

УДК 551.248.(470.324)

doi: 10.55959/MSU0579-9406-4-2023-63-3-11-21

ПРИЧИНЫ ТЕКТОНИЧЕСКОЙ И СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ЗОНЫ ЛИСКИНСКОГО РАЗЛОМА (ЮГО-ВОСТОЧНАЯ ЧАСТЬ ВОРОНЕЖСКОГО ПОДНЯТИЯ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ)

Татьяна Владимировна Суханова¹✉, Наталия Валентиновна Макарова²,
Александр Николаевич Стафеев³, Людмила Ивановна Надежка⁴,
Александр Иванович Трегуб⁵, Ирина Трофимовна Ежова⁶,
Александр Евгеньевич Семенов⁷.

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; tanikamgu@mail.ru✉

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; makarovanat@yandex.ru

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; anstafeev@rambler.ru

⁴ Федеральный исследовательский центр «Единая геофизическая служба РАН», Обнинск, Россия; Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия; nadezhka_ssm@geophys.vsu.ru

⁵ Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия; tregybai@yandex.ru

⁶ Федеральный исследовательский центр «Единая геофизическая служба РАН», Обнинск, Россия; Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия; iritrof@mail.ru

⁷ Федеральный исследовательский центр «Единая геофизическая служба РАН», Обнинск, Россия; Alexander.Semenov@gmail.ru

Аннотация. Рассматривается зона Лискинского разлома, находящаяся в южной части Восточно-Европейской платформы на границе двух крупных новейших структур — Воронежского поднятия и Окско-Донского прогиба. К зоне разлома и прилегающей территории приурочено скопление эпицентров землетрясений. Исследованы новейшая структура территории, рельеф, строение разноглубинных и разновозрастных горизонтов осадочного чехла, фундамента, земной коры, поверхности Мохо, и определены причины неотектонической и сейсмической активности зоны. Лискинский разлом в настоящее время развивается как взброс с правосдвиговой составляющей в условиях субмеридионального сжатия, а прилегающая к нему территория находится под воздействием разнонаправленных тектонических напряжений сжатия: с севера, со стороны Окско-Донского прогиба, и с юга, со стороны Кавказского сегмента альпийского коллизийного пояса. Это отражено в морфологии и строении новейших структур. С субмеридиональным сжатием связаны деформации разноглубинных горизонтов, а также земной поверхности, и активизация сейсмичности. Большое значение имеют глубинные вещественные и структурные неоднородности земной коры. Впервые в новейшей структуре юго-восточной части Восточно-Европейской платформы выделена область встречного субмеридионального движения и столкновения блоков, вызывающих активную сейсмичность.

Ключевые слова: новейшие поднятия, прогибы, разломы, линеаменты, эпицентры землетрясений, сжатие, растяжение, сдвиги, взбросы, фундамент, земная кора

Для цитирования: Суханова Т.В., Макарова Н.В., Стафеев А.Н., Надежка Л.И., Трегуб А.И., Ежова И.Т., Семенов А.Е. Причины тектонической и сейсмической активности зоны Лискинского разлома (юго-восточная часть Воронежского поднятия Восточно-Европейской платформы) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2023. № 3. С. 11–21.

THE CAUSES OF TECTONIC AND SEISMIC ACTIVITY OF THE LISKIN FAULT ZONE (IN THE SOUTHEASTERN PART OF THE VORONEZH UPLIFT OF THE EAST EUROPEAN PLATFORM)

Tatyana V. Sukhanova¹✉, Natalya V. Makarova², Alexandr N. Stafeev³,
Ludmila I. Nadezhka⁴, Alexandr I. Tregub⁵, Irina T. Ezhova⁶, Alexandr E. Semenov⁷

¹ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; tanikamgu@mail.ru✉

² Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; makarovanat@yandex.ru

³ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; anstafeev@rambler.ru

⁴ Geophysical Survey RAS (GS RAS), Obninsk, Russia; Voronezh State University, Voronezh, Russia; nadezhka_ssm@geophys.vsu.ru

⁵ Voronezh State University, Voronezh, Russia; tregybai@yandex.ru

⁶ Geophysical Survey RAS (GS RAS), Obninsk, Russia; Voronezh State University, Voronezh, Russia; iritrof@mail.ru

⁷ Geophysical Survey RAS (GS RAS), Obninsk, Russia; Alexander.Semenov@gmail.ru

Abstract. The Liskin fault zone located in the southeastern part of The East European Platform on the border of two large neotectonic structures — the Voronezh Uplift and the Oka-Don basin is considered. A concentration of

earthquake epicenters is confined to the fault zone and the adjacent territory. The neotectonic structures of the territory, relief, structure of the multi-depth and age horizons of the sedimentary cover, basement, crust, Moho surface are investigated, and the causes of neotectonic and seismic activity of the zone are determined. The Liskin fault at the present time developing as a thrust with right component under the conditions of submeridional compression and the adjacent territory is under the influence of multidirectional tectonic compression stresses: from the north, from the Oka-Don basin and from the south, from the Caucasian segment of the Alpine collision belt. This is reflected in the morphology and structure of the newest structures. The deformation of multi-depth horizons as well as the Earth's surface and the activating of seismicity are associated with the submeridional compression. The deep material and structural inhomogeneities of the Earth crust are of great importance. For the first time in the newest structure of the south-eastern part of the East European Platform, the collision area of two oncoming submeridional stresses that caused active seismicity has been identified.

Keywords: recent uplifts, basins, faults, lineaments, earthquake epicenters, compression, extension, strike-slip faults, reverse faults, basement, Earth crust

For citation: Sukhanova T.V, Makarova N.V., Stafeyev A.N., Nadezhka L.I., Tregub A.I., Ezhova I.T., Semenov A.E. The causes of tectonic and seismic activity of the Liskin fault zone (in the southeastern part of the Voronezh uplift of the East European Platform). *Moscow University Geol. Bull.* 2023; 3: 11–21. (In Russ.).

Введение. Среди многочисленных разломов Восточно-Европейской платформы, выделенных по геофизическим данным, геоморфологическим признакам, дешифрированию линеаментов, сопоставлению с погребенными разломами фундамента, и проявление которых в осадочном чехле в новейшее время не всегда доказано геологическими методами, существуют разломы особенно важные, являющиеся сейсмогенными или потенциально сейсмогенными. Во многих работах отмечается приуроченность эпицентров землетрясений к границам новейших структур, линеаментам-разломам или узлам их пересечения. Однако это лишь внешнее отражение вызвавших землетрясение внутренних процессов, которые в каждом конкретном районе и для каждого сейсмогенного разлома различные, в то время как сами процессы не установлены.

Одним из таких разломов на юге Восточно-Европейской платформы (далее ВЕП) является Лискинский (рис. 1). Он также известен как Лиски-Репьевский. К зоне этого разлома и прилегающей территории приурочены эпицентры землетрясений разного класса, в том числе наиболее сильные для платформы — до 8 энергетического класса (магнитуда 2–4). Это основная область скопления эпицентров землетрясений среди выделенных областей повышенной сейсмичности на территории Воронежского кристаллического массива [Надежка и др., 1998, 2010; Ежова и др., 2010]. Разлом протягивается субшироко вдоль северного основания Острогжского поднятия, являющегося юго-восточной частью обширного Воронежского поднятия. Здесь в фундаменте по геофизическим и буровым данным выделена система разломов шириной более 40 км, известных в литературе — Суджано-Икорецкий, Ряжско-Кантемировский и др., а также Лискинский, служащий тектоническим контактом между различными по составу и возрасту комплексами архейских и протерозойских образований (рис. 2). Разлом проявлял себя на протяжении всей последующей геологической истории в разные периоды палеозоя и мезозоя, начиная со среднего девона, служив границей поднятых

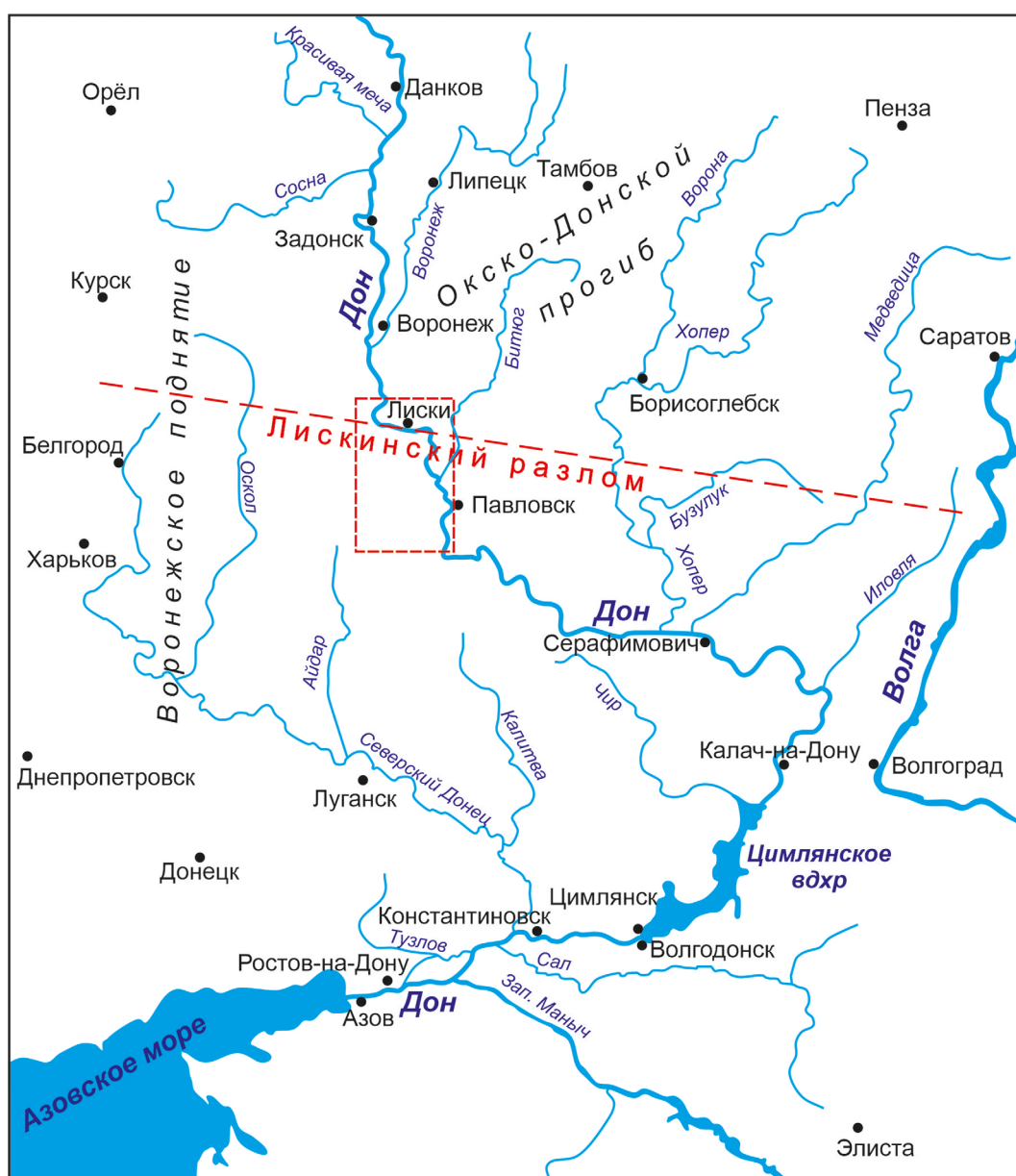
и отрицательных структур, областей размыва и осадконакопления, фаций и мощностей разновозрастных отложений [Тектоника..., 1976]. В новейшее время зона этого разлома также является границей двух крупных структур ВЕП — Воронежского поднятия (его юго-восточного склона) и Окско-Донского прогиба в южной его части. Она выражена в геологическом строении территории, структуре и рельефе, отражена линеаментом на Космотектонической карте ВЕП и ее обрамления масштаба 1:2 500 000 [1989], включена в базу данных активных разломов Евразии, созданную в Геологическом институте РАН [Бачманов и др., 2017].

Основная цель работы — определить причину современной неотектонической и сейсмической активности Лискинской зоны разломов и прилегающей к ней территории, используя комплекс методов (геологических, геофизических, структурно-геоморфологических) и данные бурения.

Изучением Лискинского разлома занимались многие исследователи: Г.И. Раскатов, В.Ф. Лукьянов, В.И. Лосицкий, А.И. Трегу́б, А.А. Старухин, Л.И. Надежка, М.Л. Копп, А.А. Никонов и др. По данным некоторых из них разлом протягивается далеко на запад через долину р. Оскол за Курск более, чем на 300 км, и на восток вдоль северного склона Калачской возвышенности или несколько южнее через район пос. Бутурлиновка к Урюпинску. Наиболее полные данные о строении Лискинской зоны разлома, основанные на детальном полевом исследовании, содержатся в работах Г.И. Раскатова [Тектоника..., 1976] и А.И. Трегу́ба [Трегу́б, 2002]. Кинематику разлома, геодинамическую обстановку формирования его и прилегающей области изучал М.Л. Копп [Копп, 2004].

А.И. Трегу́б выделил Острогжский структурный узел, включающий северную часть Острогжского поднятия, юго-западную часть Окско-Донского прогиба, Кшень-Оскольскую структурную террасу на восточном склоне Воронежского поднятия и широтные прогибы с долинами р. Дон и его правого притока — р. Потудань. На основании

Рис. 1. Местоположение Лискинского разлома (территория исследования в прямоугольнике)



изучения геологического строения, линеаментов, трещиноватости разновозрастных пород территории этого узла А.И. Трегуб охарактеризовал Лискинский разлом как левый сдвиг со сбросовой компонентой. В противоположность этим выводам М.Л. Копп [Копп, 2004] считал, что Лискинский разлом на новейшем этапе представляет собой взброс с некоторой правосдвиговой составляющей, развивающийся в условиях субмеридионального сжатия. Такая разноречивая трактовка типа разлома (сброс, взброс) и геодинамических условий новейшего, особенно современного состояния Лискинской зоны разлома, требует дальнейшего ее изучения, тем более, что к зоне этого разлома на широтном отрезке долины Дона, а также к прилегающим с севера и юга территориям приурочено скопление эпицентров землетрясений (рис. 3). Кроме того, по всей вероятности, с разломом связаны и деформации меловых отложений, слагающих известные на правобережье долины Тихой сосны и Дона утесы Дивы.

Ниже рассматривается часть Лискинской зоны разлома длиной около 40 км, к которой приурочена широтная долина р. Дон, резко асимметричная (правый берег выше и круче левого). Эту зону мы связываем с проявлением сейсмической активности. Для определения современных тектонических геодинамических условий, отвечающих за повышенную сейсмичность территории зоны разлома, приведем характеристику новейшей структурной обстановки.

Новейшая структура. Основными новейшими структурами исследуемого района являются Окско-Донской прогиб в своей юго-западной части, Острогожское поднятие и разделяющий их Масальский прогиб (рис. 4).

Юго-западная часть новейшего обширного и протяженного Окско-Донского прогиба (ОД — здесь и ниже буквенные обозначения структур показаны на рис. 4) представляет низкое Левобережье Дона. Прогиб является структурой растяжения, образование которой связывается с давлением с юга со

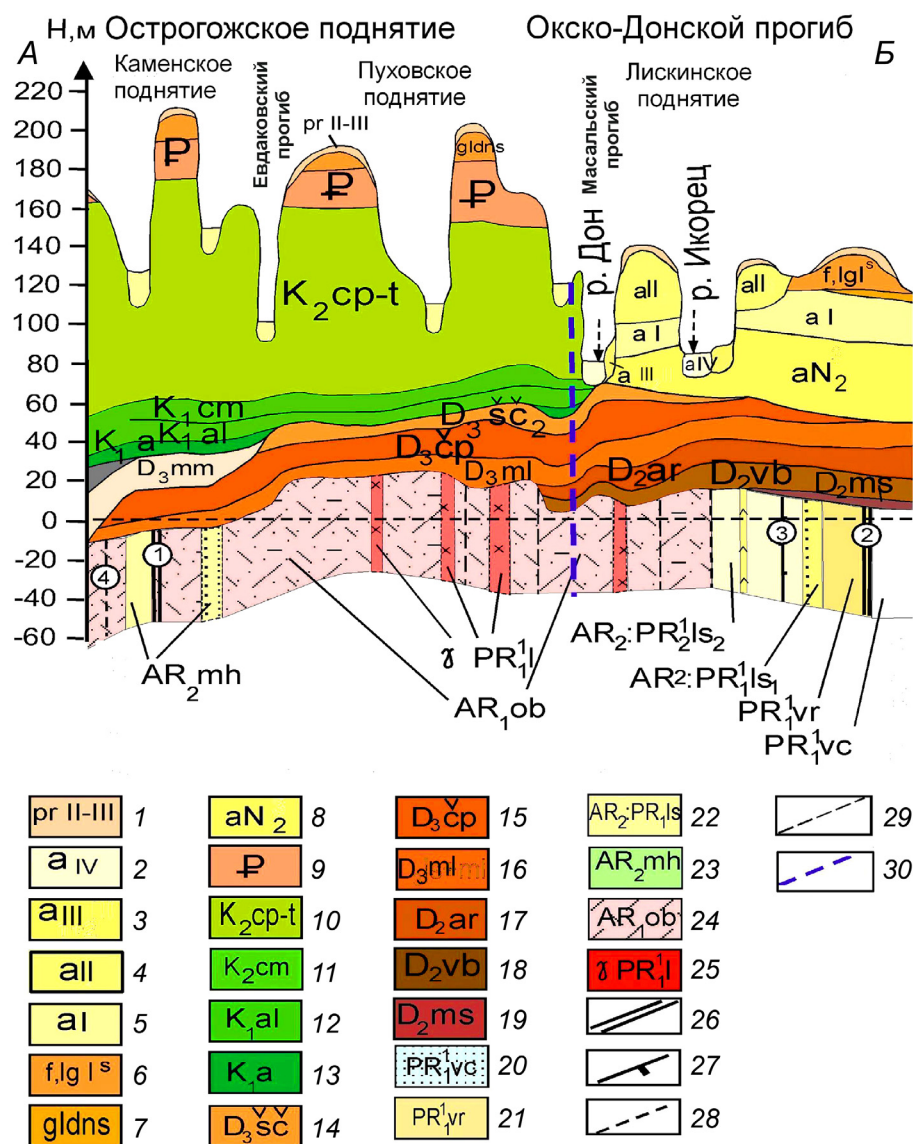


Рис. 2. Геологический разрез по линии А-В (положение линии см. рис. 4). Отложения осадочного чехла разного возраста: четвертичные: 1 — средне-верхнеоплейстоценовые покровные; аллювий — 2 — голоценовый поймы, 3 — верхнеоплейстоценовый первой и второй террас; 4 — среднеоплейстоценовый третьей террасы; нижнеоплейстоценовый: 5 — аллювий пятой террасы, 6 — флювиогляциальные и лимнические отложения времени максимального распространения донского ледника, 7 — морена донского оледенения; 8 — неогеновый аллювий. Отложения: 9 — палеогеновые; 10–13 — меловые (ярусы верхнего и нижнего отделов меловой системы); 14–19 — девонские (ярусы верхнего и среднего отделов девонской системы). Кристаллический фундамент: 20–25 — осадочно-метаморфические образования архей-протерозойского возраста. Разломы фундамента: 26–29 — с 1-ого по 4-ый ранг (цифры в кружках — названия разломов: 1 — Рязско-Кантемировский, 2 — Лосевско-Мамонский, 3 — Суджанско-Икорецкий, 4 — Графский); 30 — Лискинский разлом (по данным [Раскатов, 1976])

стороны Альпийского коллизионного пояса [Копп, 2002, 2004; Трегуб, 2002] или с преимущественным действием процессов, происходящих внутри земной коры [Макаров, 2001; Макарова и др., 2002]. Об условиях растяжения свидетельствует широкое развитие субмеридиональных линейных элементов или зон трещиноватости и разрывов, используемых речными долинами.

Фундамент Окско-Донского прогиба сложен архейскими гранитоидами. В рельефе юго-западная часть прогиба представляет эрозионно-аккумулятивную равнину с абсолютной высотой 140–150 м, повышающейся к Дону. Прогиб выполнен верхне-

плиоценовым аллювием Дона (кривоборская свита aN₂^{3kr}) мощностью около 40 м, и перекрывающими его четвертичными отложениями мощностью до 50 м (рис. 2). Последние представлены нижнеоплейстоценовыми аллювием (aI), мореной донского оледенения (gldns) и флювиогляциальными отложениями времени отступления этого оледенения (f,lg^ls), слагающими водораздельный ландшафт. Более молодые аллювиальные отложения слагают террасы Дона и его притоков.

Плиоценовый аллювий залегает на верхнедевонских отложениях, состоящих из нескольких свит. Непосредственно под руслом Дона, восточнее г. Лиски,

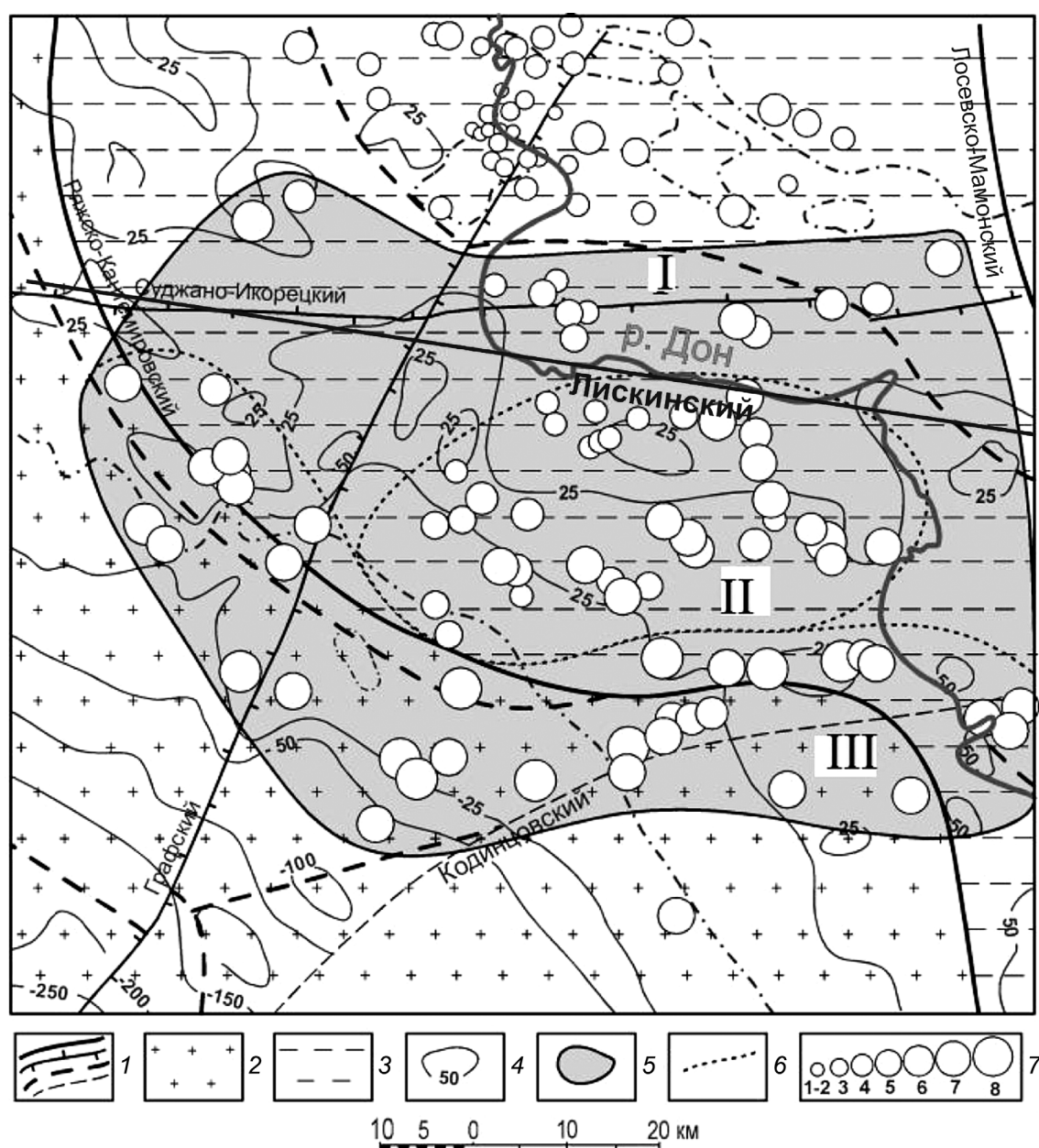


Рис. 3. Область развития Лискинской сейсмически активной зоны [Литосфера..., 2012; Семенов и др., 2016]. 1 — разломы разного ранга; 2 — мегаблок КМА (Курская магнитная аномалия); 3 — Лосевская шовная зона; 4 — изолинии рельефа фундамента; 5 — граница сейсмогенной зоны; 6 — области повышенной плотности эпицентров землетрясений: I — Северная, II — Центральная, III — Южная; 7 — эпицентры землетрясений; сплошной черной линией по р. Дон показан Лискинский разлом

по данным бурения, свиты смяты в складки, а подосва плиоценовых отложений к югу, или к руслу Дона, поднимается с 50 м абс. высоты до 70–80 м, и вместе с перекрывающими нижнеленоплейстоценовыми отложениями образует пологую антиклиналь (рис. 2). В рельефе поверхность зандра также деформирована — она поднимается к руслу Дона со 140–150 до 160 м, а в районе г. Лиски — до 176 м.

Масальский прогиб (М) выделен Г.И. Раскатовым [Раскатов, 1976], включившим в него широтную часть долины Дона (рис. 4). Прогиб наследует зону Лискинского разлома. В неогене он имел ширину до 30–50 км, в четвертичное время сократился вдвое из-за развития в его пределах молодых поднятий, и в настоящее время практически существует в гра-

ницах позднеплейстоцен-голоценовой долины Дона, в то время как средне- и раннеленоплейстоценовые отложения уже вовлечены в поднятие — Прилискинское (Пр). Северной границей молодого поднятия является широтный линеймент-разлом, протягивающийся к юго-востоку от пос. Давыдовка, входящий в зону Лискинского разлома. Долина р. Дон здесь узкая, асимметричная, прижатая к высокому Правобережью, и в ней также развиваются молодые поднятия, сужающие отдельные ее участки. То же можно сказать и о продолжающем его на запад Потуданском прогибе (П), также осложненном растущими локальными поднятиями [Трегуб, 2002]. Возможно, Масальский прогиб в настоящее время вырождается. Лискинский разлом, согласно данным

[Копп, 2004], является взбросом с правосдвиговой составляющей, развивающимся в условиях субмеридионального сжатия. Этот взброс М.Л. Копп проводил в основании правобережного уступа. В то же время на Левобережье в верхнемеловых породах в карьере у пос. Копанище отмечаются широтные взбросы, обращенные как на юг, так и на север. Таким образом можно предположить, что эта территория находится в условиях сжатия, исходящего как с севера, так и с юга. Об условиях субмеридионального сжатия и субширотного растяжения свидетельствуют также преобладающие вертикальные, преимущественно субмеридиональные, трещины в верхнемеловых отложениях, что не противоречит ни данным М.Л. Коппа, ни данным А.И. Трегуба.

Высокое Правобережье Дона, являющееся южным крылом зоны Лискинского разлома и склоном Масальского прогиба, представляет собой новейшее *Острогожское* поднятие (О) [Тектоника..., 1976], значительно расширяющееся к югу, с наибольшими абс. отметками дневной поверхности 230–240 м. В рельефе — это холмисто-увалистая возвышенность, глубоко (до 50 м и более) расчлененная овражно-балочной сетью.

Границами Острогожского поднятия являются эрозионно-тектонические понижения — прогибы, отделяющие его от соседних поднятий и сформированные над зонами крупных разломов фундамента (рис. 4). Ко всем прогибам приурочены речные долины, по которым они и названы. Западной границей является Тихососновский прогиб (Т) северо-восточного простирания, отделяющий Острогожское поднятие от находящегося западнее Репьевского (Р). Восточное крыло прогиба круче западного. В рельефе докембрия и подошве мезозоя прогибу соответствует желоб глубиной 10–20 м. В зоне разлома предполагаются сбросовые и левосдвиговые напряжения [Копп, 2004]. Восточной границей Острогожского поднятия является субмеридиональный Павловско-Мамонский прогиб (ПМ), к которому приурочена долина Дона на границе с Калачским поднятием (Кл). В структуре фундамента — это глубинный Мамонский разлом. В районе г. Павловска отмечается глубинная проводящая зона, соответствующая аномалии геомагнитных вариаций [Литосфера..., 2012]. При общем субмеридиональном простирании прогиб отчетливо разделяется на отдельные отрезки северо-западной и северо-восточной ориентировки, проявляющие системы трещин или линейментов. Западное его крыло круче восточного, имеет сбросовый характер и дополняется право-сдвиговой составляющей [Копп, 2004]. При этом на участке расширения прогиба в районе устья р. Битюг локальная впадина отнесена к типу «пулл-апарт». Прогиб наложен на валообразное поднятие фундамента (Павловский выступ) северо-западной ориентировки с системой древних разломов и не согласуется с границами распространения разновозрастных отложений осадочного чехла. Прогиб развивается,

в основном, с позднего миоцена. В настоящее время это — восточная граница области концентрации эпицентров землетрясений (рис. 3).

Южной границей Острогожского поднятия, отделяющей его от Кантемировского поднятия (Кн), является субширотный Чернокалитвенский прогиб (Ч). Он выполнен неогеновыми и четвертичными отложениями. Склоны прогиба крутые, глубина вреза составляет от 70 до 100 м. Это в значительной степени унаследованная структура, отдельные участки которой проявлялись в разные отрезки геологической истории, начиная с протерозоя [Старухин, 1973]. При этом неоднократно отмечались обстановки правосторонних сдвигов [Трегуб, 2002]. На основании строения прогибов, являющихся границами Острогожского поднятия, можно считать его новейшим горстом.

Фундамент Острогожского поднятия представлен в основном грано-диорито-гнейсами мигматизированными обоянской серии архея [Литосфера..., 2012]. Северная его часть представляет собой архейско-протерозойскую Лосевскую шовную зону, служившую в то время границей двух крупных мегаблоков фундамента Воронежского кристаллического массива: западного Курского и восточного Хоперского. Южной границей Лосевской зоны является глубинный Рязско-Кантемировский разлом, имеющий сдвиговую природу. Поверхность фундамента неровная, ее абсолютная высота снижается с +25 до –50 м с севера на юг и повышается к востоку до +50 — +60 м. Она разбита разломами на блоки более высоких порядков, одним из которых является находящийся близко к поверхности Павловский выступ, вскрываемый руслом Дона.

Острогожское поднятие сложено в основании, как и Окско-Донской прогиб, средне- и нижнедевонскими породами, залегающими на фундаменте, перекрытыми ниже- и верхнемеловыми и среднепалеогеновыми отложениями. Верхняя часть разреза представлена новейшими верхнеолигоцен-нижнемиоценовыми отложениями полтавской свиты (P_3-N_{1pl}), миоценовыми отложениями шапкинской свиты (N_{sp}) и нижнелоплейстоценовой мореной донского оледенения ($gIds$). Общая мощность залегающих на фундаменте отложений осадочного чехла составляет около 200 м, а новейших — 25–35 м [Геологическая..., 1969]. Возраст поднятия — средний миоцен.

Верхнемеловые отложения, слагающие большую часть разреза, представлены писчим мелом и мелоподобными мергелями. Они обнажаются в крутых обрывистых склонах долин Тихой Сосны и Дона, и именно этими породами образованы скальные столбообразные выступы Дивы, а территория их развития названа Дивногорьем. Местами, особенно в приустьевой части долины Тихой Сосны и в западной части широтного отрезка долины Дона, породы дислоцированы с образованием пологих складок. По данным [Лаврушин, 2010] эти деформации, так

же, как и трещины в породах, явившиеся причиной образования Див, связаны с гляциотектоникой или давлением ледника, продвинувшегося сюда с севера в ранненеоплейстоценовую (донскую) эпоху оледенения. Также ледник, по мнению этих авторов, явился причиной поворота Дона с меридионального направления на широтное. Против последнего предположения можно привести тот факт, что широтный отрезок Дона существовал уже в плиоцене, т.е., до оледенения, а поворот Дона вызван препятствующим его течению ростом и расширением новейших поднятий — Репьевского и Острогожского. Что касается Див, то их образование было предопределено неотектоническими условиями, развитием трещиноватости и циркуляцией кремнесодержащих гидротермальных растворов, вызвавших образование более устойчивых к разрушению (окремненных) массивов, сохранившихся в современном рельефе, тогда как менее крепкие были размывы в процессе последующей денудации. Складки в меловых отложениях образовались также в новейшее время.

Помимо меловых отложений, на Правобережье Дона, как и на его Левобережье, дислоцированными являются погребенные отложения верхнего девона, залегающие на 20 м ниже современного уреза Дона (рис. 2).

Острогожское поднятие включает два поднятия, резко различные по размерам и ориентировке входящих в них локальных структур. В северной части — это сравнительно небольшое и относительно невысокое (200–220 м) Пуховское поднятие (П), а в южной — более крупное и высокое (до 240 м) Каменское (К).

Пуховское поднятие — субширотное. Фундамент в его пределах находится на отметке +25 м и представлен гнейсами обоянской серии архея. Поднятие состоит из двух также субширотных локальных поднятий. Поверхности их наклонены, хотя и слабо, к северу, где подмываются Доном, а южные склоны круто обрываются к прилежащим прогибам. Линеаменты имеют преимущественно диагональную ориентировку и в меньшей степени — субмеридиональную и широтную.

Каменское поднятие дифференцировано на ряд локальных поднятий преимущественно субмеридиональной ориентировки, представляющих по данным [Старухин, 1973] структурные носы. Разделяющие их долины рек — северных притоков Черной Калитвы, а также многочисленные овраги и балки проявляют линеаменты, более протяженные, в отличие от таких же на Пуховском поднятии. Среди них более значимыми являются субмеридиональные линеаменты. Фундамент поднятия снижается с +25 м до –25–50 м. Каменское поднятие также асимметричное, но, в отличие от Пуховского, его северный склон короче и круче более протяженного южного, наклонного к югу. Поднятие расширяется в том же направлении, наибольшие абсолютные отметки характерны для центральной его части (рис. 5),

хотя современный водораздел с верховьями рек смещен к северу. Это свидетельствует о продвижении глубинной эрозии к северу, что может быть вызвано активизацией роста поднятия. Острогожское поднятие активно развивается на протяжении всего новейшего этапа, в том числе, современного. На это указывают ступенчатый рельеф склонов, отражающий стадии роста поднятия в течение новейшего этапа, повышение уровней денудационных поверхностей от прилегающих прогибов к своду поднятия, небольшая мощность новейших отложений, слагающих верхнюю часть поднятия, смещение водораздела или осевой части к северу, интенсивное эрозионное расчленение и активизация других современных процессов — карста, оползней, а также сейсмичности.

Пуховское и Каменское поднятия разделены субширотным эрозионно-тектоническим понижением, названным нами Евдаковским (Е). Южная граница прогиба практически совпадает с погребенной южной границей древней Лосевской шовной зоны фундамента и Ряжско-Кантемировским глубинным разломом. Прогиб узкий (1–1,5 км), врезан на 20–30 м в коренные породы, ограничен относительно крутыми склонами (рис. 5). Основание его повышается с востока на запад, вплоть до выклинивания, и затем снижается к западу к Тихососновскому прогибу. Присутствие морены, а также глин в составе меловых пород, вскрываемых во врезе рек и оврагов, — причина развития оползней, выходов родников, заболоченности в прогибе. Характеристики его строения — узкий, крутосклонный, испытывающий положительную ундуляцию, что позволяет предполагать условия сжатия при его образовании. Крутые склоны, предположительно, имеют взбросовый характер. Морфология разделяемых им Пуховского и Каменского поднятий также свидетельствует об условиях сжатия, но инициированного разными источниками: Пуховское поднятие отражает давление с севера, а Каменское — с юга. Из этого следует, что небольшой прогиб, возможно, имеет важное структурное значение.

Таким образом, новейшая структура исследуемой территории, в частности, строение и морфология неотектонических поднятий и прогибов, свидетельствует о том, что она формировалась, с одной стороны, в обстановке субмеридионального сжатия, с другой стороны, что это сжатие разнонаправленно — оно действует одновременно как с юга, так и с севера. Современная геодинамическая обстановка и многочисленные сдвиговые деформации в условиях субмеридионального сжатия являются наиболее благоприятными факторами для возникновения землетрясений.

Характеристика глубинного строения земной коры. По геофизическим данным [Литосфера..., 2012; Семенов и др., 2016], земная кора исследуемой территории характеризуется значительными неоднородностями состава и строения. Выделяются

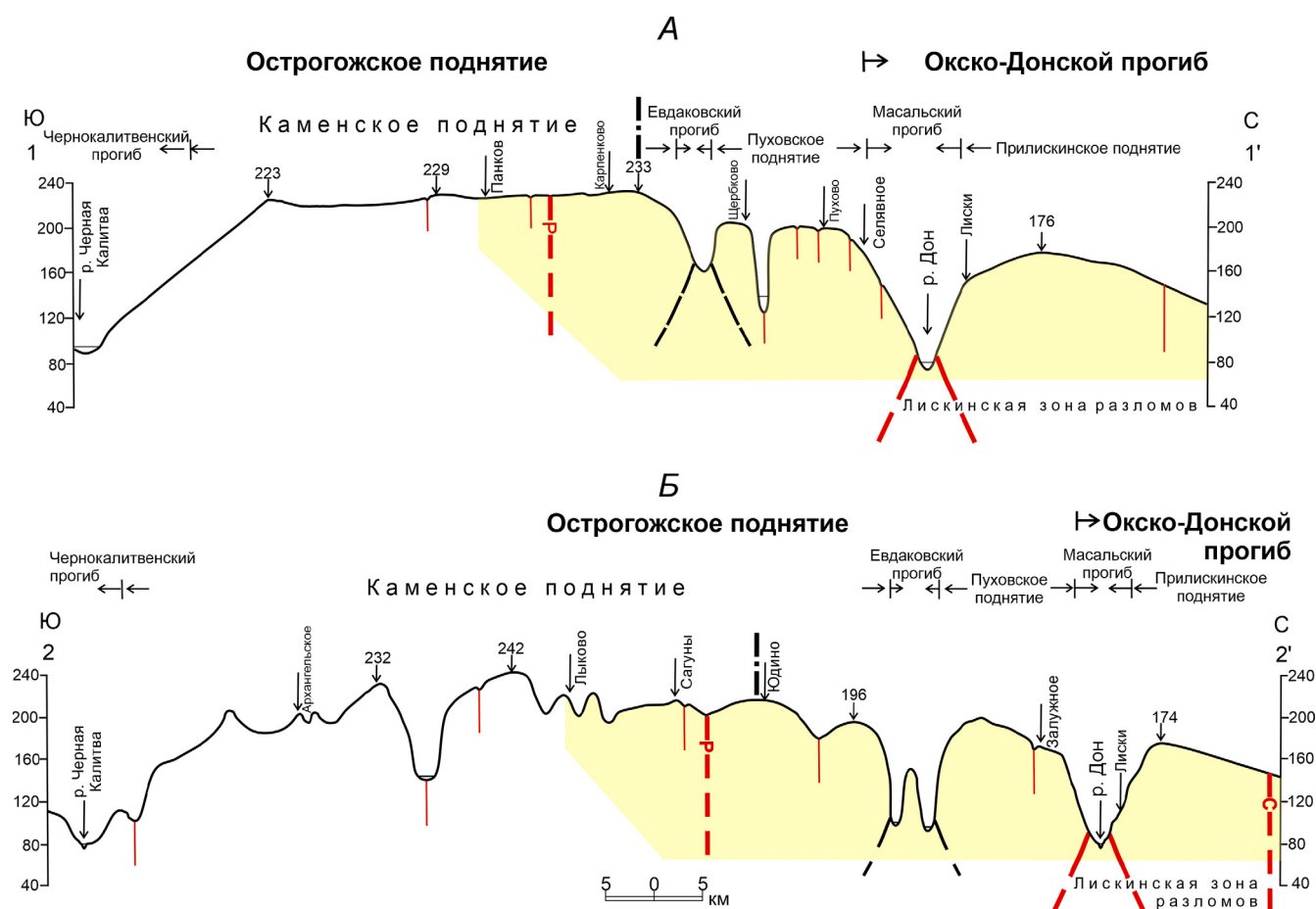


Рис. 5. Структурно-геоморфологические профили по линиям 1–1' (А), 2–2' (Б). Условные обозначения см. на рис. 4

два крупных блока с гранитоидным типом земной коры (рис. 6). Между этими массивами зажата полоса примерно 90 км длиной и 45 км шириной, раздробленная на блоки с корой разного состава: гранито-диорито-базитового, метабазитового, гранито-базитового и гранитоидного. Полоса могла образоваться в результате возможной неоднократной смены обстановок растяжения и сжатия в течение архея-протерозоя. В структуре поверхности Мохо этой полосе соответствует изменение структурного плана, сложное строение гравитационного поля, появление большого количества локальных элементов разного простирания в магнитном поле и др. особенности. На более высоком уровне, в фундаменте, отмечается его блоковое строение, чередование разноориентированных поднятий и впадин, большое количество разрывных нарушений, среди которых и Ряжско-Кантемировский разлом. Поверхность фундамента под Окско-Донским прогибом находится несколько ниже (+25÷+10 м), чем под Острогжским поднятием (+25÷+30 и более м), и в целом мощность земной коры в прогибе меньше, чем на поднятии. Таким образом, земная кора, включая фундамент, отличается неоднородностью и раздробленностью. В новейшей структуре над этой полосой развиты Пуховское поднятие, Евдаковский прогиб и северная часть Каменского поднятия. Именно к ним приурочены

наиболее сейсмически активные по интенсивности землетрясений Центральная и Южная области.

Характеристика территории повышенной плотности эпицентров землетрясений. Территория охватывает новейшие структуры, описанные выше (рис. 3; 4). Северная и западная границы области не имеют четкого структурного выражения. Возможно, им соответствуют линеаменты. Восточной границей служит Павловско-Мамонский новейший прогиб, а южной — приподнятая часть Каменского поднятия. По плотности эпицентров землетрясений и сейсмической активности, зарегистрированной с конца 1990-х по 2016 г., выделяются три области [Семенов и др., 2016].

I. Северная область имеет низкий энергетический потенциал землетрясений. Здесь произошло 12 землетрясений 4–6 энергетического класса, при этом выделившаяся сейсмическая энергия составила $11,4 \cdot 10^7$ Дж. Эта территория включает юго-западную часть Окско-Донского прогиба, представляющую в настоящее время молодое Прилискинское поднятие, а также Масальский прогиб, в современных границах совпадающий с широтной позднеплейстоцен-голоценовой долиной Дона и зоной Лискинского разлома, и продолжающий его к западу Потуданский прогиб. Земная кора, имеющая гранитоидный состав на западе, сменяется гранито-диорито-базитовой —

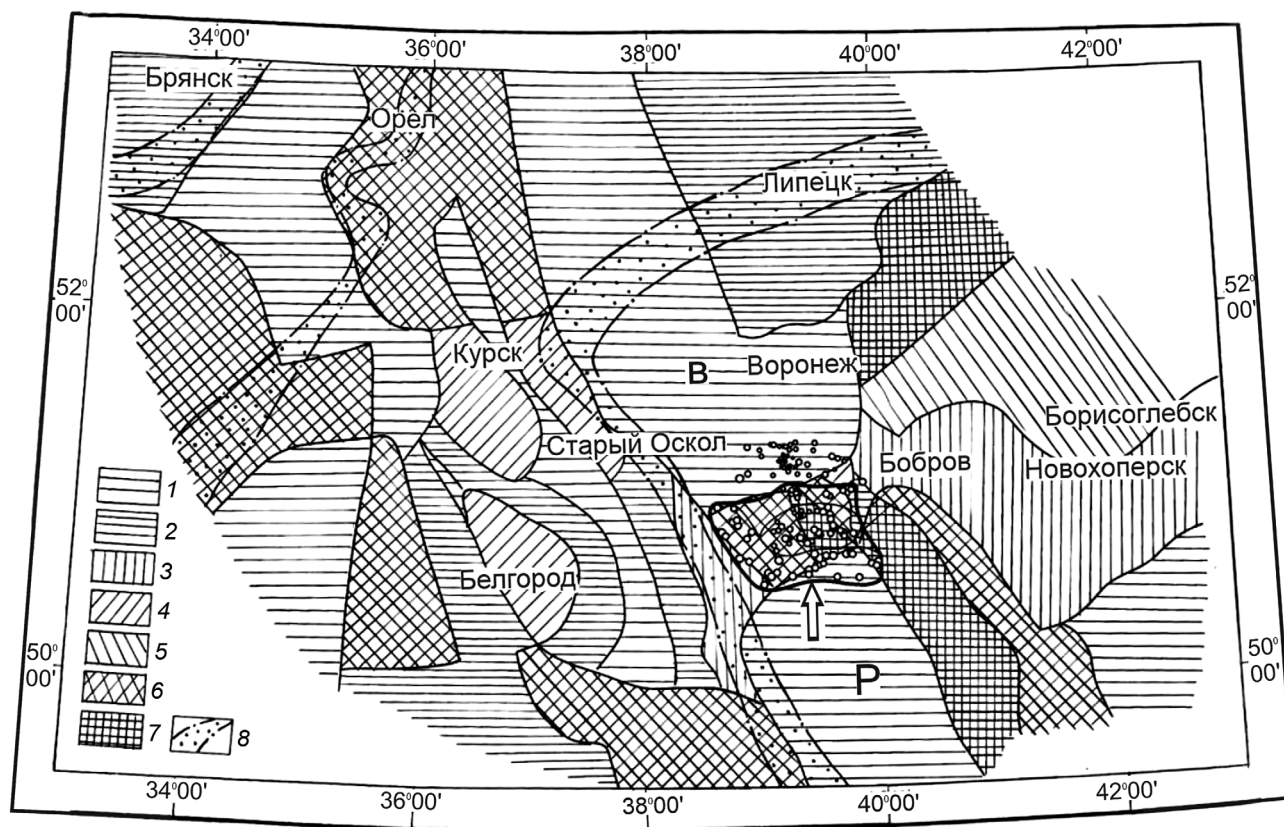


Рис. 6. Схема типов земной коры Воронежского кристаллического массива по геофизическим данным [Семенов и др., 2016]. Типы земной коры: 1 — гранитоидный (В — Воронежский блок, Р — Россошанский блок), 2 — гранито-диоритовый, 3 — диоритовый, 4 — гранито-базитовый, 5 — диорито-базитовый, 6 — гранито-диорито-базитовый, 7 — метабазитовый; 8 — границы геоблоков. Стрелкой показан оконтуренный участок дробления земной коры с эпицентрами землетрясений

восточнее. Кроме того, здесь выделяется небольшой участок метабазитовой коры.

II. Центральная область характеризуется более высоким сейсмическим потенциалом. За исследуемый период здесь произошло 36 землетрясений, но они более низкого энергетического класса (5–8). Выделившаяся при этом энергия составила $21,7 \cdot 10^7$ Дж. Эта область включает все Пуховское новейшее поднятие и Евдаковский прогиб. Земная кора характеризуется гранито-диорито-базитовым составом на западе и востоке, и метабазитовым — в центре области. И Центральная и Северная сейсмические области находятся в пределах южной части древней Лосевской шовной зоны.

III. Южная область — наиболее сейсмически активная по интенсивности землетрясений. Здесь зарегистрировано 35 землетрясений только 7–8 энергетических классов. Выделившаяся при этом энергия составила $129,5 \cdot 10^7$ Дж. Эта область включает северную часть новейшего Каменского поднятия и восточную часть Репьевского поднятия. Так же, как в Северной области, здесь преобладают два типа коры — гранито-диорито-базитовый на западе, гранитоидный — на востоке. В структуре фундамента — это зона Ряжско-Кантемировского разлома.

Таким образом, на исследуемой территории наблюдается затухание сейсмической активности

с юга на север. Это может указывать на то, что здесь субмеридиональное сжатие с юга более эффективно. Наибольшее количество землетрясений приурочено к Южной и Центральной сейсмическим областям, относящимся к новейшему Острогжскому поднятию. Внутри этих областей эпицентры землетрясений локализованы на участках метабазитового состава земной коры, как наиболее плотной и вызывающей большее сопротивление деформациям, по сравнению, с гранитоидной и гранито-диорито-базитовой. Наряду с этим в распределении эпицентров наиболее крупных землетрясений видна их приуроченность к Ряжско-Кантемировскому разлому фундамента. На основании этого можно предполагать, что неоднородности фундамента (где важную роль играют метабазиты) в сочетании с крупным древним разломом и со сдвиговыми деформациями на разноглубинных уровнях обуславливают сейсмическую активность этой территории.

Заключение. Сложные геодинамические условия при формировании новейших структур на территории, прилегающей с севера и юга к Лискинской зоне разлома, а также их сейсмическая характеристика, латеральная гетерогенность кристаллической коры этой территории позволяют сделать заключение о причинах проявления здесь активной сейсмичности.

В Лискинской зоне происходит сопряжение крупных различно развивающихся новейших структур — в условиях субмеридионального сжатия Острогожского поднятия и в условиях субширотного растяжения Окско-Донского прогиба. Границей между ними является Масальский прогиб, приуроченный к зоне древнего, долгоживущего Лискинского разлома, представляющего на новейшем этапе взброс с правосдвиговой составляющей. Установленное разнонаправленное субмеридиональное сжатие, выраженное в морфологии и строении новейших структур, объясняет и деформации палеозойских и мезозойских пород, новейших отложений, рельефа, и смещение русла Дона к Правобережью, и вырождение Масальского прогиба, а также ундуляцию Евдаковского прогиба. Среди новейших структур наибольшее количество эпицентров землетрясений приурочено к Пуховскому и Каменскому поднятиям и разделяющему их Евдаковскому прогибу. И здесь существенное значение имеют внутренние глубинные неоднородности земной коры и в частности фундамента. Раздробленность земной коры, заложенная в архее-протерозое, привела к появлению разноплотностных и разновысотных блоков, различно реагирующих на новейшие тектонические

напряжения. Так, эпицентры землетрясений концентрируются преимущественно в блоках с метабазитовым типом коры. Помимо вещественных неоднородностей земной коры, значение имеют древние разломы фундамента, особенно представляющие собой границы мегаблоков и блоков, а также имеющие сдвиговый характер. Среди них по приуроченности к нему эпицентров землетрясений наибольшую роль играет Ряжско-Кантемировский разлом. Возможно, к нему приурочена граница Пуховского и Каменского поднятий — Евдаковский прогиб. Фундамент Пуховского поднятия, приподнятый относительно прилегающих территорий, является барьером, или препятствием для субмеридионально ориентированных напряжений сжатия, что вызывает деформации разновозрастных горизонтов чехла и рельефа на Лео- и Правобережье Дона.

Таким образом, на территории юго-восточной части Восточно-Европейской платформы выделенные новейшие структуры и глубинные неоднородности земной коры позволили установить важный неотектонический процесс — столкновение двух встречных субмеридиональных напряжений, которые вызвали активизацию сейсмичности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бачманов Д.М., Кожурин А.И., Трифонов В.Г. База данных активных разломов Евразии // Геодинамика и тектонофизика. 2017. Т. 8, № 4. С. 711–736.
2. Геологическая карта СССР масштаба 1: 200 000. Серия Брянско-Воронежская. Лист М-37-Х. Объяснит. зап. М.: Недра, 1969. 53 с.
3. Ежова И.Т., Ефременко М.А., Трегуб А.И. Сейсмическая активность и неотектоника Воронежского кристаллического массива // Вестник Воронеж. гос. ун-та. Сер. Геол. 2010. № 1. С. 229–232.
4. Ефременко М.А., Рогожин Е.А. Геофизические поля и землетрясения на территории Воронежского кристаллического массива // Геофизические исследования. 2010. Т. 11, № 3. С. 57–72.
5. Копи М.Л. Мобилистическая неотектоника платформ Юго-Восточной Европы // Отв. ред. академик Ю.Г. Леонов. М.: Наука, 2004. 340 с. (Тр. ГИН РАН. Вып. 552).
6. Космотектоническая карта Восточно-Европейской платформы и ее обрамления. Ред. академик В.Е. Хаин, авт. Д.М. Трофимов и др. М.: ВСЕГЕИ, 1989.
7. Лаврушин Ю.А., Чистякова И.А., Кураленко Н.П. и др. Дивногорское гляциотектоническое сооружение: строение, деформации ледникового ложа и предпосылки для последующего рельефообразования // Бюлл. комис. по изучению четвертич. периода. 2012. № 72. С. 5–27.
8. Литосфера Воронежского кристаллического массива по петрофизическим и геофизическим данным / Под ред. член.-корр. РАН Н.М. Чернышова. Воронеж: Научная книга, 2012. 326 с.
9. Макаров В.И. О геодинамических условиях формирования Окско-Донского прогиба и Окско-Цнинского вала (Русская плита) // Изв. вузов. Геол. и разведка. 2001. № 1. С. 43–53.
10. Макарова Н.В., Макаров В.И., Корчуганова Н.И. и др. Окско-Донской прогиб — современная геодинамическая зона Восточно-Европейской платформы // Изв. вузов. Геол. и разведка. 2002. № 2. С. 3–13.
11. Надежка Л.И., Ефременко М.А., Рогожин Е.А., Семенов А.Е. О возможных причинах локальных землетрясений на территории Воронежского кристаллического массива // Структура, свойства, динамика, и минерагения литосферы Восточно-Европейской платформы // Матер. XIV Всерос. совещ. Воронеж: Научная книга, 2010.
12. Надежка Л.И., Пивоваров С.П., Ефременко М.А., Семенов А.Е. О землетрясениях на территории Воронежского кристаллического массива // Вестн. Воронеж. ун-та. Геология. 2010. № 1. С. 233–242.
13. Раскатов Г.И., Лукьянов В.Ф., Старухин А.А. и др. Тектоника восточной части Воронежского кристаллического массива и его осадочного чехла. Воронеж, 1976. 120 с.
14. Семенов А.Е., Золототрубова Э.И., Надежка Л.И., Ефременко М.А. Геолого-геофизическая характеристика Лискинской сейсмически активной зоны. «Глубинное строение, минерагения, современная геодинамика и сейсмичность Восточно-Европейской платформы и сопредельных регионов» // Матер. XX Всерос. конф. Воронеж: Научная книга, 2016. С. 349–353.
15. Старухин А.А. Неотектоника восточного крыла Среднерусской антеклизы и прилегающей части Окско-Донской впадины: Автореф. канд. дисс. Воронеж, 1973. 25 с.
16. Трегуб А.И. Неотектоника территории Воронежского кристаллического массива. Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2002. 220 с.

Статья поступила в редакцию 07.03.2023,
одобрена после рецензирования 22.03.2023,
принята к публикации 22.07.2023