



<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-1-75-87>
УДК 551.248.2



НЕОТЕКТОНИЧЕСКИЕ СТРУКТУРЫ И СОВРЕМЕННАЯ ГЕОДИНАМИКА РАЙОНА СРЕДНЕГО ТЕЧЕНИЯ р. ДОН (ТЕРРИТОРИЯ НОВОВОРОНЕЖСКОЙ АЭС)

В.М. МАКЕЕВ^{1,*}, Е.А. ПИКУЛИК¹, А.С. ГУСЕЛЬЦЕВ²

¹ ФГБУН «Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН»
13, стр. 2, Уланский пер., а/я 145, Москва, 140005, Россия

² ФБУ «Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности»
2/8, к. 5, ул. Малая Красносельская, Москва, 107140, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. В районе среднего течения р. Дон проведены структурно-геодинамические исследования.

Цель. Выявление и оценка неотектонических структур, определение геодинамических условий их формирования и анализ интенсивных экзогенных геологических процессов в связи с необходимостью обеспечения безопасности расположенной в этом районе крупнейшей в центральной части Восточно-Европейской платформы Нововоронежской АЭС.

Материалы и методы. Согласно концепции глубинных геодинамических систем исследованы литологические, структурно-геоморфологические и неотектонические условия территории. Фактическим материалом для исследований являлись полевые наблюдения и публикации с учетом данных геологических съемок.

Результаты. В результате выявлены разнотипные по происхождению поднятия и прогибы, геодинамически активные зоны и линеаменты. Формирование структур связывается с глубинными (внутрикоровыми) напряжениями сжатия и растяжения, под влиянием которых активизируются негативные для территории атомной станции тектоно-гравитационные и суффозионно-карстовые процессы. Из древних докембрийских разломов кристаллического фундамента активными являются широтный Судженско-Икорецкий и субмеридиональный Семилуки-Липецкий. Последний рассматривается в качестве геодинамически активной зоны. На площадке АЭС и в ее окрестностях выявлены зоны повышенной трещиноватости и проницаемости, которые согласуются с погребенными формами рельефа — палеорулами Дона и его притоков. Установлено, что они глубоко врезаются в карбонатные породы мелового и девонского возраста, что является причиной для активизации выщелачивания этих пород и выноса мелких частиц из флювиогляциальных толщ. Одним из результатов исследований стала количественная оценка суммарных и поэтапных амплитуд и скоростей неотектонических движений.

Заключение. Территория Нововоронежской АЭС является геодинамически спокойной, скорости движений (как расчетные, так и по данным инструментальных измерений) являются относительно невысокими, однако они активизируют экзогенные процессы, которые уже в свою очередь негативно влияют на устойчивость площадки НВ АЭС.

Ключевые слова: структурно-геоморфологические условия, литология, неотектоника, геодинамика, экзогенные процессы, безопасность атомных электростанций

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: статья подготовлена в рамках выполнения госзадания по теме «Прогноз, моделирование и мониторинг эндогенных и экзогенных геологических процессов для снижения уровня их негативных последствий».

Для цитирования: Макеев В.М., Пикулик Е.А., Гусельцев А.С. Неотектонические структуры и современная геодинамика района среднего течения р. Дон (территория Нововоронежской АЭС). *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2022;64(1):75—87. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-1-75-87>

Статья поступила в редакцию 18.04.2022
Принята к публикации 15.06.2022
Опубликована 22.06.2022

* Автор, ответственный за переписку

NEOTECTONIC STRUCTURES AND MODERN GEODYNAMICS OF THE MIDDLE FLOW REGION OF THE DON RIVER (THE TERRITORY OF THE NOVovorONEZH NUCLEAR POWER PLANT)

VLADIMIR M. MAKEEV^{1,*}, ELENA A. PICULIK¹, ALEXANDER S. GUSELTSEV²

¹ *Sergeev Institute of Environmental Geoscience of RAS
13, c. 2, Ulansky lane, Moscow, 140005, Russia*

² *Scientific and technical center for nuclear and radiation safety
2/8, c. 5, Malaya Krasnoselskaya str., Moscow, 107140, Russia*

ABSTRACT

Background. Structural and geodynamic studies are conducted in the region of the middle flow of the Don river.

Aim. An identification and evaluation of neotectonic structures, determination of geodynamic conditions for their formation and an analysis of intensive exogenous geological processes in connection with the need to ensure the safety of the Novovoronezh nuclear power plant (NPP) located in this area, the largest in the central part of the Eastern European platform.

Materials and methods. According to the concept of deep geodynamic systems, the lithological, structural-geomorphological and neotectonic conditions of the territory were studied. Field observations and publications based on geological survey data were the factual material for the studies.

Results. Various types of uplifts and troughs, geodynamically active zones and lineaments were identified. The formation of structures is associated with deep (intracortical) stresses of compression and tension, under the influence of which the tectonic-gravity and suffosion-karst processes negative for the territory of the nuclear power plant are activated. Among the ancient Precambrian faults of the crystalline basement, the latitudinal Sudzhen-Ikorets and submeridional Semiluki-Lipetsky faults are active. The latter is considered as a geodynamically active zone. At the NPP site and in its vicinity, the zones of increased fracturing and permeability were identified, which is consistent with the buried forms of the relief — paleo-reliefs of the Don river and its tributaries. These zones are found to be deeply embedded in the Cretaceous and Devonian carbonate rocks, which is the reason for the increased leaching of these rocks and the removal of fine particles from the fluvioglacial strata. A quantitative assessment of summary and step-by-step amplitudes and speeds of neotectonic movements was carried out.

Conclusion. The territory of the Novovoronezh NPP is geodynamically calm, the movement speeds (both calculated and according to instrumental measurements) are relatively low; however, these movements activate exogenous processes, which in turn negatively affect the stability of the Novovoronezh NPP site.

Keywords: structural-geomorphological conditions, lithology, neotectonics, and geodynamics, exogenous processes, safety of nuclear power plants

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

Financial disclosure: the article was prepared as part of the state office on the “Forecast, modeling and monitoring of endogenous and exogenous geological processes to reduce their negative consequences.”

For citation: Makeev V.M., Piculik E.A., Guseltsev A.S. Neotectonic structures and modern geodynamics of the middle flow region of the Don river (the territory of the Novovoronezh nuclear power plant). *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2022;64(1):75—87. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-1-75-87>

*Manuscript received 18 April 2022**Accepted 15 June 2022**Published 22 June 2022*

* Corresponding author

Устойчивый интерес к району Среднего Дона связан с расположением его в широкой зоне сопряжения двух крупных новейших структур: Среднерусского (Воронежского) поднятия и Окско-Донского прогиба [8, 10, 15]. Здесь возведена одна из крупнейших в центральной части Восточно-Европейской платформы (ВЕП) экологически опасная Нововоронежская АЭС (НВ АЭС). К сопряжению этих структур приурочена р. Дон с отчетливо выраженным правобережным эрозионным уступом, сформированным вследствие постоянного смещения реки в сторону Средне-Русской возвышенности по правилу Бэра — Бабине. Новейшие структуры с разным направлением движений формируются в пределах древней структуры, относящейся к Воронежской девонской антеклизе ВЕП.

Среднерусское поднятие является устойчиво развивающимся на протяжении всего неотектонического этапа: с конца олигоцена — начала миоцена и поныне. По форме оно наследует положительную Воронежскую антеклизу. Окско-Донской прогиб, напротив, заложен дискордантно на древней антеклизе. По этой причине часть исследователей рассматривает прогиб в качестве внутрикорового активного центра (очага) повышенных напряжений и деформаций [8, 9]. Другая часть исследователей связывает его заложение и развитие с латеральными напряжениями сжатия, наведенными с юга со стороны Аравийской литосферной плиты и поднятия Кавказа ([7] и др.). Таким образом, причины и механизмы формирования внутриплатформенных структур, удаленных от перикратонных опусканий фундамента ВЕП, до сих пор остаются актуальными.

НВ АЭС с семью энергоблоками, два из которых были запущены в 2017—2019 гг., расположена на левобережье р. Дон в 45 км южнее Воронежа (рис. 1). В зависимости от концепции происхождения новейших структур оценить безопасность станции можно по-разному: она может быть либо заниженной, либо переоцененной. В первом случае это небезопасно для густонаселенного равнинного региона, во втором — приведет к необоснованно большим затратам на изыскания при строительстве энергоблоков. Если источник напряжений находится в пределах прогиба, то следует пред-

полагать повышенную активность неотектонических структур, включая разломы и сейсмичность, по сравнению с активностью, вызванную источником напряжений, находящимся за несколько тысяч километров. Неотектонические движения часто сопровождаются интенсивными экзогенными процессами [14, 15, 16], которые нарушают устойчивость территорий, в том числе расположения крупных инженерных объектов [13].

Целью данного исследования является выявление и оценка неотектонических структур, определение геодинамических условий их формирования и анализ интенсивных экзогенных геологических процессов в связи с необходимостью обеспечения безопасности расположенной в этом районе крупнейшей в центральной части Восточно-Европейской платформы Нововоронежской АЭС.

В задачи исследования входит определение суммарных и постадийных амплитуд и скоростей неотектонических движений, а также изучение и оценка влияния экзогенных процессов на устойчивость площадки НВ АЭС.

Методика исследований и фактический материал

В работе применялись структурно-геоморфологический, неотектонический и структурно-геодинамический методы. Фактическим материалом для исследований являлись полевые наблюдения и публикации с учетом данных геологических съемок [2, 3]. Уточнение строения кристаллического фундамента и осадочного чехла производилось на основе фондовых отчетов по буровым, геофизическим, инженерно-геологическим и другим работам, выполненным в связи с проектированием и доизучением НВ АЭС. С учетом буровых скважин и описания обнажений производились построения структурно-геоморфологических профилей, выделение денудационных ступеней (поверхностей) и их корреляция с однородными отложениями. Ступенчатость геоморфологических поверхностей рассматривалась как проявление неотектонических поднятий, аккумуляция отложений — как проявление опусканий. Для выявления активности древних разломов, локализованных в кристаллическом фундаменте, было выполнено

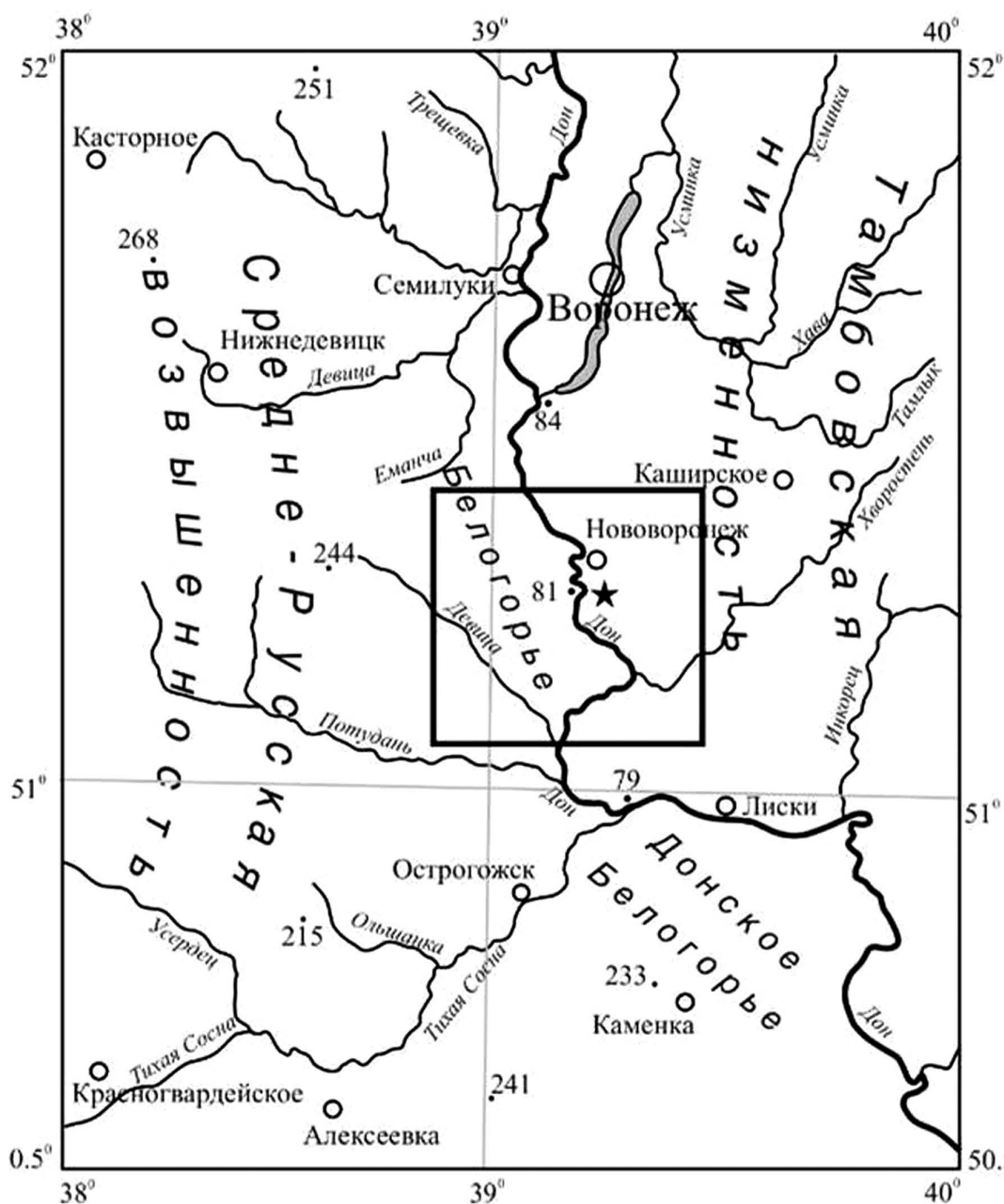


Рис. 1. Положение района исследований (обозначен квадратной рамкой). Звездочкой отмечена Нововоронежская АЭС

Fig. 1. The research area (indicated by the square frame) The star marked the Novovoronezh NPP

дешифрирование аэрофотоснимков на основе дистанционных методов. Кинематические признаки современных деформаций, выявленные на плоскостях трещин в виде борозд скольжения и заколов, анализировались тектонофизическим (структурно-геодинамическим) методом.

В основу исследований положена научная концепция глубинных геодинамических систем,

практическим выходом которой является оценка безопасности территорий инженерных объектов относительно трех факторов: литологического, неотектонического и геодинамического [9].

В районе среднего течения р. Дон проведены исследования литологических и структурно-геоморфологических условий, новейших тектонических структур, их амплитуд и скоростей движений.

Литология и структурная геоморфология

Кристаллический фундамент сложен архей-нижнепротерозойскими глубоко метаморфизованными породами, нарушенными интенсивной складчатостью и разломами. В фундаменте выделено девять раннепротерозойских разломов, из которых наиболее принципиальными в аспекте проявления в рельефе и неотектонике являются два: субмеридиональный Семилуки-Липецкий и широтный Судженско-Икорецкий. Первый разлом в целом наследуется долиной р. Дон, включая и плиоценовый палео-Дон. Второй в западной части согласуется с долиной р. Потудань, а в восточной части — с границей Тамбовской низменности и Калачской возвышенности. В этом случае несогласное сочетание этих форм рельефа может являться косвенным признаком концентрации в рассматриваемом разломе повышенных напряжений и деформаций. Согласно буровым и геофизическим данным проникновение разломов фундамента в осадочный чехол с существенным смещением реперных горизонтов (более 2,5 м) до сих пор нельзя считать доказанным.

Поверхность кристаллического фундамента ступенчато снижается с юго-запада на северо-восток. На юго-западе на правобережье Дона в районе рр. Девица и Потудань (Павловское поднятие) фундамент расположен наиболее близко к земной поверхности на абсолютных отметках +20 м. На северо-востоке на левобережье в районе рр. Хворостань и Тавровка его поверхность опущена до минус 30 м. В районе площадки НВ АЭС фундамент деформирован с образованием относительно небольшого овального выступа-поднятия с абсолютными отметками плюс 5—8 м [2].

Осадочный чехол перекрывает сильно выветренную и тектонически нарушенную поверхность кристаллического фундамента со стратиграфическим перерывом и резким угловым несогласием. Отложения начинаются со среднего девона и заканчиваются меловыми [4]. В коренные породы чехла врезаны позднекайнозойские палеорусла, выполненные рыхлыми плиоценовыми и четвертичными отложениями.

Структурно-геоморфологические условия правобережья и левобережья Среднего Дона различны. Правобережье, представленное формами рельефа Среднерусской возвышенности с абсолютными отметками 100—250 м, имеет ярусное строение в виде серии эрозионно-денудационных ступеней и речных надпойменных террас. Ступени, вырабатанные главным образом на меловых породах,

были выделены на основе многочисленных структурно-геоморфологических разрезов (рис. 2).

Ступени формировались начиная с позднего плиоцена в связи со спорадическим поднятием территории. Самой высокой ступенью является первая плиоценовая с абсолютными отметками 215—220 м. В нее врезана вторая эоплейстоценовая ступень с отм. 180—200 м. Третья ступень, датированная первой половиной раннего неоплейстоцена, имеет отм. 160—180 м, и четвертая ступень второй половиной раннего неоплейстоцена находится на отм. 120—140 м. Врезы (вложения) относительно низких ступеней в более высокие составляют 20—30 м. Их тыловые швы часто скрыты под перевиваемыми эолово-делювиальными песками (vd II—III). В поверхности (ступени) врезаны V-образные овраги и ложбины, днища и склоны которых выполнены пролювиально-делювиальными песчанистыми суглинками (pd III—IV).

Левобережье Дона является частью обширной Тамбовской низменности с абсолютными отметками рельефа 100—170 м (см. рис. 1). Равнина сложена плиоценовыми, эоплейстоценовыми и раннеэоплейстоценовыми преимущественно аллювиальными отложениями, выполняющими обширный Кривоборский плиоценовый прогиб. Отложения отвечают аккумулятивному циклу, соответствующим числу денудационных ступеней (педиментов) правобережья Дона. Сопряженность циклов осадконакопления левобережья с денудационными ступенями правобережья указывает на то, что их образование происходило одновременно в связи с неравномерными неотектоническими движениями и климатическими изменениями. При этом равнинная часть левобережья испытывала опускание, а возвышенная часть правобережья — поднятие. Долина Дона отвечала зоне сопряжения этих двух с разным знаком движения частей платформы.

В раннем неоплейстоцене произошло резкое похолодание климата и становление максимального донского оледенения (g Idns). Последствием этого оледенения являются накопления моренных и флювиогляциальных образований. Моренные суглинки наиболее широко распространены в районе г. Воронеж, а в долине Дона они размыты. На морене залегают флювиогляциальные отложения, которые по генезису отвечают времени отступления донского оледенения. Пески слагают живописный Воронежский оз (f, lg Ids), который возвышается над урезом Дона на 70—80 м. Пески оза по простиранию замещаются

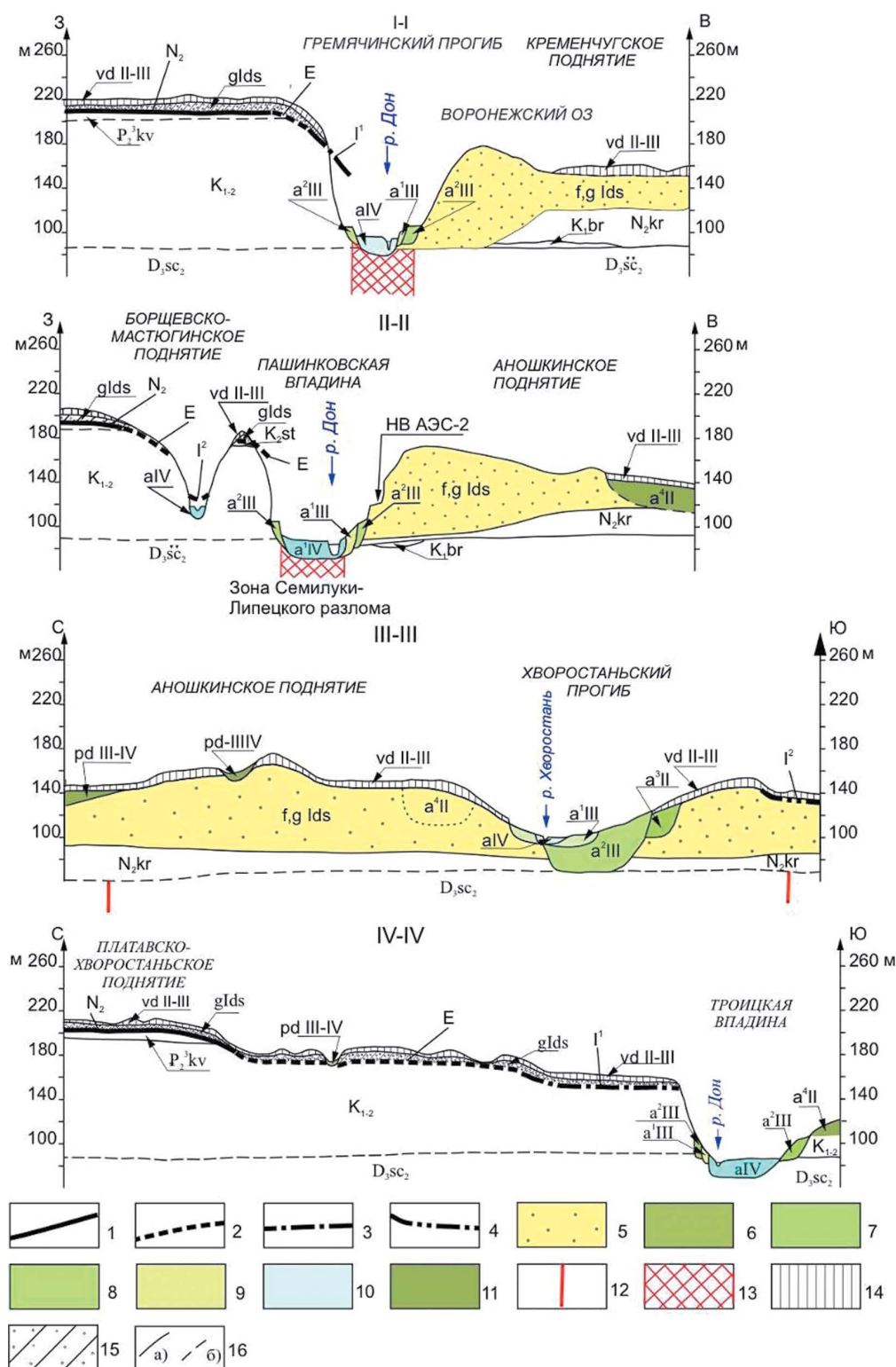


Рис. 2. Структурно-геоморфологические разрезы района среднего Дона. Эрозионно-денудационные ступени: 1 — плиоценовая (N_2), 2 — эоплейстоценовая (E), 3 — первой половины (I^1) и 4 — второй половины раннего неоплейстоцена (I^2). 5 — Флювиогляциальные отложения (f, lg lds). Речные и балочные террасы: 6 — четвертая ($a^4 II$); 7 — третья ($a^3 II$); 8 — вторая ($a^2 III$), 9 — первая ($a^1 III$) и 10 — пойма (IV). 11 — Проллювиально-делювиальные отложения днищ и склонов ложбин (pd III—IV). 12 — Предполагаемые разломы;

13 — Семилуки-Липецкая ГДАЗ. 14 — Эолово-делювиальные покровные лёссовидные суглинки (vd II—III).

15 — Морена донского оледенения (g Ids). 16 — Границы геологические: а) достоверные, б) предполагаемые.

НВ АЭС-2 — Нововоронежская АЭС-2 (вторая очередь строительства 6-го и 7-го энергоблоков)

Fig. 2. Structural-geomorphological cuts of the middle don region. Erosion-denudation steps: 1 — Pliocene (N2), 2 — Eopleistocene (E), 3 — first half (I1) and 4 — second half of the early Nelefitocene (I2). 5 — fluvioglacial sediments (f, lg Ids). River and beam terraces: 6 — fourth (a⁴ II); 7 — third (a³ II); 8 — second (a² III), 9 — first (a¹ III) and 10 — floodplain (IV). 11 — Proluvial deluvial deposits of the bottoms and slopes of the nasal (pd III—IV). 12 — alleged faults; 13 — Semiluki-Lipetsk geodynamically active zone. 14 — Eolii deluvial formations (vd II—III). 15 — Glacial sediments of the Don Age (g Ids). 16 Geological boundaries: a) reliable, b) alleged. NW NPP-2 — Novovoronezh NPP-2 (Second line of construction 6 and 7 power units)

водораздельным зандром, который на левобережье залегает на кривоборских песках, а на правобережье — на морене.

Средне- и позднеплейстоценовое время выразилось формированием четырех надпойменных террас: самой древней четвертой (a⁴ II), которая врезана во флювиогляциальные отложения, третьей (a³ II), второй (a² III) и первой (a¹ III). Относительные превышения четырех террас над уровнем воды Дона составляют и 50—60, 30—35, 18—25 м и 8—10 (15) м соответственно (см. рис. 2).

В голоценовое время сформировалась пойма (a IV), относительная высота которой составляет 3 и 5—7 м (низкая и высокая). В створе с площадкой АЭС она имеет большую ширину до 2 км. В ней отмечается развитие изометричных очень пологих понижений диаметром 2—3 м, происхождение которых связано с суффозией и выщелачиванием карбонатных пород девона. Эти породы залегают близко к земной поверхности и являются сильно выветрелыми и трещиноватыми. У площадки АЭС поверхность коренных пород местами всего на 5 м ниже (абсолютной отметки +75 м) межи р. Дон, которая находится на абсолютной отметке +80 м.

На площадке НВ АЭС на основе буровых и геофизических данных был исследован погребенный рельеф коренных пород. В нем были выявлены палеоруслы, врезанные в меловые глины и верхнедевонские известняки до глубины от 3—6 до 10 м. Палеоруслы, как правило, выполнены пестрыми по гранулометрическому и фациальному составу песками. Эти врезы отчасти согласуются с зонами повышенной трещиноватости, выделенными на основе дешифрирования снимков. О наличии таких зон свидетельствуют субвертикальные границы фациальной изменчивости песков. В погребенных руслах в притальвеговых частях выявлены крупные останцы писчего мела, образовавшиеся при размыве коренных пород склона.

По палеоруслам (врезам), вскрывшим нижнемеловые и девонские глины, происходит взаимодействие и фильтрация грунтовых и межпластовых

вод, на что указывают выходы родниковых вод в пойме Дона. Через эти врезы приповерхностный мелкозем проникает в трещиноватые и разрушенные карстом известняки, что вызывает образование большого числа просадок на земной поверхности. Таким образом, погребенный рельеф является существенным фактором для платформенных территорий, определяющим суффозионную и карстовую активность, часто отрицательно влияющую на устойчивость площадок АЭС.

Неотектоника и современная геодинамика

Новейшие тектонические структуры представлены изгибного типа поднятиями и прогибами (опусканиями) платформенного типа, геодинамически активными зонами (ГДАЗ) и зонами повышенной трещиноватости.

Среди изгибных структур особо выделяется протяженный Доно-Воронежский прогиб, состоящий из нескольких последовательно формирующихся впадин. С прогибом согласуется долина р. Дон, которая сегментирована на ряд аномальных расширений и сужений. В них отмечается увеличение до 20 м и уменьшение до 8—10 м мощности аллювия соответственно. Установлено, что расширения соответствуют Гремячинской (Гр), Пашенковской (Пш) и Троицкой (Тр) впадинам, которые кулисно сочленяются друг с другом. Их границами являются диагонально ориентированные зоны линеаментов С-З простирания, с которыми согласуются antecedentные участки р. Дон, выраженные сужением поймы, спрямлением и углублением русла. Antecedentные участки могут указывать на растущие локальные поднятия, сопряженные со впадинами, которые согласуются с протяженным Семилуки-Липецким (Ливенско-Богучарским) раннепротерозойским разломом (рис. 3).

Тектоно-физический анализ трещиноватости, полученный в полевых условиях, выполненный Н.А. Гордеевым (ИФЗ РАН), в основном в верхнемеловых отложениях писчего мела, показал, что локальные впадины (Гр, Пш, Тр) формируются в условиях сбросо-сдвиговых напряжений,

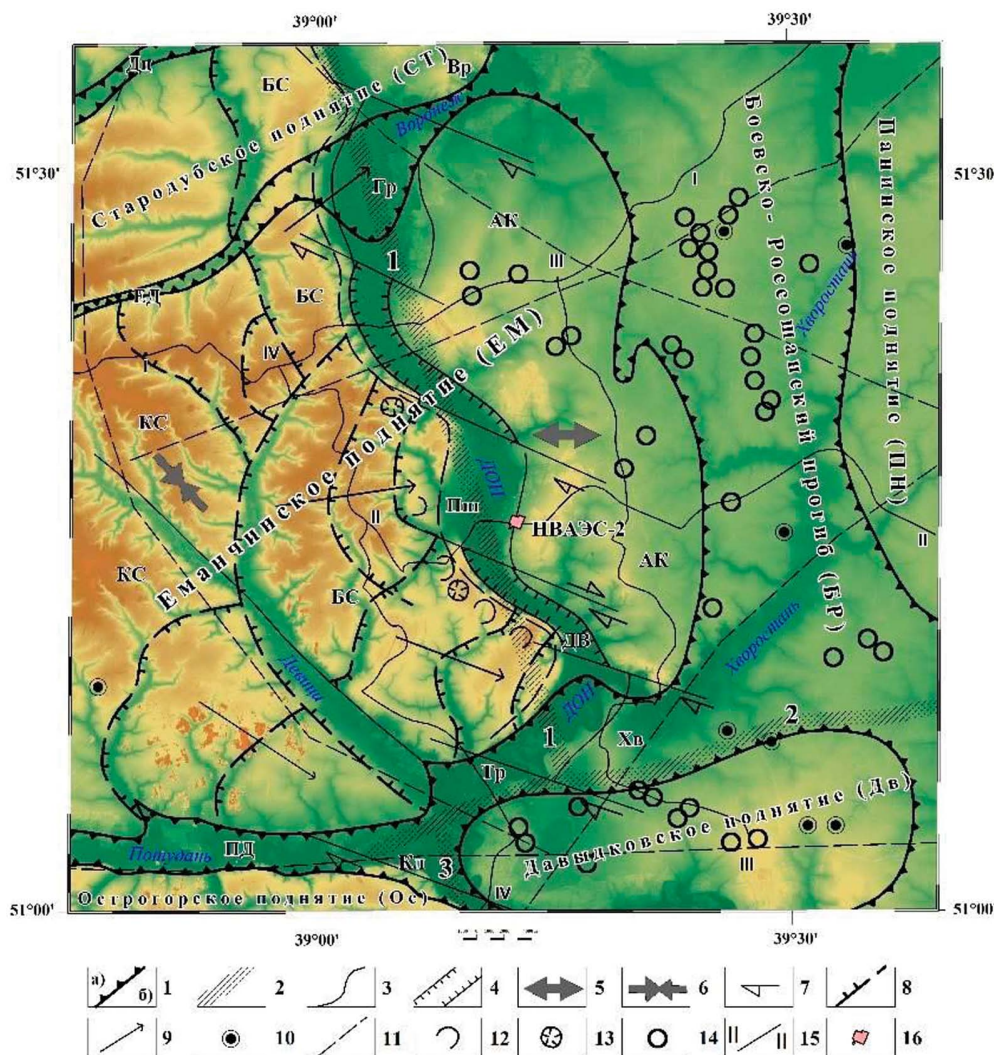


Рис. 3. Неотектоническое строение района среднего течения р. Дон. 1 — Неотектонические структуры (бергштрихи направлены в сторону прогибов). а) Прогибы: ПД — Потуданский, ДЦ — Девицкий, ЕД — Еманчинско-Донской, ДВ — Доно-Воронежский (Гр — Гремячинской, Пш — Пашенковской, Тр — Троицкой), БР — Боевско-Россошанский, Хв — Хворостанский и Кл — Калининский; б) поднятия: КС — Касторненское, ЕМ — Еманчинское, СТ — Стародубское, ПН — Панинское, Ак — Аношкинско-Колодезное, Вр — Воронежское, Ос — Острогорское. 2 — геодинамически активные зоны (1 — Семилуки-Липецкая, 2 — Судженско-Икоретская и 3 — Тихососновская). 3 — Линеаменты, связанные с зонами повышенной трещиноватости. 4 — Антецедентные участки речных долин, 5 — напряжения растяжения, 6 — напряжения сжатия, 7 — сдвиговые напряжения, 8 — границы тектоно-гравитационных массивов (БС — Белогорско-Сторожевой), 9 — направление смещения массивов, 10 — эпицентры землетрясений [5], 11 — разломы докембрийского фундамента, 12 — оползневые склоны, 13 — карстовые воронки; 14 — эпицентры землетрясений; 15 — структурно-геоморфологические профили; 16 — пункт НВ АЭС

Fig. 3. Neotectonic structure of the middle don region. 1 — Neotectonic structures: а) lowering: ПД — Potudanskiy, ДЦ — Devitskiy, ЕД — Yemanchinsko-Donskoy, ДВ — Dono-Voronezhskiy (Гр — Gremyachinskoy, Пш — Pashenkovskoy, Тр — Troitskoy), БР — Boyevsko-Rossoshanskiy, Хв — Khvorostanskiy and Кл — Kalininskiy; б) Raising: КС — Kastornenskoye, ЕМ — Yemanchinskoye, СТ — Starodubskoye, ПН — Paninskoye, Ак — Anoshkinsko-Kolodeznoye, Вр — Voronezhskoye, Ос — Ostrogorskoye. 2 — geodynamically active zones (1 — Semiluki-Lipetskaya, 2 — Sudzhensko-Ikoretskaya and 3 — Tikhososnovskaya). 3 — Linements associated with zones of increased fracture. 4 — Antecedent areas of river valleys, 5 — stretching, 6 — compression, 7 — shifts, 8 — borders of texton-gravitational arrays (БС — Belogorsko-Storozhevoy), 9 — the direction of displacement, 10 — epicenters of earthquakes [5], 11 — Fault Precambrian foundation. 12 — landslides, 13 — Cars; 14 — epicenters of earthquakes; 15 — structural geomorphological profiles; 16 — Novovoronezh NPP

или, точнее, по типу пулл-апарт. В зонах линейных элементов по трещинам установлены кинематические индикаторы деформаций (зеркала скольжения), указывающие на правосдвиговые напряжения сжатия. Подобного типа структуры впервые были выделены М.Л. Коппом [7].

С нашей точки зрения эти впадины геодинамически активны, поскольку в них происходит интенсивное осадонакопление и опускание. Они играют роль своеобразных геодинамических центров, от которых исходят напряжения растяжения. Превышение этих напряжений над литостатическим давлением вызывает тектоно-гравитационное сползание, отчетливо выраженное на склонах высокого правобережья Дона. Смещение происходит с запада на восток по глинам барремского яруса нижнего мела и, возможно, по более глубокой погребенной поверхности кристаллического фундамента в основном в сторону изгибающегося русла Дона. Тыловые ограничения этих массивов выражены дугowymi руслами рек Девица и Еманча. В них установлены стенки отседания и трещины закола в виде смещений почв. Конфигурация тыловых ограничений позволяет объединить их в один крупный Белогорско-Сторожевой оползневой массив, который как бы разваливает со всех сторон Воронежское (Еманчинское) неотектоническое поднятие.

Район среднего течения Дона является хорошим объектом для изучения разнородных (разноглубинных) напряжений. Помимо приповерхностных напряжений растяжения выделяются и глубинные, связанные с внутрикоровой активностью Окско-Донского прогиба как геодинамически активного [8]. Согласно ГСЗ «Гранит» и механизмам очагов сейсмичностью прогиба источник напряжений (центр) локализован в нижнекоровом слое земной коры (см. рис. 3). По причине оттока подкорового глубинного вещества от активного центра под Воронежское поднятие левобережье Дона подвержено напряжениям растяжения, а правобережье — сжатию. В первом случае формируются четвертичные Еманчинское и Стародубское поднятия, Еманчинско-Донской и другие прогибы северо-восточного простирания (антиклинале- и синклиналеподобные формы соответственно). Во втором — Аношкинско-Колодезное и Пашинское поднятия и Боевско-Росошанский прогиб и другие молодые структуры субмеридионального простирания (горсто- и грабенообразные формы). Границей глубинных напряжений растяжения и сжатия является протяженная Семилуки-Липецкая геодинамически активная

зона сдвиговых напряжений, которая вызывает развитие структур по типу пулл-апарт.

Количественная оценка неотектонических движений

Согласно акад. В.Е. Хаину (1971), неотектонические движения обладают специфической особенностью, связанной с прерывисто-стадийным характером развития. Признак стадийности движений — отчетливо и закономерно выраженная в рельефе серия денудационных ступеней, включая речные цикловые террасы [6]. Особенностью их формирования является цикличность, обусловленная неотектонической прерывистостью и климатическими изменениями. Возраст ступеней определяется возрастом пород, на которых они выработаны, и возрастом перекрывающих или вложенных в них более молодых отложений. Важную роль в оценке возраста играет корреляция денудационных ступеней с новейшими отложениями, датировка которых основана на фауне.

Выявление деформаций, выраженных в рельефе, позволяет оценить амплитуды и скорости движений за новейшее (30—35 млн лет), т.е. суммарное время, и за отдельные его стадии, исчисляемые десятками и сотнями тысяч лет. По С.А. Несмеянову общая (суммарная) амплитуда неотектонического поднятия соответствует максимальной абсолютной отметке самой древней эрозионно-денудационной поверхности за вычетом мощности покровных отложений [13]. В нашем случае это ледниковые (морена) и золово-делювиальные (лессовые суглинки) образования. В районе исследований самой древней поверхностью является позднеплиоценовая (200 м), перекрывающаяся покровными образованиями мощностью 18—20 м. На более низких поверхностях мощности покровов минимальны и составляют менее 18 м. Общая скорость поднятия за новейший этап рассчитывается делением относительной амплитуды на время, за которое эта амплитуда образовалась (абсолютный возраст поверхности). Согласно этим расчетам в районе среднего течения р. Дон общая амплитуда позднеплиоценовых поднятий составляет 180—200 м, а общая скорость — 0,05 мм/год (табл.).

Постадийные скорости поднятий — это отношение амплитуды поднятия за новейшее время к величине вреза за это время, равное отношению амплитуды за определяемый этап к величине вреза за этот этап. Имеется важное допущение, что амплитуды постадийных поднятий в общем случае пропорциональны глубинам цикловых врез.

Таблица. Амплитуды и скорости суммарных новейших и постадийных движений
Table. Amplitudes and speed of tectonic movements

Циклы рельефа	Амплитуды поднятий, метры / продолжительность стадии (тыс. лет)	Скорости поднятий, мм/год
Q_4	15—20/11	1,36—1,81
Q_3^{3-4}	22/46	0,17—0,47
Q_3^{1-2}	25/56	0,39—0,44
Q_2^{3-4}	25/115	0,16—0,22
Q_2^{1-2}	35/93	0,34—0,37
Q_1^{3-4}	140/528	0,26
Q^{11-2}	160/760	0,21
E	180/1 800	0,10
N_2^3	200/3 600	0,05

Продолжительность стадий в абсолютных цифрах соответствует данным региональных и местных хроностратиграфических шкал [1, 11]. Расчеты показали, что постадийные амплитуды имеют размах от 180 м в эоплейстоцене до 15 (20) м в голоцене. Скорости колеблются в интервале от 0,1 до 1,36—1,81 мм/год соответственно. Причем скорости движений в голоцене относительно самые высокие, а самые низкие — в позднем плиоцене.

Специальная высокоточная нивелирная сеть в районе размещения площадки НВ АЭС, созданная для наблюдений за современными вертикальными движениями земной коры, свидетельствует, что площадка АЭС находится в едином блоке земной коры, в области равномерного опускания земной поверхности со скоростью 0,5 мм/год. На карте современных вертикальных движений земной коры России [12] району АЭС соответствуют значения 0 (–2) мм/год (опускание).

Таким образом, территория Нововоронежской АЭС является геодинамически спокойной, скорости движений (как расчетные, так и по данным инструментальных измерений) относительно невысоки, однако они активизируют экзогенные процессы, которые негативно влияют на устойчивость площадки НВ АЭС.

Выводы

В районе среднего течения р. Дон неотектонические структуры и интенсивные экзогенные процессы формируются под влиянием окско-донских тектонических напряжений типа растяжения-сжатия, которые классифицированы по глубине. Глубинные напряжения ответственны за формирование крупных неотектонических структур, приповерхностные — обуславливают развитие экзогенных

процессов. На правобережье Дона в условиях приповерхностных напряжений растяжения активно развивается карст (воронки и пещеры), тектоно-гравитационные массивы, мелкие склоновые оползни, V-образные овраги, ложбины, промоины и рытвины. На левобережье выявлено интенсивное развитие обширных суффозионных просадок в покровных лессовидных суглинках, перекрывающих зандровые пески. Малые просадочные формы тяготеют к балкам и ложбинам.

Границей разнотипных тектонических напряжений является Семилуки-Липецкая геодинамически активная зона сдвигового типа, где выявлены сбросового типа впадины по типу пулл-апарт с сопряженными диагональными линейментами. На правобережье р. Дон под влиянием приповерхностных напряжений растяжения интенсивно развиваются экзогенные геологические процессы, в частности карстово-суффозионные. В окрестностях Нововоронежской АЭС эти процессы приурочены к погребенным плиоценовым, эоплейстоценовым и нижнелеоплейстоценовым палеоруслам. Они вскрыли меловые водоупорные глины вплоть до девонских известняков и ныне вызывают в них процессы выщелачивания.

На основе анализа деформаций денудационных ступеней и надпойменных террас определены новейшие (суммарные за 30—35 млн лет) и постадийные амплитуды и скорости поднятий. Эти скорости относительно небольшие, однако они вызывают активизацию интенсивных экзогенных геологических процессов, негативно влияющих на устойчивость площадки Нововоронежской АЭС и требующих учета и контроля с помощью мониторинговых средств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Актуализированная легенда Центрально-Европейской серии листов к Государственной геологической карте РФ м-ба 1:1000 000. Объяснит. записка и схемы неогена и квартера. М.: ВСЕГЕИ, 2014. 255 с.
2. Геологическая и гидрогеологическая карты СССР м-ба 1:200 000. Серия Брянско-Воронежская. Лист М-37-IV. Объяснит. записка. Авторы: С.В. Алехин, Т.А. Ишунина. М.: Недра, 1981. 135 с.
3. Геологическая карта СССР м-ба 1: 200 000. Серия Брянско-Воронежская. Лист М-37-X. Объяснит. записка. Составитель: Н.Г. Бородин. М.: Недра, 1969. 181 с.
4. Государственная геологическая карта РФ. М-б 1:1 000 000. Лист М-37 (38). Объяснит. записка. Изд-во С-П картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2001. 363 с.
5. Ежова И.Т., Ефременко М.А., Трегуб А.И. Сейсмическая активность и неотектоника Воронежского кристаллического массива // Вестник ВГУ. Серия Геология. 2010. № 1. С. 229—232.
6. Карта поверхностей выравнивания и кор выветривания СССР // М-б: 1:2 500 000. Ред. И.П. Герасимов, А.В. Сидоренко. М.: Мингео СССР-АН СССР, 1971. 8 л.
7. Копп М.Л. Окско-Донской новейший прогиб. Мобилистская неотектоника платформ Юго-Восточной Европы. Отв. ред. Ю.Г. Леонов. Труды ГИН РАН. М.: Наука, 2004. № 552. С. 190—237.
8. Макарова Н.В., Макаров В.И., Корчуганова Н.И., Соколовский А.К., Суханова Т.В. Окско-Донской прогиб — современная геодинамическая зона Восточно-Европейской платформы // Изв. вузов. Геология и разведка. 2002. № 2. С. 3—13.
9. Макеев В.М. Структурно-геодинамические условия устойчивости территорий особо опасных и технически сложных объектов на древних платформах: автореф. дис. ... д-ра геол.-мин. наук. М. 2015. 50 с.
10. Макеев В.М., Макарова Н.В., Суханова Т.В., Пикулик Е.А. Современная геодинамика и неотектоника центральной части Русской равнины // Фундамент. проблемы тектоники и геодинамики: Мат-лы LI тектонич. совещ. М.: ГЕОС, 2020. Т.2. С. 67—72.
11. Международная хроно-стратиграфическая шкала ISC IUGS. Международная стратиграфическая комиссия: www.stratigraphy.org/index.php/ics-chart-timescale/. 2017.
12. Национальный атлас России. Том 2. Природа и экология. 2007. Геологическое строение и ресурсы недр. Современные вертикальные движения земной коры. Масштаб 1:15 000 000. Отв. ред. Г.Ф. Кравченко / ПК «Картография» под общ. рук. М-ва транспорта Российской Федерации и Роскартографии. 2007. С. 50—51.
13. Несмеянов С.А. Инженерная геотектоника. М.: Наука, 2012. 560 с.
14. Тектоника восточной части Воронежского кристаллического массива и его осадочного чехла. Ред. Г.И. Раскатов, В.Ф. Лукьянов, А.А. Старухин. Воронеж, 1976. 120 с.
15. Трегуб А.И. Неотектоника территории Воронежского кристаллического массива // Труды научно-исслед. ин-та геологии Воронежского гос. ун-та. Воронеж, 2002. Вып. 9. 220 с.
16. Холмовой Г.В., Глушков Б.В. Неогеновые и четвертичные отложения Среднерусской возвышенности. Труды научно-исслед. института геологии Воронежского гос. ун-та. Воронеж, 2001. Т. 1. 120 с.

REFERENCE

1. Actualized legend of the central European series of sheets to the state geological map of the Russian Federation scale 1: 1000,000. Explanatory note and schemes of neogen and quarter. Moscow: VSEGEI, 2014. 255 p. (In Russian).
2. Geological and hydrogeological maps of the USSR scale 1: 200 000. Series Bryansko-Voronezh. M-37-IV. Explanatory note. Authors: S.V. Alekhin, T.A. Ishunin. Moscow: Nedra, 1981. 135 p. (In Russian).
3. Geological map of the USSR scale 1: 200 000. Series Bryansko-Voronezh. M-37-X. Explanatory note. Compiler: N.G. Borodin. Moscow: Nedra, 1969. 181 p. (In Russian).
4. State geological map of the Russian Federation. Scale 1: 1 000 000. Sheet M-37, (38). Explanatory note. Moscow: VSEGEI, 2001. 363 p. (In Russian).
5. Yezhova I.T., Efremenko M.A., Tregub A.I. Seismic activity and tectonics of the Voronezh Crystalline Massif // Vestnik VGU. Seriya geologiya. 2010. № 1. P. 229—232. (In Russian)
6. Map of alignment surfaces and weathering of the USSR // Scale: 1: 2 500 000. Ed. I.P. Gerasimov, A.V. Sidorenko. Moscow: Mingeo SSSR-AN SSSR, 1971. 8 liters (In Russian).
7. Kopp M.L. Oka-Don modern deflection. Mobilist neotectonics platforms of southeastern Europe. Responsible editor Yu.G. Leonov. Trudy GIN RAN. Moscow: Science, 2004. No. 552. P. 190—237 (In Russian).
8. Makarova N.V., Makarov V.I., Korcuganova N.I., Sokolovsky A.K., Sukhanova T.V. Oka-Don Progive is a modern geodynamic zone of the Eastern European Platform // Izvestiya VUZov. Geologiya i razvedka. 2002. № 2. P. 3—13 (In Russian).
9. Makeev V.M. Structural and geodynamic conditions for the sustainability of the territories of particularly dangerous and technically complex objects on ancient platforms. Abstract doctor-geological and mineralogical sciences. "Ay-klub", 2015. 50 p. (In Russian).

10. Makeev V.M., Makarova N.V., Sukhanova T.V., Pikulik E.A. Modern geodynamics and neotectonics of the central part of Russian plains // Fundamental problems of tectonics and geodynamics: Materials LI Tectonical Meeting. Moscow: Geos, 2020. T. 2. P. 67—72 (In Russian).
11. International chrono-stratigraphic scale ISC IUGS. International Stratigraphic Commission: www.stratigraphy.org/index.php/ics-chart-timescale/. 2017.
12. National Atlas of Russia. Vol. 2. Nature and ecology. 2007. Geological structure and subsoil resources. Modern vertical movements of the earth's crust. Scale 1: 15 000 000. Responsible editor G.F. Kravchenko / PKO "Kartografiya" under the general. hands. The Ministry of Education of Transport of the Russian Federation and Roskartography. 2007. P. 50—51 (In Russian).
13. Nesmeyanov S.A. Engineering geotectonics. Moscow: Nauka, 2012. 560 p. (In Russian).
14. Tectonics of the eastern part of the Voronezh Crystalline Arrays and its sedimentary cover. Editors: G.I. Rascatov, V.F. Lukyanov, A.A. Starukhin. Voronezh, 1976. 120 p. (In Russian).
15. Tregub A.I. The neotectonics of the territory of the Voronezh Crystalline Massif // Trudy nauchno-issledovatel'skogo instituta geologii Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Voronezh, 2002. Vol. 9. 220 p. (In Russian).
16. Holmova G.V., Glushkov B.V. Neogene and quaternary deposits of the mid-Russian elevation. Trudy nauchno-issledovatel'skogo instituta geologii Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Voronezh, 2001. T. 1. 120 p. (In Russian).

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Макеев В.М. — разработал методику исследования, провел полевые и камеральные исследования неотектоники и геодинамики территории, разработал концепцию статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Пикулик Е.А. — провела полевые и камеральные исследования структурно-геоморфологического строения территории и погребенного рельефа, подготовила текст и графику статьи, окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Гусельцев А.С. — произвел оценку негативного влияния экзогенных процессов на устойчивость площадки НВ АЭС, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Makeev V.M. — developed a methodology for studying, conducted studies of the neotectonic and geodynamics of the territory, developed the concept of an article, finally approved the published version of the article and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

Pikulik E.A. — conducted studies of the structural-geomorphological structure of the territory and the buried relief, prepared the text and graphics of the article, finally approved the published version of the article and agrees to take responsibility for all aspects of work.

Guseltsev A.S. — made an assessment of the negative impact of exogenous processes to the Novovoronezh NPP, finally approved the published version of the article and agrees to take responsibility for all aspects of work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT AUTHORS

Макеев Владимир Михайлович* — доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник, исполняющий обязанности заведующего лабораторией эндогенной геодинамики и неотектоники ФГБУН «Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН».

13, стр. 2, Уланский пер., а/я 145, Москва 140005, Россия

E-mail: vmakeev@mail.ru

SPIN-код: 6318-3113

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1037-6821>

Vladimir M. Makeev* — Dr. of Sci. (Geol.-Min.), top manager of Laboratory of Endogenous Geodynamics and Neotectonics, Sergeev Institute of Environmental Geoscience of RAS.

13, bld. 2, Ulansky lane, Moscow 140005, Russia

E-mail: vmakeev@mail.ru

SPIN-code: 6318-3113

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1037-6821>

Пикулик Елена Александровна — кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник лаборатории геоинформатики и компьютерного картографирования ФГБУН «Института геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН». 13, стр. 2, Уланский пер., а/я 145, Москва 140005, Россия
E-mail: elena_pikulik@bk.ru
SPIN-код: 5984-0130
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6556-4670>

Гусельцев Александр Сергеевич — кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник ФБУ «Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности». 2/8, к. 5, ул. Малая Красносельская, Москва 107140, Россия
E-mail: gouseltsev@secnrs.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2355-8552>

Elena A. Pikulik — Cand. of Sci. (Geol.-Min.), senior researcher, Sergeev Institute of Environmental Geoscience of RAS. 13, bld. 2, Ulansky lane, Moscow 140005, Russia
e-mail: elena_pikulik@bk.ru
SPIN-code: 5984-0130
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6556-4670>

Alexander S. Guseltsev — Cand. of Sci. (Geol.-Min.), senior researcher, Scientific and technical center for nuclear and radiation safety. 2/8, bld. 5, Malaya Krasnoselskaya str., Moscow 107140, Russia
E-mail: gouseltsev@secnrs.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2355-8552>

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author