

## **ОЦЕНКА НЕОТЕКТОНИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ В РАЙОНЕ КУРСКОЙ АЭС**

*Г.Н. Иванченко<sup>1</sup>, Б.В. Малкин<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт динамики геосфер Российской академии наук

<sup>2</sup> ООО «Нордголд менеджмент»

Работа посвящена количественной оценке амплитуды вертикальных неотектонических деформаций стратиграфическим методом в пределах западного склона Воронежской антеклизы Восточно-Европейской платформы (ВЕП) с учётом колебаний уровня мирового океана, калиброванных на реперах ВЕП. На примере западного склона Воронежской антеклизы показано, что абсолютные неотектонические деформации различных кайнозойских реперных уровней не превышают по

амплитуде первые десятки метров и связаны с инверсионными восходящими движениями на северном борту Днепровской впадины. В то же время верхнемеловые пострифтовые опускания, оцененные по туронскому реперу в южной части исследуемого района, остаются некомпенсированными. В целом, рассматриваемый регион можно охарактеризовать как неотектонически стабильный.

## **Введение**

Рассматривается район, прилегающий (< 50 км) к площадке Курской АЭС, расположенной в долине Сейма на юго-западной периферии Средне-Русской возвышенности. Для анализа накопленных за кайнозой деформаций используется фиксирующая их система базисных реперов, позволяющая делать количественные оценки. Обычно используются стратиграфические или геоморфологические (поверхности выравнивания) репера, при этом стратиграфические репера значительно точнее фиксируют небольшие деформации.

Для выявления внутриплитных деформаций с амплитудами в первые десятки метров и менее нужна оценка этих деформаций в абсолютных величинах, то есть очищенная от влияния колебаний уровня моря, имеющих сопоставимую амплитуду. Отметим, что традиционные геолого-геоморфологические методы, опирающиеся на современный рельеф, фиксируют относительные, то есть не очищенные, вертикальные деформации поверхности, что часто завышает оценку неотектонической активности [Макарова, Суханова, 2016].

Развитие деформаций внутри континентальных блоков идёт от упругих деформаций к пластическим, от нелокализованных к локализованным, в том числе к протрузиям пластичных пород фундамента платформ в осадочный чехол. Развитие тектонических деформаций на платформах в условиях сжатия предполагает коробление поверхности, часто сопровождаемое флексурами, и затем, при усилении сжатия, приводит к разрывным деформациям (взбросам, надвигам, сдвигам). Именно на этой продвинутой стадии возникает заметная, иногда опасная сейсмичность. На поздних этапах развития процесса может наблюдаться формирование протрузий и зон сплющивания земной коры со значительным повышением её мощности и горообразованием.

Режимы, характерные для областей интенсивного растяжения (рифтогенез), и режимы границ плит, в том числе трансформного типа, на рассматриваемой территории в кайнозое не фиксируются. Реализация незначительных растягивающих напряжений обычно слабо локализована и ограничивается пологими мульдовидными опусканиями, изредка приводящими к формированию мелких грабенов.

Вся рассматриваемая область в настоящее время принадлежит к ВЕП, тектонические деформации кайнозоя рассматриваются как внутриплитные, но с учётом наличия прочностных неоднородностей и включений, причём важнейшей неоднородностью коры здесь является Днепровский авлакоген (палеорифт), северный борт которого частично входит в исследуемый район.

## **Методика исследования**

Чтобы исключить эвстатические колебания уровня моря при количественной оценке деформаций, необходима высотная привязка стратиграфических уровней

и определение высотных интервалов пенеппенов различного возраста в период их формирования [Иванченко, Малкин, 2016]. Эта задача сводится к калибровке колебаний палеоуровней моря относительно его современного значения. Ранее её частичное решение для ВЕП было выполнено при помощи метода «неподвижного репера» для оценки верхнемелового максимального уровня моря в мезозое-кайнозое. Этот уровень определён в +275–280 м [Malkin, 2008], что близко к значениям, полученным методом палеобереговых линий: +270 м [Sahagian, 1987] и +276 м [McDonough, Cross, 1991] для других стабильных платформ северного полушария. Последняя сводка абсолютных высот уровня моря из базы данных для всего мира [Наг, 2015] для туронского максимума – 258 метров.

Предтуронский уровень моря, определивший для стабильных регионов ВЕП примерное гипсометрическое положение подошвы туронских отложений, часто используемый в структурных построениях, при такой оценке максимума составляет 210–220 метров. От этого уровня удобно начинать рассмотрение морфоструктурной истории как истории формирования и деформаций реперных поверхностей [Иванченко 2008, 2015]. Для анализа в пределах ВЕП лучше принимать оценки палеоуровней моря на базе её собственных условно неподвижных реперов. Полученные таким методом результаты по нашим данным незначительно (на 10–15 метров) превышают среднемировые уровни верхнего мела – палеогена, приводимые Б. Хаком [Наг, 2015], но позволяют отвлечься от возможных эффектов динамической топографии [Cloeting, Наг 2015]. Для оценки амплитуды накопленных на неотектоническом этапе деформаций желательнее использовать олигоценные стратиграфические репера.

В настоящее время на исследуемой территории преобладает сжатие [Копп, 2005; Коптев, Ершов, 2014]. В работе принято, что деформирование есть не только функция от напряжений, которые в пределах ВЕП варьируют в кайнозое по ориентации вектора максимального сжатия и абсолютным значениям напряжений, но и функция от пространственного распределения прочностных свойств. Ряд авторов [Малкин, 1991; Лобковский, Никишин, Хаин, 2004] выделяют пики сжатия в напряжённом состоянии литосферной оболочки в периоды реорганизации движения ансамбля плит. В эти эпохи деформации особенно интенсивны.

Таким образом, на региональном уровне изучения кайнозойских деформаций ВЕП важно правильно выделить прочностные неоднородности литосферы, перераспределяющие генеральные усилия сжатия и концентрирующие локализованные деформации преимущественно в зонах контакта неоднородностей. После консолидации Восточно-Европейской платформы в раннем протерозое в рифее начался, собственно, платформенный этап развития этой территории. Рифей-вендский, а затем девонский этапы рифтогенеза привели к формированию на Восточно-Европейской платформе нескольких генераций авлакогенов, определяющих основные неоднородности поверхности фундамента [Балуев, Моралев 2001]. Эти неоднородности проявляли себя и в последующей геологической истории, вплоть до современной эпохи. В частности, с ними связаны области пострифтового термического опускания – синеклизы, а также инверсионные структуры, возникшие в мезозойско-кайнозойское время над палеорифтами в условиях сжатия. Отметим особо Днепровский палеорифт, северный борт которого частично входит в исследуемый район. Упрочнение коры после рифтогенеза и последующего остывания литосферы, то есть возникновение «жестких» включений – авлакогенов – имеет ясный тектонофизический механизм [Malkin, Shemenda, 1991]. С некоторой условностью можно считать, что гранто-гнейсовые блоки Воронежского кристаллического массива

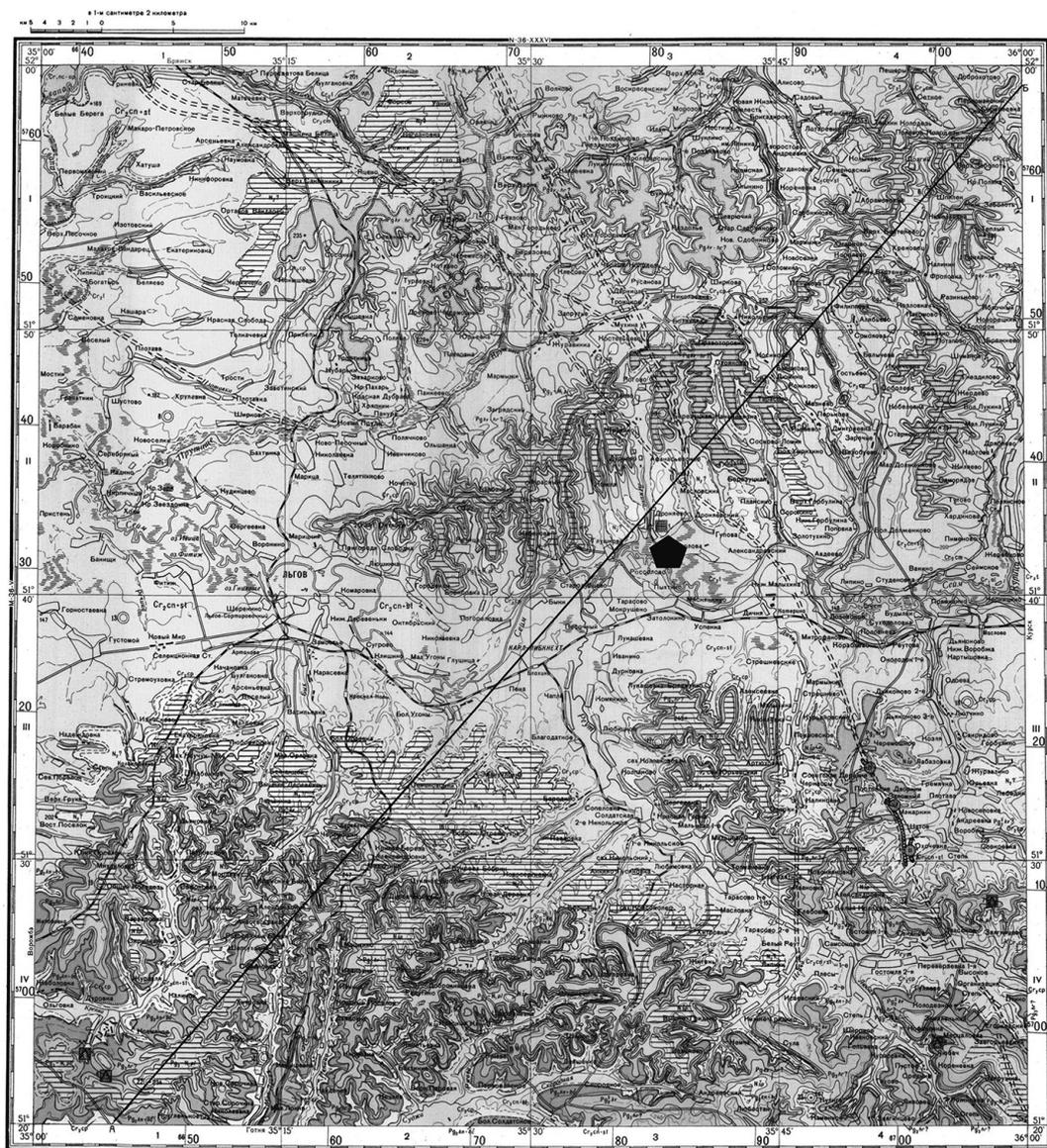
обладают несколько меньшей прочностью, чем кора платформы в среднем («мягкие» включения), а авлакогены – большей прочностью («жесткие» включения).

### Основные результаты

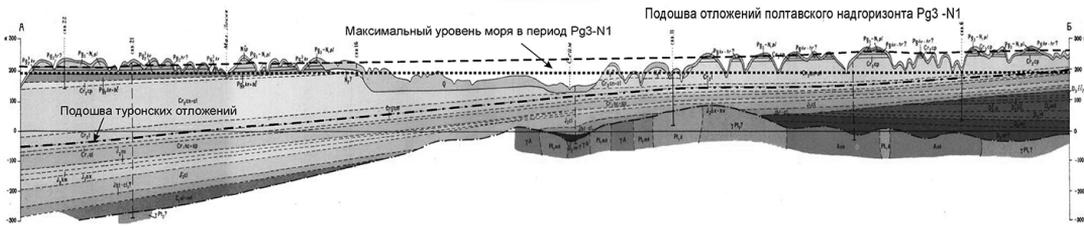
Строение осадочного чехла Восточно-Европейской платформы в пределах исследуемой области позволяет дополнительно к верхнемеловому реперу использовать и другие, более молодые региональные стратиграфические уровни. Кайнозойские деформации, особенно миоценовые, достаточно широко распространены на ВЕП. Области развития более интенсивных локализованных деформаций с формированием структур типа Окско-Цнинского вала, Доно-Медведицких деформаций или приразломных флексур, часто возникающие по границам «жестких» включений, характеризуются негоризонтальным залеганием пород, включая верхнемеловые и палеогеновые. В рассматриваемом регионе моноклинальное залегание пород с падением пластов на юго-запад, в сторону оси Днепровского палеорифта отмечается для мезозойских пород, включая верхнемеловые. Для кайнозойских отложений характерны слаболокализованные деформации, выраженные в крайне незначительных отклонениях от горизонтального залегания на больших площадях. Такое строение характерно для периферических частей позднемеловых-палеогеновых областей слабых опусканий, в частности, северного борта Донецкого палеорифта, к которому относится южная часть рассматриваемой территории.

Поскольку нас интересуют неотектонические движения, которые мы понимаем, как движения неоген-четвертичного времени, важно выбрать соответствующие стратиграфические реперы и провести для них калибровку абсолютного уровня моря методом неподвижного репера для Восточно-Европейской платформы. Ранее нами такая калибровка была проведена для туронского максимума и получен результат +270–280 метров над современным уровнем [Malkin, 2008]. В тех же стабильных регионах, где калиброван туронский максимальный уровень моря, теми же методическими приёмами можно получить оценку уровня моря периода формирования киевской свиты (38.5–45 млн лет) среднеэоценового возраста. По нашим построениям уровень моря в это время был 210–220 метров выше современного, по данным Б. Хака (2015), полученным методически иным путём, этот уровень составляет 200–210 метров. Максимальный уровень моря в период формирования отложений полтавского надгоризонта близок к уровню моря периода формирования киевской свиты и составляет [Наг, 2015] около 195 метров. Это значит, что, залегая на морских осадках киевской свиты, полтавские отложения будут представлены более мелководными фациями вплоть до континентальных, что позволяет пренебречь анализом глубины осадконакопления при оценке деформаций. Параметры залегания кайнозойских пластов изучаемого региона легко устанавливаются при геологической съёмке [Геологическая карта... 1974], благодаря простоте структуры и эрозионной обнажённости пород этого возраста в верхних ярусах рельефа (рис. 1).

Выходы в рельефе геологических слоёв (рис. 1) чётко определяют территорию как эрозионно расчленённую пластовую равнину кайнозойского возраста. Отложения полтавского (Pg3-N1pl) (харьковская + берекская свиты) олигоцен-нижнемiocенового надгоризонта к настоящему моменту сильно эродированы и размыты, фрагментарно сохраняясь лишь в самом верхнем ярусе рельефа, однако интерполяция позволяет восстановить гипсометрическое положение подошвы полтавских



РАЗРЕЗ ПО ЛИНИИ А-Б



**Рис. 1.** Геологическая карта и геологический разрез территории, прилегающей к Курской АЭС (показана пятигранником) с отмеченным на разрезе положением реперных горизонтов и максимального уровня моря в период накопления отложений полтавского надгоризонта. Шаг шкалы высот на разрезе – 100 метров. Положение разреза отмечено на карте

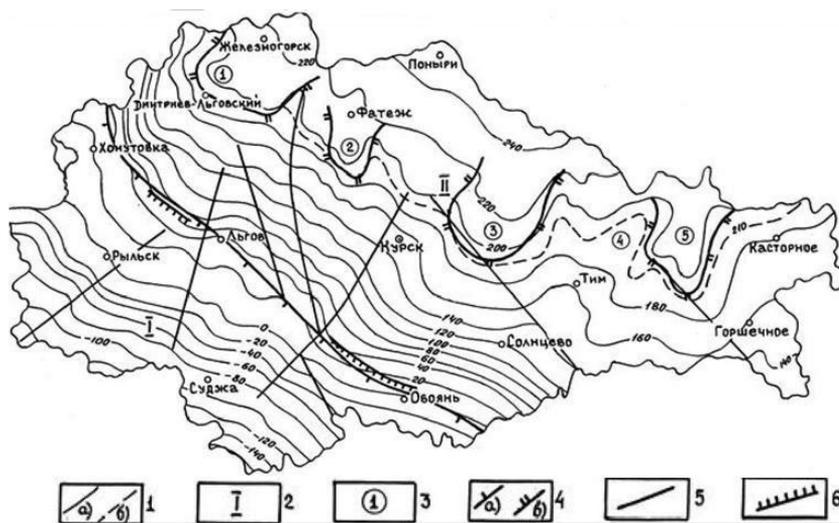
слоев на большей части исследуемой территории, как это показано на разрезе. Отложения киевской свиты, также характеризующие кайнозойские тектонические деформации, распространены значительно шире. Отложения полтавского надгоризонта развиты на южном и северном водоразделах р. Сейм (рис. 1). Фактические и интерполированные отметки высот подошвы полтавской свиты показывают, что на фоне общего повышения с юга на север, от 220–240 м на левом склоне до 250–260 метров – на правом, градиент составляет всего 0.0005. Интерполируются плавные снижения этой поверхности к долинам рек Реута и Сейма почти до 200–210 м абсолютной высоты [Макеев, 2014]. То есть, можно говорить о незначительных и пологих неоген-четвертичных пликативных деформациях. Превышение полтавской реперной поверхности над максимальным уровнем моря олигоценового времени нарастает на исследуемой территории с юго-запада на северо-восток с 15 до 60 метров (рис. 1), что определяет величину абсолютного поднятия территории тектонической природы. То есть, усиление поднятий происходит в направлении от Днепровско-Донецкого палеорифта к центру Средне-Русской возвышенности.

Северный борт Днепровско-Донецкого авлакогена имеет ступенчатое строение. Согласно данным С.В. Друцкого и Н.Д. Кононова (2001), протяженная структурная ступень проявилась в строении раннеальпийского структурного этажа в связи с пострифтовым развитием Днепровско-Донецкой впадины в виде увеличения угла падения осадочных отложений бортовой моноклинали (рис. 2).

На туронском структурном плане кроме этой ступени авторы выделяют также несколько разломов, в том числе часть Железногорской зоны, сохранявшую в то время некоторые следы активности в виде трещиноватости, но, по крайней мере, заметных смещений не наблюдается. В структурах новейшего этапа – в деформациях полтавской свиты – эти ещё заметные в позднем мелу структуры не выражены. В настоящее время следы активности Железногорской зоны, включая оперяющие дизъюнктивы, такие как Безьямный разлом, отмечаются в эманациях радона [Кишкина и др., 2015], что позволяет предполагать влияние этих нарушений на гидрогеологический режим с возможной интенсификацией экзогенных явлений (оползни, просадки, овражная эрозия). Незначительные пликативные деформации, восстанавливаемые по разрозненным выходам отложений полтавского надгоризонта, соответствуют сжатию субмеридионального направления, в то время как туронские слои в исследуемой области наклонены на юго-запад к оси авлакогена, в целом ещё отражая этап пострифтового опускания Днепровского палеорифта.

Резкие падения уровня моря в периоды перестроек движения ансамбля плит соответствуют «быстрому подъёму суши» в классической схеме эволюции рельефа В.М. Дэвиса и сопровождаются деформациями сжатия и формированием региональных угловых несогласий. Оценка общего тектонического поднятия территории, основанная на глубине и скорости эрозионного врезания, часто завышена, так как не учитывает колебаний уровня моря и связи врезов не столько с тектоникой, сколько с падением базиса эрозии. Особенно ярко это проявилось в четвертичное время, например, в среднем плейстоцене, когда уровень моря упал на 79 метров ниже современного [Наг, 2015]. Это фиксируется многими исследователями как резкое ускорение скорости эрозионного врезания [Макеев, 2012]. При гляциоэвстатической природе такого падения уровня моря ускорение эрозии не свидетельствует об усилении тектонических движений.

После регрессии олигоценового моря, рассматриваемая территория представляла собой обширную низменную полигенетическую равнину с абсолютными высотами в то время 170–210 метров, полого наклоненную к югу, где располагалась



1 – изогипсы подошвы туронских отложений: а) через 20 м, б) через 10 м; 2 – структуры I-го порядка (I – Белгородская моноклираль; II – Шигровский свод; 3 – структуры II порядка; 4 – границы структур: а) первого порядка, б) второго порядка; 5 – тектонические нарушения (предполагаемые); 6 – флексурные перегибы

**Рис. 2.** Гипсометрическая карта подошвы туронских отложений в пределах Курской области [Друцкой, Кононов, 2001]

область седиментации (Днепровско-Донецкая впадина). В настоящее время редкие реликты этой поверхности выравнивания сохранились в самом верхнем ярусе рельефа, где маркируются континентальными отложениями шапкинской свиты (пески, красные и охристые глины до 7–8 метров) и её аналогов, залегающими на отложениях полтавского надгоризонта.

Как было показано ранее [Иванченко, 2008], посттуронские деформации в центральной части ВЕП имеют незначительные амплитуды. Так, например, выделяется почти изометричный свод на северной периферии Воронежской палеозойской антеклизы. Размер свода примерно 300×200 км с послетуронской амплитудой в центре поднятия всего 60–70 м. В северной части Курской области подошва туронских отложений превышает 210 метров (прерывистая дополнительная горизонталь на рис. 2), предполагаемый уровень моря начала туронского осадконакопления. Это означает, что к северу от этой изогипсы посттуронская инверсия завершена и перешла в стадию абсолютного поднятия. На разрезе (рис. 1) видно, что превышение подошвы отложений полтавского надгоризонта в северо-восточной части разреза составляет примерно те же 60 метров, что говорит о формировании указанного выше изометричного послетуронского свода, к юго-западной периферии которого в неоген-четвертичное время относится рассматриваемый регион. Для юго-западного фланга разреза (рис. 1), наряду с переходом к поднятию, хотя и незначительному (первые десятки метров), видна незавершённость инверсии относительно туронского репера, что говорит о расширении морфоструктуры Средне-Русской возвышенности за счёт последовательного вовлечения в поднятие моноклинали северного борта Днепровско-Донецкого палеорифта.

Отмечается пространственная связь нелокализованных поднятий с участками положительных отклонений (>45 км) мощности земной коры от средней. Нелока-

лизованные опускания чаще связаны с отрицательными отклонениями (<42 км). Определение мощности земной коры проводилось по гравиметрическим данным (ГНПП «Аэрогеофизика»), что позволяет предполагать изостатическую природу вертикальных деформаций поверхности при сжатии и утолщении коры. Курский мегаблок Воронежского кристаллического массива, где располагается изучаемая территория, характеризуется глубинами поверхности Мохо около 42.5 км без резких вариаций, что не предполагает наличия интенсивных тектонических движений. В условиях современного и четвертичного тектонического сжатия субмеридионального направления, передаваемого от альпийской коллизионной зоны через «жёсткое включение» Днепровского авлакогена (палеорифта), концентратором напряжений являются бортовые разломы палеорифта, где действительно наблюдаются резкие градиенты мощности земной коры и сейсмичность. Так, Сумское (Полтавское) землетрясение произошло 3 февраля 2015 г. на глубине 10 км с магнитудой 4.8. Его очаг (координаты эпицентра 50,64N, 34,13E) расположен в области сочленения Днепровского авлакогена и Воронежского кристаллического массива [Кендзера и др., 2016], примерно в 110 км от площадки АЭС и по кинематике может быть интерпретирован как правый сдвиг [Габсатарова и др., 2016]. Однако и для этой зоны один из авторов допускает техногенную провокацию естественной сейсмичности [Адушкин и др., 2015]. Диагональное простираие Днепровско-Донецкого палеорифта (авлакогена) относительно направления сжатия позволяет предполагать наличие правосдвиговой составляющей движений вдоль северной граничной зоны палеорифта в течение всех фаз активизации неотектонического этапа. Такие смещения наблюдаются по данным GPS и в настоящее время [Адушкин и др., 2013]. Можно сказать, что бортовая зона Днепровского авлакогена, являясь концентратором напряжений и зоной их разрядки при достаточно умеренной сейсмичности ( $M < 5$ ), как бы экранирует рассматриваемую территорию вокруг АЭС от проявлений реально опасной сейсмичности, фиксируемой здесь лишь на уровне шумов [Кишкина и др., 2015].

## Закключение

Картина кайнозойских деформаций района Курской АЭС, выявленных на основе анализа реперных стратиграфических и геоморфологических уровней (киевской свиты эоцена и отложений полтавского надгоризонта олигоцена, а также континентальных отложений шапкинской свиты) с учётом колебаний уровня моря, отмечает весьма незначительные постолигоценные вертикальные движения (от -20 до +30 м). То есть амплитуда движений незначительно отличается от точности стратиграфического метода (около 10 метров) и регион можно отнести к несомненно стабильным. Сами неоген-четвертичные деформации представлены пологими складками, образование которых не предполагает локализацию деформаций, активность разрывных нарушений или протрузии пород фундамента. Все эти явления не наблюдаются в регионе в кайнозойское время. Наиболее близкий к площадке АЭС Железнодорожный разлом не проявляет тектонической активности в кайнозое, хотя в нескольких десятках километров севернее изучаемого региона этот разлом контролирует протрузию пород фундамента и сопутствующие деформации осадочного чехла, возникшие на рубеже юры и мела. Периодизация деформаций хорошо фиксируется кривой колебаний уровня мирового океана. В пространственном распределении кайнозойских деформаций существенное влияние прочностных не-

однородностей докембрийского фундамента, в частности Днепровско-Донецкого авлакогена, пребывавшего в мезозое в режиме затухающего пострифтового термического опускания, что хорошо видно на структурной схеме подошвы туронских отложений и в кайнозое вошедшего в режим инверсии, по крайней мере в своих прибортовых частях. Накопленные за кайнозой вертикальные деформации относительно невелики – десятки метров – не локализованы вдоль каких-либо разломов или протрузий фундамента и не предполагают наличие сколь-либо заметной естественной сейсмичности.

*Работа выполнена в рамках Гос. задания (проект № 0146-2014-0010).*

## Литература

*Адушкин В.В., Санина И.А., Владимирова И.С., Габсатаров Ю.В., Горбунова Э.М., Иванченко Г.Н.* Современные геодинамические активные зоны центральной части Восточно-Европейской платформы // ДАН. 2013, т. 452. № 5. С. 558–561.

*Адушкин В.В., Санина И.А., Габсатарова И.П., Иванченко Г.Н., Горбунова Э.М.* Техногенно-тектонические землетрясения Днепровско-Донецкого авлакогена // ДАН. 2016. Т. 469. № 4. С. 479–482.

*Балуев А.С., Моралев В.М.* Структурный контроль и геодинамические условия внутриплитного магматизма на Восточно-Европейской платформе // Известия вузов. Геология и разведка. 2001, № 1, с. 13–30.

*Геологическая карта СССР м-ба 1:200 000 : Серия Брянско-Воронежская. Лист М-36-VI. Объяснит. записка. Составители Евтехова Е.К., Соловьева Г.В. М. : Недра, 1967. – 74 с.*

*Габсатарова И.П., Бабкова Е.А., Сыччина З.Н., Надежка Л.И., Пивоваров С.П., Семенов А.Е., Кендзера А.В., Пигулевский П.И., Щербина С.В., Чальый О.О., Ильенко В.А.* Параметры землетрясения 3 февраля 2015 г. на границе Полтавской и Сумской областей Украины // Вестник Воронежского Государственного университета. Серия: Геология. 2016.

*Государственная геологическая карта РФ 1: 1000 000, Лист N-(38),39. Самара. Объяснительная за-писка. С. Петербург: ВСЕГЕИ, 2000, – 325 с.*

*Друцкой С.В., Кононов Н.Д.* Объяснительная записка к геологическим картам четвертичных и до-четвертичных отложений Курской области масштаба 1:500000. МПР РФ. М. : 2001.

*Иванченко Г.Н.* Оценка вертикальной амплитуды нелокализованных деформаций центральной части Восточно-Европейской платформы // Физические поля и динамика взаимодействующих геосфер: Сб. научных трудов ИДГ РАН. М. : ГЕОС, 2007, с. 47–57.

*Иванченко Г.Н.* Геоморфологические методы в региональных исследованиях неотектоники (на примере Скифской плиты и юга Восточно-Европейской платформы) // Динамические процессы в геосферах. Вып. 7: Сб. научных трудов ИДГ РАН. М. : ГЕОС, 2015, с. 85–92.

*Иванченко Г.Н., Горбунова Э.М.* Использование данных дистанционного зондирования участков земной коры для анализа геодинамической обстановки. М. : ГЕОС, 2015. – 112 с.

*Иванченко Г.Н., Малкин Б.В.* Кайнозойская история тектонических деформаций центральной части Восточно-Европейской платформы: сб. научн. тр. ИДГ РАН. М. : ГЕОС, 2016. с. 52–60.

*Кендзера А.В., Трипольский А.А., Пигулевский П.И., Гурова И.Ю., Щербина С.В.* Современная сейсмическая активизация Днепровско-Донецкого палеорифта / Доповіді Національної академії наук України. 2016. № 1. С. 65–70.

*Кишкіна С.Б.* Предварительный отчет по теме «Выполнение временных сейсмометрических наблюдений»: Сейсмический мониторинг ближнего района Курской АЭС малоапертурной сейсмометрической группой» ИДГ РАН. 2015.

*Копп М.Л.* Мобилистическая неотектоника платформ Юго-Восточной Европы. М. : Наука, 2005.

*Копп М.Л. и др.* Кайнозойские напряжения востока Русской плиты, Южного и Среднего Урала / Методические, теоретические и прикладные аспекты, вып. 610: труды Геологического института РАН. М. : ГЕОС, 2014. – 87 с.

*Коптев А.И., Ершов А.В.* Численное моделирование напряженного состояния литосферы Земли. Методика и результаты. LAP, Lambert Academic Publish. 2014, – 220 с.

*Лобковский Л.И., Никишин А.М., Хаин В.Е.* Современные проблемы геотектоники и геодинамики. М. : Научный мир, 2004.

*Макеев В.М.* Структурно-геодинамические условия устойчивости особо опасных и технически сложных объектов на древних платформах: диссертация доктора геолого-минералогических наук. Ин-т геоэкологии РАН. Москва, 2014. – 415 с.

*Макарова Н.В., Суханова Т.В.* Стадийность формирования рельефа и новейших структур Восточно-Европейской платформы и Скифской плиты как показатель их возраста, амплитуд и скоростей тектонических движений // Материалы XXXV Пленума Геоморфологической комиссии РАН Симферополь, 3-8 октября 2016 г. Том 2, с. 60.

*Малкин Б.В.* О геодинамической природе геоморфологических циклов // Геоморфология, № 3. М. : 1991, с. 3–16.

*Милановский Е.Е., Никишин А.М., Копяевич Л.Ф., Гаврилов Ю.О., Клутиг С. О* корреляции фаз реорганизации литосферных плит и короткопериодических изменений уровня Мирового океана // Докл. АН СССР. 1992. Т. 326, № 2. С. 313–317.

*Cloetingh S., Haq B.U.* // Science 347, 1258375 (2015). DOI: 10.1126/ science. 1258375.

*Cloetingh S., McQueen H., Lambeck K.* On a tectonic mechanism for regional sea-level variations // Earth and Planet. Sci. Lett. 1985, v. 75, p. 157–166.

*Haq B.U.* [https://figshare.com/articles/Haq\\_sea\\_level\\_curve/1005016](https://figshare.com/articles/Haq_sea_level_curve/1005016), 2015.

*McDonough, K.J., Cross T.A.* Late Cretaceous sea level from a paleoshoreline // J. of Geoph. Res., Volume 96, Issue B4, p. 6591–6607.

*Malkin B.* Calibration of Upper Cretaceous sea level transgression peaks by method of vertical-motionless reference points in epeiric seas sedimentary cover (East European platform), Vienna, EGU A-0535, 2007.

*Nikishin A.M., Brunet M.F., Cloetingh S., Ershov A.V.* Northern Peri-Tethyan Cenozoic intraplate deformations: influence of the Tethyan collision belt on the Eurasian continent from Paris to Tian-Shan. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences – Series IIA // Earth and Planetary Science, Jan 1997.

*Sahagian D.* Epeirogeny and eustatic sea level changes since the mid-Cretaceous: application to central and western United States // J. Geoph. Res. V. 92, 1987, p. 4895–4904.

*Stephenson R.A., Cloetingh S.* Some examples and mechanical aspects of continental lithosphere folding // Tectonophisica, 1991, V. 188, p. 27–37.