туронского яруса, а через неё — связи этих параметров с геологическими параметрами всего массива. Тем не менее попытка такой оценки позволила наглядно «показать», как эти параметры могут изменяться на площадке, выявить определенные проблемные вопросы в процессе инженерно-геологических изысканий и проблемные места в инженерно-геологических условиях площадки размещения АЭС.

6. Для того чтобы корректно оценить пространственную изменчивость геологических параметров, необходимы дополнительные инженерно-геологические изыскания площадки, устраняющие недостатки и отступления, прежде всего в определении и интерпретации результатов полевых и лабораторных испытаний.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бондарик Г.К. Теория геологического поля. Философские и методологические основы геологии. М.: КДУ, 2002. 129 с.
2. Бондарик Г.К., Ярг Л.А. Инженерно-геологические изыскания. М.: КДУ, 2008. 424 с.
3. Бондарик Г.К., Ярг Л.А. Инженерная геология. Вопросы теории и практики. Философские и методологические основы геологии: учебное пособие. М.: ИД КДУ, 2015. 296 с.
4. Дмитриев В.В. Оптимизация лабораторных инженерно-геологических исследований. М.: Недра, 1989. 184 с.
5. Дмитриев В.В., Ярг Л.А. Методы и качество лабораторного изучения грунтов. Учебное пособие. М.: КДУ, 2008. 542 с.
6. Пашкин Е.М., Каган А.А., Кривоногова Н.Ф. Терминологический словарь-справочник по инженерной геологии. М.: КДУ, 2011. 952 с.
7. Пендин В.В., Бондарик Г.К., Ярг Л.А. Инженерная геодинамика: учебник. 4-е изд. доп. М.: КДУ, 2015. 472 с.
8. Справочник по инженерной геологии. 3-е изд., перераб. и доп./Под ред. М.В. Чуринова. М.: Недра, 1981. 325 с.
9. Трофимов В.Т., Королев В.А., Харькина М.А., и др. Базовые понятия инженерной геологии и экологической геологии / Под ред. В.Т. Трофимова. М.: ООО «Геомаркетинг», 2012. 320 с.