

УДК 550.34.016

## ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ПОЛЯ И ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ ВОРОНЕЖСКОГО КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО МАССИВА

© 2010 г. М.А. Ефременко<sup>1,2</sup>, Е.А. Рогожин<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Геофизическая служба РАН, г. Москва, Россия*

<sup>2</sup> *Воронежский государственный университет, г. Воронеж, Россия*

<sup>3</sup> *Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, Россия*

Детальные сейсмологические наблюдения на Воронежском кристаллическом массиве (ВКМ) показали, что южная часть древней Восточно-Европейской платформы проявляет явную сейсмическую активность. В основном регистрируются низкомагнитудные землетрясения с очагами в верхней коре, положение гипоцентров которых по большей части контролируется крупными тектоническими нарушениями. Особое внимание уделено инструментально зафиксированному 5-балльному Никольскому землетрясению (31.03.2000 г.,  $M=3.8$ ), которое вместе с известными историческими событиями отражает значительную сейсмическую активность территории ВКМ. Четко прослежена ритмичность временного распределения выделившейся сейсмической энергии с периодом примерно 2 года. Показана приуроченность эпицентров зарегистрированных местных землетрясений к градиентным зонам и аномалиям геофизических полей (магнитного и гравитационного), связанным с крупнейшими глубинными неоднородностями земной коры ВКМ.

**Ключевые слова:** Воронежский кристаллический массив (ВКМ), сейсмичность, землетрясения, энергетический класс, тектонические нарушения, геофизические поля, магнитное поле, гравитационное поле

### Введение

В средней части Воронежского кристаллического массива (ВКМ) силами геологического факультета Воронежского государственного университета в содружестве с Геофизической службой РАН и Институтом физики Земли РАН создана региональная сейсмологическая сеть, включающая шесть цифровых станций и одну аналоговую. За период с 2000 г. по настоящее время зафиксировано около 200 местных землетрясений разных энергетических классов (от 3 до 10). В статье приводятся результаты анализа полученных записей событий, которые вместе с известными историческими землетрясениями [Новый..., 1977] характеризуют уровень сейсмической активности района.

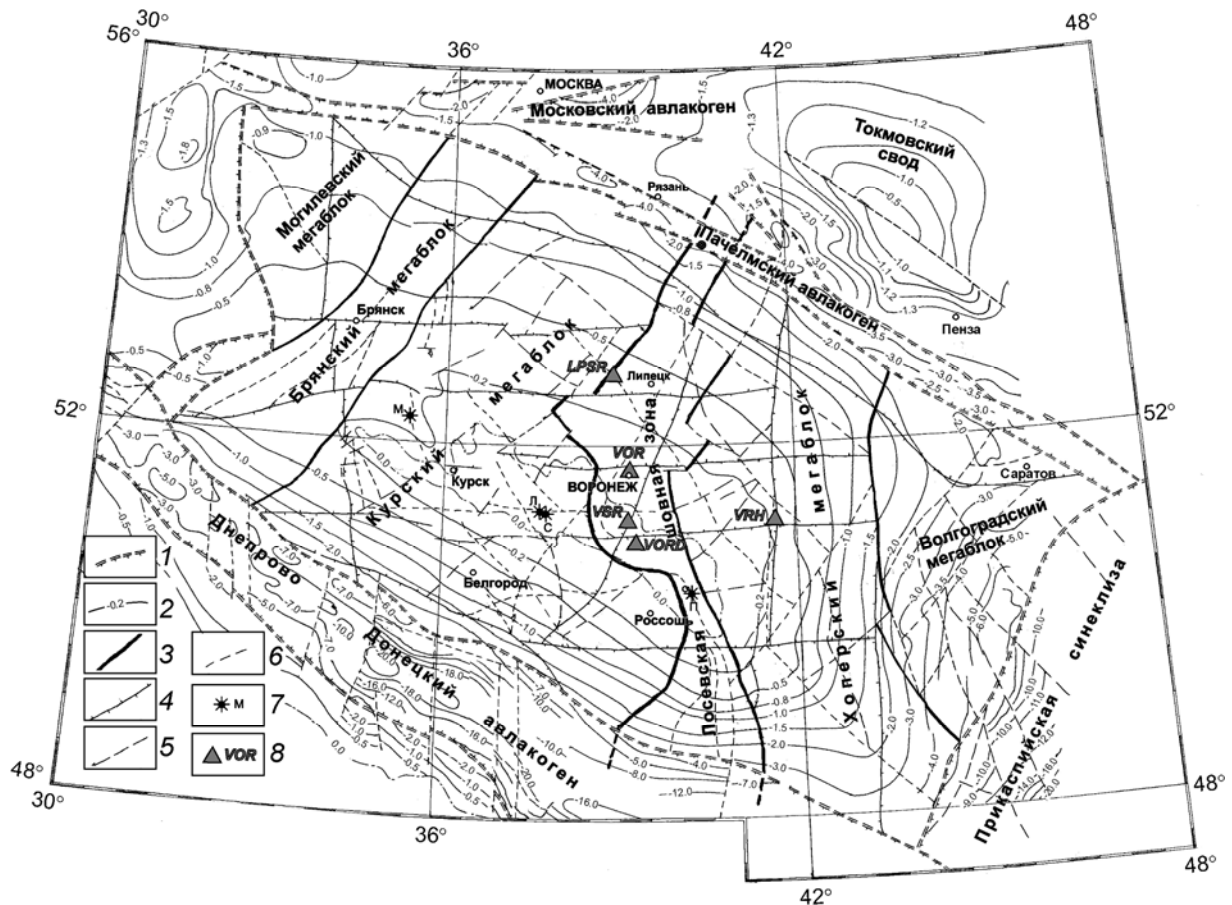
Сейсмологическими и макросейсмическими методами изучено и произошедшее в период инструментальных наблюдений сравнительно сильное Никольское землетрясение (31.03.2000 г.,  $M=3.8$ ), зарегистрированное тремя местными сейсмическими станциями, эпицентр которого приурочен к зоне активного Новохоперского разлома.

Для выяснения структурной позиции эпицентров зарегистрированных местных землетрясений был выполнен комплексный анализ геологического строения ВКМ в сопоставлении с основными геофизическими полями – гравитационным и магнитным. На основании этого анализа делаются выводы о приуроченности эпицентров к градиентным зонам и аномалиям геофизических полей, связанным с крупнейшими глубинными неоднородностями земной коры ВКМ.

### Структурное положение и геологическое строение Воронежского кристаллического массива

Воронежский кристаллический массив представляет собой погребенный выступ (горст) пород архейского и протерозойского возраста, слагающих кристаллический фундамент одноименной антеклизы. Границами антеклизы, занимающей центральную часть древней Восточно-Европейской платформы (ВЕП) [Афанасьев и др., 1977], служат внутриплатформенные авлакогены – Днепровско-Донецкий на западе и юго-западе, Пачелмский на северо-востоке, Московский на севере. С юго-востока (на границе с Прикаспийской синеклизой) антеклиза ограничена региональными уступами (сбросами) в рельефе кристаллического фундамента (рис. 1). С поверхности ВКМ покрыт чехлом платформенных пород в основном терригенного состава. Мощность чехла минимальна в сводовой части антеклизы, где она составляет не более 70 м; на крыльях мощность возрастает до 800 и более метров.

Большая часть территории ВКМ характеризуется равнинным рельефом с высоты 150–250 м. Только в долинах рек абсолютные отметки рельефа дневной поверхности понижаются до 60–70 м.



**Рис. 1.** Схема рельефа и тектонических нарушений кристаллического фундамента Воронежского кристаллического массива

1 – условные границы крупных структур Восточно-Европейской платформы; 2 – изогипсы фундамента; 3 – границы основных структур Воронежского кристаллического массива; 4–6 – тектонические нарушения первого (4), второго (5), третьего (6) порядка; 7 – карьеры: М – Михайловский, П – Павловский, Л – Лебединский, С – Стойлинский; 8 – сейсмические станции (VOR – “Воронеж”, VRH – “Новохоперск”, VSR – “Сторожевое”, VORD – “Дивногорье”, LPSR – “Галичья Гора”)

Кристаллический фундамент ВКМ представлен породами архея и нижнего протерозоя. В соответствии с современными геолого-геофизическими данными, ВКМ включает в разной мере эродированные крупные гетерогенные структуры – Могилевский, Брянский, Курский, Хоперский, Волгоградский мегаблоки и Лосевскую шовную зону, разделяющую Курский и Хоперский мегаблоки.

Хоперский и Волгоградский мегаблоки сложены породами воронцовской серии нижнего протерозоя, представленными ритмично переслаивающимися сланцами, в том числе углеродсодержащими, метапесчаниками, метаалевролитами, изредка метаэффузивами. На участках глубокого метаморфизма породы серии превращены в графитовые и биотит-плагиоклазовые гнейсы. Они вмещают многочисленные интрузии базит-гипербазитовых тел мамоновского комплекса и гранитоидов бобровского комплекса.

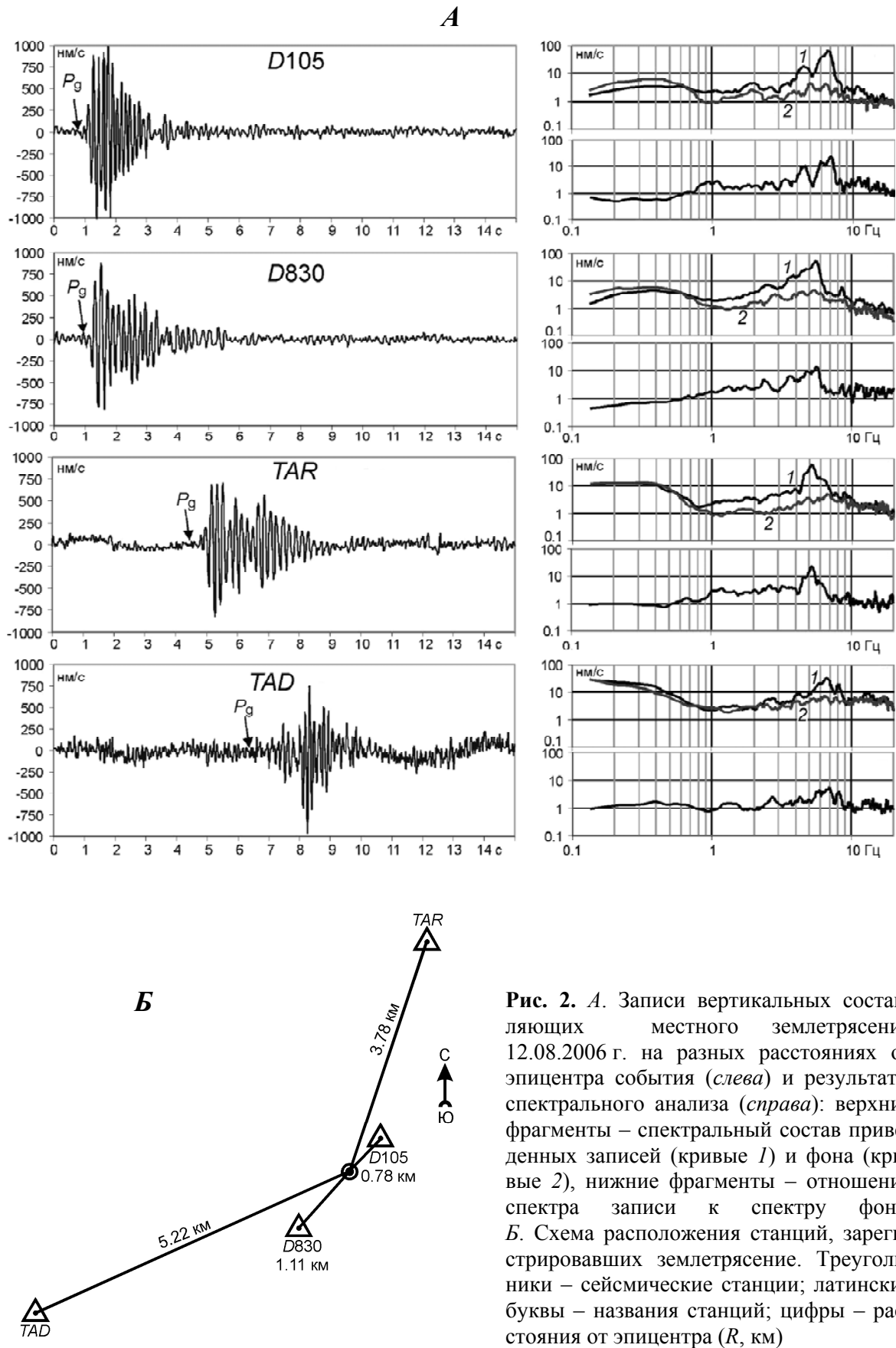
Могилевский, Брянский и Курский мегаблоки включают ряд макроблоков второго порядка, структурно-вещественные комплексы которых представлены парагенезисом архейских зеленокаменных поясов и гранито-гнейсовых куполов (михайловская серия верхнего архея и обоянский комплекс нижнего архея). Для этих макроблоков характерно широкое развитие раннекарельских рифтогенных структур (Михайловская, Орловско-Оскольская и др.), наследующих структурный план позднеархейских зеленокаменных поясов.

Крупномасштабная структура первого порядка – Лосевская шовная зона (ЛШЗ) – характеризуется специфическим набором осадочно-метаморфических и вулканогенно-интрузивных формаций. В ее северо-восточной части это породы лосевской серии верхнего архея – нижнего протерозоя (метадациты, метабазальты, амфиболиты, ортосланцы основного состава), прорванные биотитовыми гранитами усманского комплекса и массивами роговообманковых габбро рождественского комплекса, а в западной – автохтонные метасоматические гранитоиды павловского комплекса, разделенные сильно мигматизированными (до темных мигматитов) породами архейского субстрата.

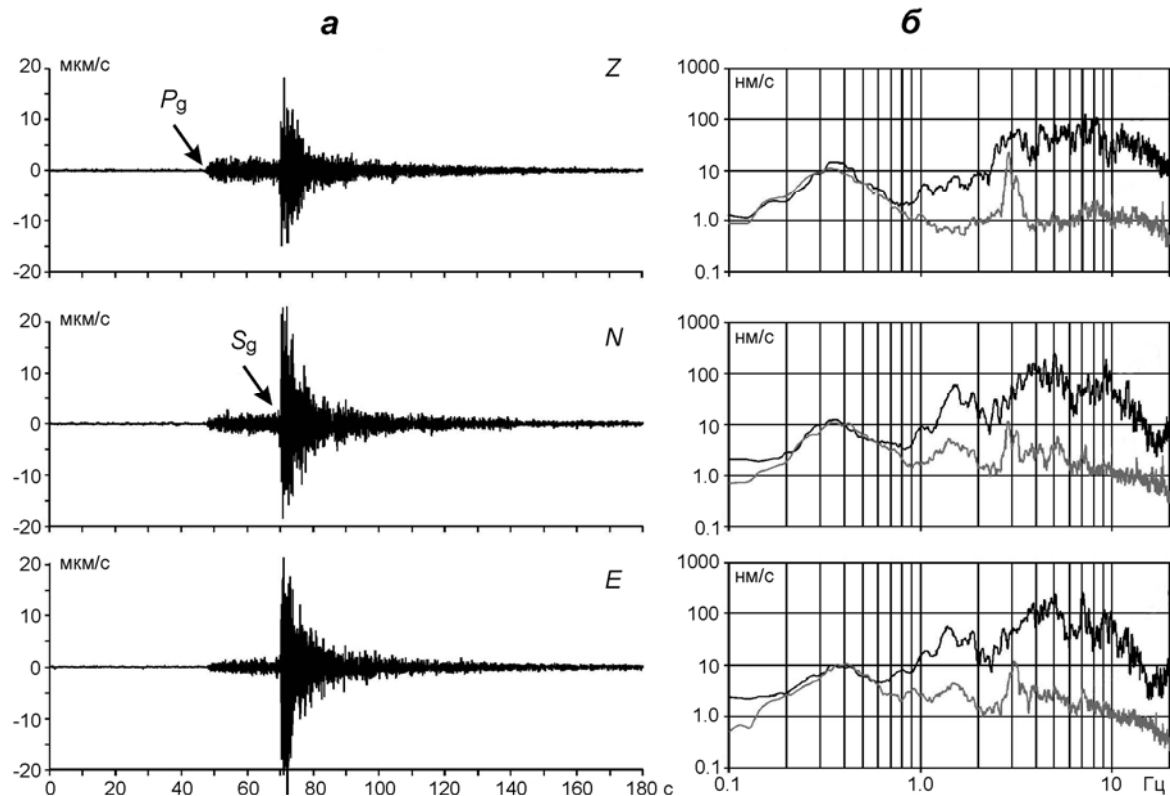
Кристаллический фундамент осложнен многочисленными тектоническими нарушениями различного ранга (см. рис. 1). Разломы различны по времени, глубине заложения, характеру тектонических движений по ним. Наиболее крупные зоны разломов имеют сложное внутреннее строение, отчетливо выражаются в гравитационном и магнитных полях и разграничивают структуры с различной историей геологического развития. Геологические данные свидетельствуют о неоднократном обновлении тектонических разломов на различных стадиях развития региона. Подтверждением активности разломов являются землетрясения, которые в течение последних 200 лет неоднократно происходили на рассматриваемой территории [Новый..., 1977; Афанасьев и др., 1977; Землетрясения..., 2007].

### **Некоторые характеристики инструментально зарегистрированных землетрясений**

Как было отмечено выше, на территории ВКМ функционирует региональная сеть, состоящая из шести цифровых сейсмических станций и одной аналоговой [Землетрясения..., 2007]. В период с 2000 г. по настоящее время станциями сети зафиксировано около 200 местных землетрясений разного энергетического класса [Надежка, Вторников, 2006]. Записи вертикальных составляющих одного из них (местное землетрясение 12.08.2006 г.,  $K_p=2$ ), зарегистрированного четырьмя станциями сети, удаленными от эпицентра на расстояние от 0.7 до 5.2 км, вместе с результатами спектрального анализа представлены на рис. 2. Можно видеть, что максимальные значения амплитуд отмечаются в диапазоне частот 6–7 Гц.



**Рис. 2.** А. Записи вертикальных составляющих местного землетрясения 12.08.2006 г. на разных расстояниях от эпицентра события (слева) и результаты спектрального анализа (справа): верхние фрагменты – спектральный состав приведенных записей (кривые 1) и фона (кривые 2), нижние фрагменты – отношение спектра записи к спектру фона. Б. Схема расположения станций, зарегистрировавших землетрясение. Треугольники – сейсмические станции; латинские буквы – названия станций; цифры – расстояния от эпицентра ( $R$ , км)



**Рис. 3.** Волновые формы (а) трех компонент записи землетрясения 22.11.2009 г., зарегистрированного станцией *VSR* ( $K_p=9$ ). *Z* – вертикальная компонента, *N* – горизонтальная компонента “север–юг”, *E* – горизонтальная компонента “восток–запад”,  $P_g$ ,  $S_g$  – первые продольная и поперечная волны в гранитном слое; б – амплитудно-частотные спектры записи (верхние кривые) и фона (нижние кривые) для тех же компонент

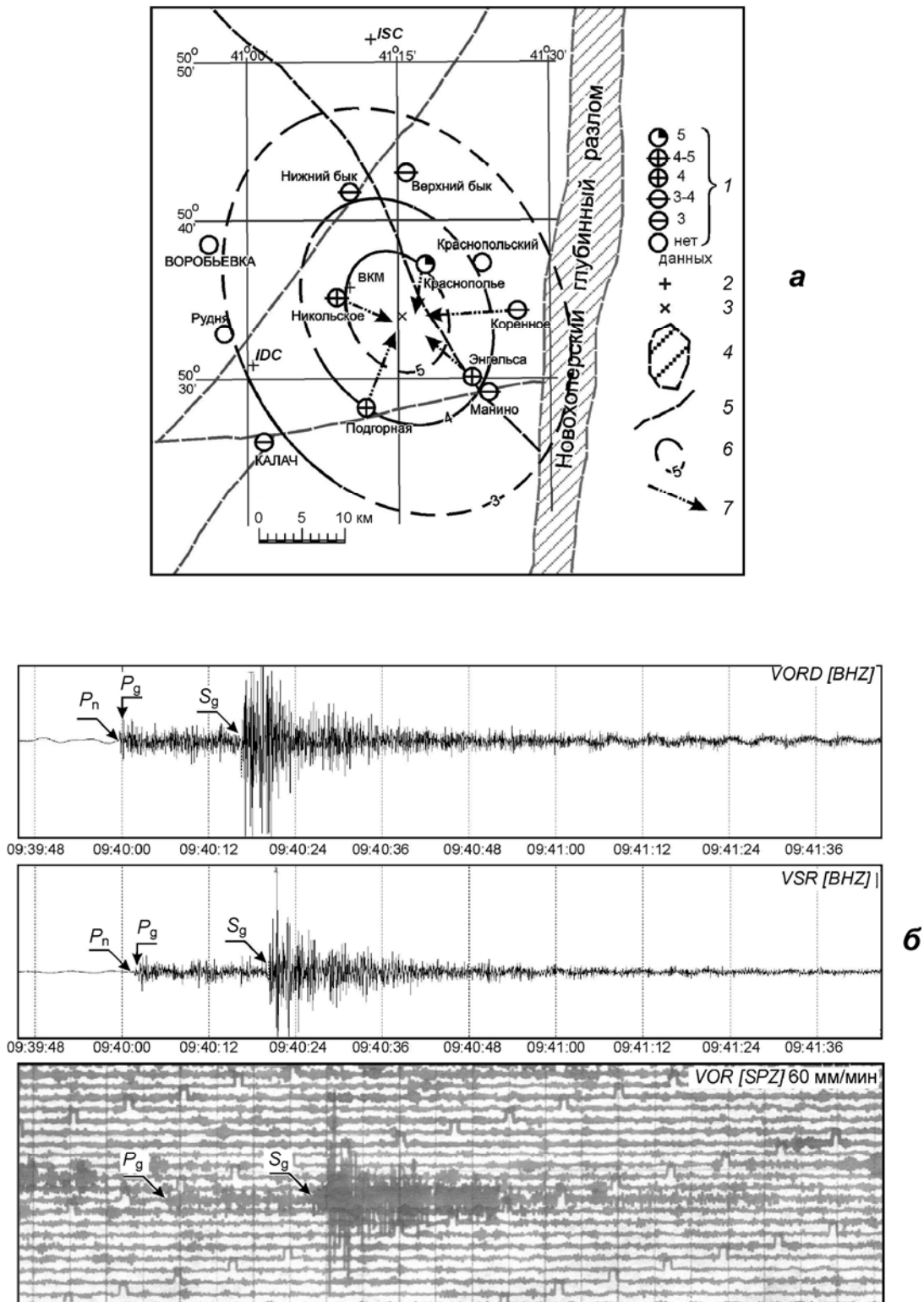
Волновые формы трех составляющих записи землетрясения, которое произошло 22.11.2009 г. на расстоянии примерно 200 км от Воронежа и было зарегистрировано станцией *VSR* (положение станции см. на рис. 1), приведены на рис. 3. Это землетрясение относится к энергетическому классу  $K_p=9$ . Можно видеть, что максимальный уровень амплитуд для рассматриваемого события отмечается в диапазоне частот 3–10 Гц.

Анализ рассмотренных и ряда других событий свидетельствует, что в волновых формах записей местных землетрясений с очагами в литосфере ВКМ преобладают относительно высокочастотные составляющие в диапазоне частот 3–10 Гц.

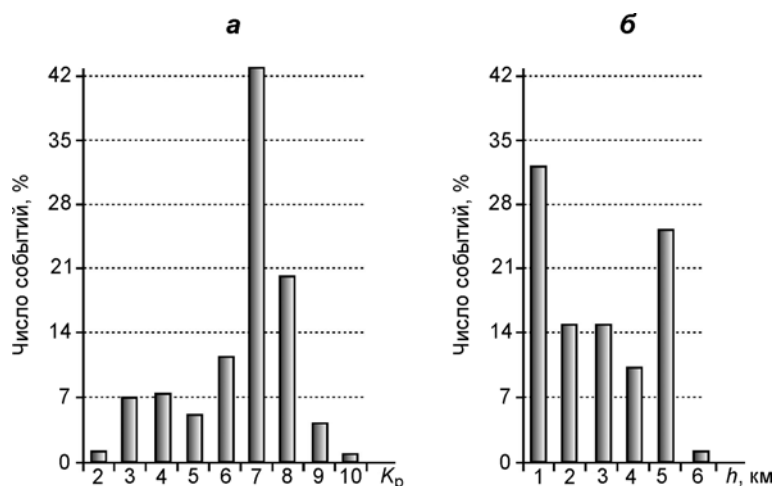
В период инструментальных наблюдений попадает и относительно сильное Никольское землетрясение 31.03.2000 г. с  $M=3.8$  ( $K_p=10.8$ ), которое было зарегистрировано тремя сейсмическими станциями местной сети [Надежка, Дубянский, 1994; Надежка и др., 2005, 2006]. Волновые формы этого землетрясения приведены на рис. 4.

Никольское землетрясение произошло в краевой части Калач–Эртильского блока, на расстоянии примерно 20 км от г. Калач. Его эпицентр приурочен к зоне действия активного Новохоперского разлома [Надежка, Дубянский, 1994; Надежка и др., 2005, 2006]. Макросейсмические данные по этому землетрясению получены с использованием стандартных листов опроса, проведенного в девяти населенных пунктах, где преобладают одноэтажные деревянные постройки, обложенные кирпичом. Всего было опрошено около ста человек. Результаты опроса позволили согласовать координаты эпицентра землетрясения, определенные по инструментальным данным, и построить схему изосейст.

Отметим, что такое землетрясение – довольно редкое явление на платформе. В основном зарегистрированные события являются толчками 6–9 энергетических классов.



**Рис. 4.** Схема эпицентральной зоны Никольского землетрясения 31.03. 2000 г. и примеры записей Z-компонент, зарегистрированных станциями *VORD*, *VSR*, *VOR* (б). Положение станций см. на рис. 1. На фрагменте *а*: 1 – интенсивность сотрясений в баллах; 2 – эпицентр по инструментальным данным; 3 – макросейсмический эпицентр; 4 – глубинный разлом первого порядка; 5 – тектонические нарушения более высокого порядка; 6 – изосейсты; 7 – азимуты на эпицентр (по макросейсмическим описаниям очевидцев). На фрагменте *б*:  $P_n$  – первая объемная продольная волна, отраженная от границы Мохоровичича,  $P_g$ ,  $S_g$  – первые продольная и поперечная волны в гранитном слое

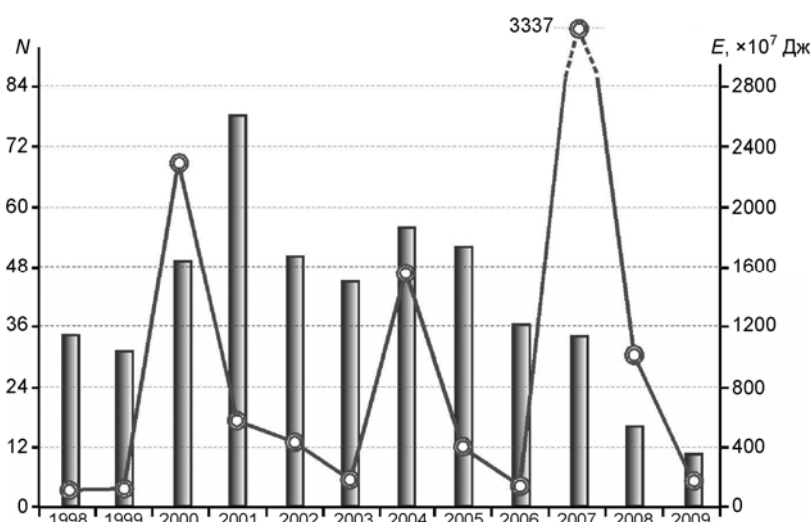


**Рис. 5.** Распределение числа местных землетрясений по классам  $K_p$ (а) и по глубине очага  $h$  (б)

Гистограмма распределения местных событий по энергетическому классу и глубине гипоцентра, приведенная на рис. 5, свидетельствует, что наиболее представительны землетрясения 6, 7 и 8 энергетических классов. Большинство землетрясений верхнекоревые с очагами на глубине, не превышающей 8 км (более 50% событий имеют глубину очага менее 3 км).

Анализ временного распределения числа землетрясений и выделившейся энергии свидетельствует о их неравномерности (рис. 6). Наибольшее число землетрясений приходится на 2001 и 2004 гг. Выделившаяся сейсмическая энергия распределена несколько иначе. Ее наиболее значимое количество выделилось в 2000, 2004 и 2007 гг. Интервалы 2001–2003 гг., 2005–2006 гг. и 2008–2009 гг. характеризуются минимумом выделившейся сейсмической энергии. Это позволяет говорить об определенной ритмичности временного распределения сейсмической энергии на территории ВКМ. Продолжительность отмечаемых ритмов составляет ~2–3 года.

Заметим, что ритмичность проявления сейсмической активности на ВЕП и, в частности, на ВКМ отмечается и при исследовании временного распределения исторических землетрясений. В ряде работ [Юдахин, Французова, 2001; Французова, Юдахин, 2003; Юдахин, 2004; Курскеев, Абаканов, 2007] отмечается, что двадцати–тридцатилетние



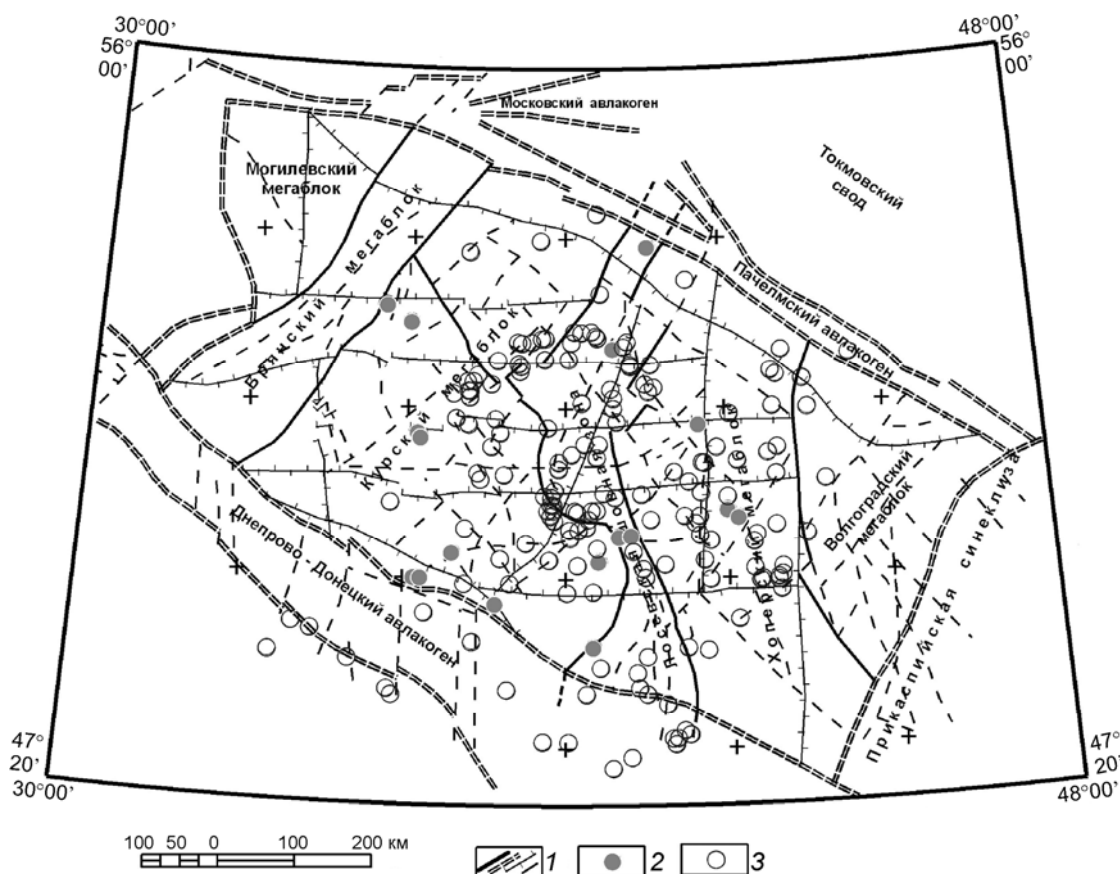
**Рис. 6.** Временные вариации количества землетрясений (столбцы, левая шкала) и выделившаяся сейсмическая энергия (линия, правая шкала) на территории ВКМ за период с 1998 по 2009 г.

интервалы относительно повышенной сейсмической активности сменяются пятидесяти–шестидесятилетними периодами ее относительного спада. Это указывает на волновой, нелинейный характер проявления сейсмичности, обусловленный, по-видимому, действием деформационных волн, порождаемых, возможно, надрегиональной системой напряжений.

Некоторые исследователи [Юдахин, 2004] обнаруживают также ритмичность в возникновении очагов землетрясений с периодами полугода, один год, два года, четыре года, шесть и четырнадцать лет. Такая ритмичность характерна как для горно-складчатых областей (например для Тянь-Шаня), так и для платформенных районов (например для Фенноскандии).

Ритмичность во временном ходе сейсмичности, отмеченная в разных геолого-геодинамических условиях, может свидетельствовать о глобальной природе волнового поля напряжений. В рассматриваемом нами случае волновые напряжения распространяются от границ ВЕП, представленных с одной стороны зонами спрединга в Северной Атлантике и Северном Ледовитом океане, с другой – Крымско-Кавказской и Карпатской зонами коллизии [Землетрясения..., 2007]. Причиной, порождающей напряжения в этих зонах, по-видимому, являются процессы, происходящие на больших глубинах в недрах Земли.

Сопоставление пространственного распределения эпицентров землетрясений с  $K_p \geq 6$  с тектоническими нарушениями эрозионного среза докембрия показало достаточно хорошую корреляцию проявлений слабой сейсмичности с положением отдельных участков крупных тектонических нарушений, в основном субширотного простирания (рис. 7).



**Рис. 7.** Схема основных разломов на поверхности пород докембрия и эпицентры землетрясений, зарегистрированных в 2003–2009 гг.

1 – разломы различного ранга; 2 – эпицентры исторических землетрясений по А.А. Никонову [Каталог..., 1999]; 3 – эпицентры землетрясений с  $K_p \geq 6$



Следует отметить, что значительное число эпицентров землетрясений концентрируется на отдельных участках разломов, образуя “пятна”, пространственно приуроченные к тектоническим узлам. Одно из таких явных сгущений приурочено к границе Курского мегаблока и Лосевской шовной зоны на участке характерного S-образного изгиба, имеющего северо-западное простирание (см. рис. 7). Другое сгущение эпицентров отмечено в северной части Курского мегаблока и Лосевской шовной зоны и приурочено к субширотному разлому. Наблюдаются также цепочки эпицентров вдоль разломов различного простирания. К примеру, целый ряд землетрясений в Хоперском мегаблоке тяготеет к зоне близмеридионально ориентированного разлома. Такая приуроченность эпицентров может рассматриваться как отражение связи современной сейсмической активности и характера раздробленности коры Воронежского кристаллического массива [Садовский и др., 1987; Рогожин, 2004].

Геодинамические и сейсмические процессы имеют определенные пространственно-временные и энергетические закономерности, изучение которых возможно по косвенным признакам. Кроме раздробленности земной коры к таким признакам могут быть отнесены мощность коры и отдельных ее слоев, гетерогенность физических свойств на разных глубинных уровнях, распределение напряжений в земной коре (надрегиональных, региональных, локальных). Названные особенности структуры коры находят свое отражение в геофизических полях (гравитационном, магнитном), сведения о которых в достаточно большом объеме имеются для территории ВКМ. Анализ пространственного распределения аномалий геофизических полей и эпицентров землетрясений и установление корреляции между ними позволяет определить положение сейсмогенерирующих структур или зон возможных землетрясений.

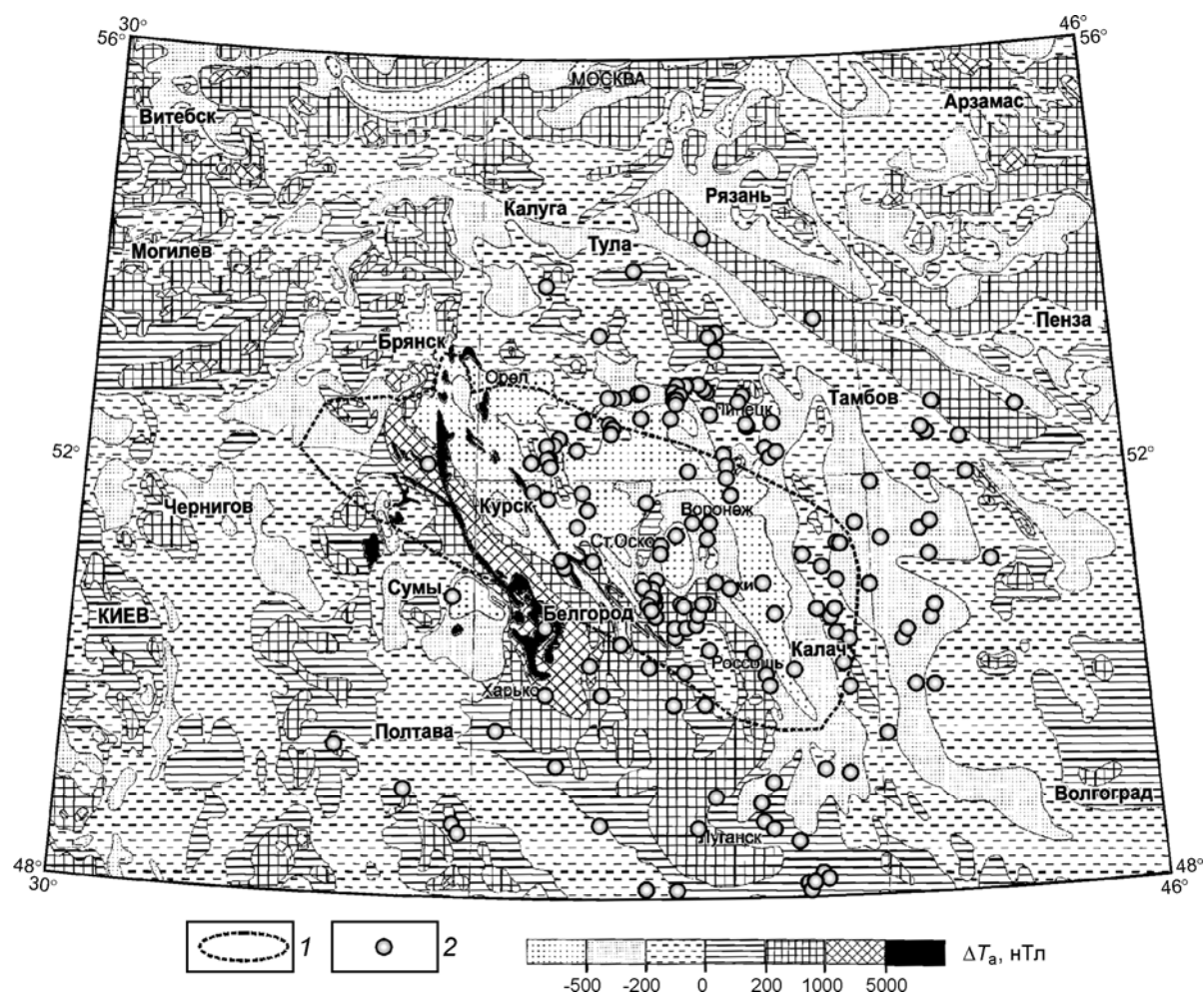
## **Геофизические поля и пространственное положение эпицентров землетрясений**

### *Магнитное поле*

Региональный фон магнитного поля  $\Delta T_a$  ВКМ в основном отрицательный, средний уровень интенсивности от  $-200$  до  $-400$  нТл (рис. 8). На этом фоне по линии Белгород–Курск–Брянск выделяется самая большая по размерам региональная положительная магнитная аномалия с интенсивностью от  $100$  до  $1000$  нТл. В южной части эта аномалия представляет собой широкую (до  $100$  км) полосу, сужающуюся в северо-западном направлении. В районе г. Брянска и к северу от него региональная аномалия распадается на отдельные максимумы, постепенно утрачивая четкость своих очертаний. Максимальная интенсивность региональной аномалии (до  $4000$  нТл) наблюдается в районе г. Белгород. Региональные минимумы, сопровождающие положительную магнитную аномалию, по-видимому, обусловлены нижней кромкой магнитных масс.

Природа рассматриваемой аномалии до сих пор однозначно не установлена. По одной из объясняющих версий аномалия – результат влияния глубинного магнитовозмущающего объекта, по другой – аномалия отражает изменение магнитных свойств гнейсов обоянской серии архея, выходящих в эрозионный срез докембрия. Расчеты показывают, что, если принять глубинную природу аномалии, то кромки возмущающего объекта должны залегать на глубине  $10$  км (верхняя кромка) и  $25$  км (нижняя кромка).

Картину магнитного поля центральной части ВКМ, выделяемой как мегаблок Курской магнитной аномалии (КМА), в значительной степени определяют локальные линейные магнитные аномалии высокой интенсивности (от десятков до сотен тысяч нанотеслов), образующие две зоны – юго-западную и северо-восточную. Первая из них приурочена к отмеченной выше положительной региональной аномалии, вторая – к отрицательной. При всей сложности конфигурации этих аномалий они имеют



**Рис. 8.** Схема геомагнитного поля ВКМ и его обрамления

1 – граница свода антеклизы; 2 – эпицентры землетрясений с  $K_p \geq 6$

преобладающее северо-западное простирание ( $320\text{--}330^\circ$  СЗ), которое к северу от  $52^\circ$  с.ш. сменяется на субмеридиональное (см. рис. 8).

Как уже отмечалось выше, северо-восточная полоса магнитных аномалий наложена на отрицательное региональное поле, благодаря чему отдельные аномалии, имеющие сложную конфигурацию, смотрятся очень контрастно.

Локальные линейные аномалии связаны с породами железорудной толщи. Пласты железорудных кварцитов выходят на поверхность эрозионного среза докембрия, глубина залегания их нижней границы составляет первые километры и лишь в отдельных случаях достигает 10 км. Таким образом, описанный тип локальных аномалий связан с существенными неоднородностями верхней части гранито-гнейсового слоя.

В целом участки магнитного поля невысокой интенсивности, на которых изодинамы имеют простой рисунок, соответствуют гнейсам, а участки с более изрезанными изолиниями – мигматитам. В центральной части региона ближе к востоку картируется полоса S-образной положительной магнитной аномалии интенсивностью 200–400 нТл, общая протяженность которой достигает 300 км при ширине от 20 до 30 км. По мнению ряда геологов [Афанасьев и др., 1977; Надежка, Дубянский, 1994], эта S-образная магнитная аномалия является западным фрагментом так называемой Лосевской шовной зоны, разделяющей два крупных мегаблока ВКМ – западный мегаблок КМА и восточный Хоперский мегаблок.

В пределах Хоперского мегаблока на фоне отрицательного регионального магнитного поля с интенсивностью от  $-200$  до  $-300$  нТл выделяется субмеридиональная ( $345^\circ$  СЗ) региональная аномалия слабой интенсивности (от  $-100$  до  $+100$  нТл). Ширина аномалии от 25 до 40 км, протяженность 350 км (см. рис. 8). Аномалия малоградиентна и скорее всего имеет глубинную природу. Предположительно, она связана с массивами гранитизированных гнейсов архея, залегающих под толщей песчано-сланцевых отложений протерозоя.

Изометричные аномалии небольших размеров (от первых квадратных километров до десятков) с интенсивностью от  $-200$  до 500 нТл в пределах Хоперского мегаблока отображают магнитные разности ультрамафитов мамонского и еланского комплексов, а вытянутые аномалии сложной конфигурации – габбродолериты новогольского комплекса. Большая часть этих локальных объектов выходит на поверхность эрозионного среза докембрия и выклинивается, а нижняя кромка, по данным моделирования, залегает на глубине до 10–15 км.

Рассмотренные региональные и локальные аномалии магнитного поля отражают латеральные различия магнитных свойств геологической среды рассматриваемого региона. Одни из них обусловлены вещественными неоднородностями верхней части кристаллической коры, другие – особенностями более глубоких ее горизонтов. Как первые, так и вторые указывают на латеральную гетерогенность кристаллической коры и четкую дискретность ее свойств.

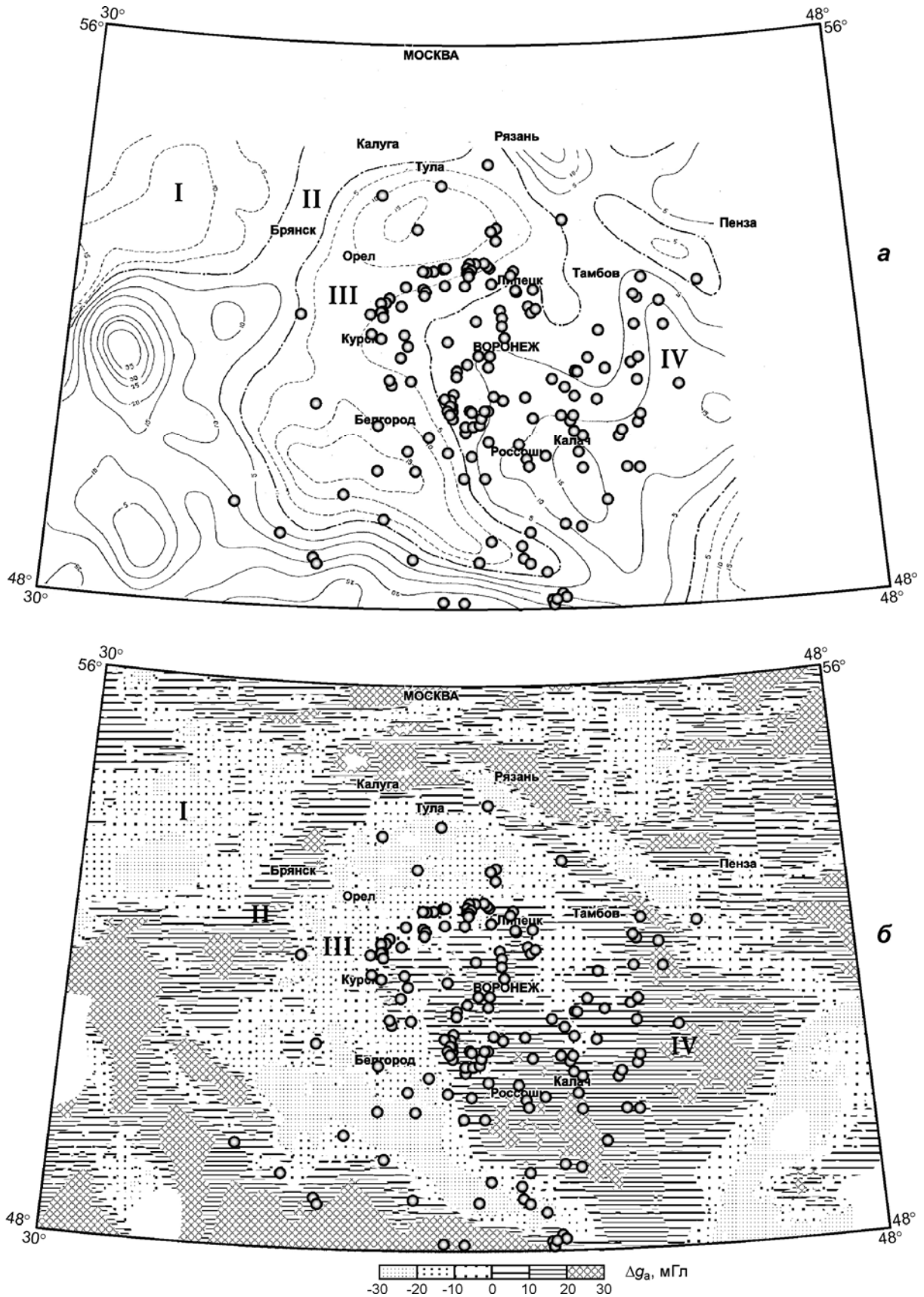
Сопоставление пространственного распределения эпицентров землетрясений с особенностями магнитного поля позволяет сделать важный вывод – в целом пространственное положение эпицентров землетрясений следует за региональным распределением магнитных аномалий. Значительная часть эпицентров землетрясений приурочена к краевым частям как региональных, так и локальных магнитных аномалий. Обращает на себя внимание тот факт, что в пределах Хоперского мегаблока, характеризующегося в целом отрицательным магнитным полем, большинство эпицентров приурочено к региональной слабоинтенсивной аномалии субмеридионального направления, имеющей глубинную природу. Липецко-Елецкая зона повышенной активности приурочена к региональной области смены интенсивности магнитного поля. Особо следует отметить приуроченность большого числа эпицентров землетрясений к зоне перегиба S-образной положительной магнитной аномалии (см. рис. 8).

### *Гравитационное поле*

Аномальное поле силы тяжести ВКМ (рис. 9) имеет зональное строение, выраженное чередованием крупных отрицательных и положительных аномальных зон. Среди них выделяются Северо-Западная (Могилевская) и Центральная (Курская) – отрицательные, Западная (Брянская) и Восточная (Воронежско-Волгоградская) – положительные аномалии (аномальные зоны). Три из них ориентированы под углом к оси Воронежской антеклизы, и только Курская региональная аномалия на севере и юге, где она осложнена гравитационным эффектом авлакогенов, имеет простирание, согласное с бортами антеклизы.

Переход между региональными аномальными зонами осуществляется через полосы интенсивных горизонтальных градиентов, имеющих разную ширину и осложненных более мелкими положительными и отрицательными гравитационными аномалиями.

Несмотря на весьма сложную структуру аномального гравитационного поля ВКМ (см. рис. 9), в первом приближении оно может рассматриваться как сочетание четырех региональных аномалий, осложненных локальными положительными и отрицательными аномалиями.



**Рис. 9.** Схемы гравитационного поля ВКМ и сопредельных территорий. *a* – аномальные зоны, выделенные с учетом региональных особенностей поля: I – Могилевская, II – Брянская, III – Курская, IV – Воронежско–Волгоградская; *б* – некоторые локальные особенности гравитационного поля. На оба фрагмента вынесены эпицентры землетрясений с  $K_p \geq 6$  (кружки)

Сопоставление распределения эпицентров землетрясений с особенностями гравитационного поля показывает, что значительное число землетрясений происходит в зоне сочленения крупных региональных аномалий силы тяжести – Курской и Восточной (см. рис. 9). В целом Восточная аномальная зона поля силы тяжести характеризуется повышенным количеством эпицентров землетрясений, что отражает геодинамическую активность этой части рассматриваемой территории.

Более детальный анализ особенностей гравитационного поля и пространственного положения эпицентров землетрясений показал, что многие эпицентры землетрясений тяготеют к краевым частям локальных аномалий. Особенно ярко это выражается в пределах Хоперского мегаблока, где локальные аномалии, как правило, обусловлены интрузивными телами.

В целом изменения гравитационного поля, отражающие плотностные неоднородности литосферы, хорошо коррелируют с пространственным положением эпицентров землетрясений.

### Выводы

Детальные сейсмологические наблюдения на Воронежском кристаллическом массиве свидетельствуют о явной сейсмической активности южной части древней Восточно-Европейской платформы. Большинство регистрируемых землетрясений имеют низкую магнитуду. Их очаги сосредоточены в верхах коры и по большей части контролируются крупными тектоническими нарушениями.

Особого внимания заслуживает инструментально зарегистрированное и изученное макросейсмическими методами 5-балльное Никольское землетрясение, произошедшее 31.03.2000 г. с магнитудой 3.8, которое вместе с известными историческими событиями подтверждает значительную сейсмическую активность территории ВКМ.

Прослеживается ритмичность (период примерно 2 года) во временном распределении выделившейся сейсмической энергии.

При сопоставлении пространственного распределения эпицентров землетрясений с аномалиями магнитного и гравитационного поля отмечена приуроченность значительной части эпицентров к зоне сочленения крупнейших региональных аномалий гравитационного поля, отражающих неоднородность литосферы региона. Следует отметить также, что подавляющее большинство эпицентров землетрясений тяготеет к зонам региональных вариаций магнитного поля, связанным с системами крупных тектонических нарушений. С привлечением сведений о градиентных зонах геофизических полей (магнитного и гравитационного), связанных с крупнейшими глубинными неоднородностями земной коры ВКМ, показана приуроченность к этим зонам эпицентров зарегистрированных местных землетрясений.

### Благодарности

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 08-05-00103), Минобрнауки (проект 2.1.1./4637) и Президиума РАН (Программа № 4).

### Литература

*Афанасьев Н.С., Дубянский А.И., Закутский С.Н., Надежка Л.И.* О соотношении геолого-структурных особенностей докембрийского фундамента ВКМ с глубинным строением земной коры // Вопросы геологии и металлогении докембрия ВКМ. Воронеж: Изд-во ВГУ, 1977. С.31–41.

- Землетрясения и микросейсмичность в задачах современной геодинамики Восточно-Европейской платформы / Под ред. Н.В. Шарова, А.А. Маловичко, Ю.К. Щукина. Петрозаводск, 2007. С.289–305.
- Курскеев А.К., Абаканов Т.Д. Ритмы и энергетика современных геодинамических и сейсмических процессов. Алматы: Изд-во “Эверо”, 2007. 64 с.
- Надежка Л.И., Вторников Е.Ю. Сейсмическая активность территории Воронежского кристаллического массива по результатам экспериментальных наблюдений // Активные геологические и геофизические процессы в литосфере / Под ред. Н.М. Чернышова, А.А. Маловичко. Воронеж, 2006. Т. 2. С.4–8.
- Надежка Л.И., Дубянский А.И. Аномалии некоторых физических параметров земной коры Воронежского кристаллического массива // Докл. РАН. 1994. Т. 336, № 6. С.823–825.
- Надежка Л.И., Сафронич И.Н., Пивоваров С.П., Габсатарова И.П., Михайлова Р.С., Бабкова Е.А. Никольское землетрясение // Землетрясения Северной Евразии в 2000 г. Обнинск, 2006. С.245–253.
- Надежка Л.И., Сафронич И.Н., Пивоваров С.П., Сорокин Б.А., Золототрубова Э.И. Воронежский кристаллический массив // Землетрясения Северной Евразии в 1999 г. Обнинск, 2005. С.190–194.
- Никонов А.А. Каталог тектонических землетрясений Центральной части Восточно-Европейской платформы // Геодинамика и геоэкология. Архангельск, 1999. С.271–273.
- Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. / Под ред. В.Н. Кондорской, Н.В. Шебалина. М.: Наука, 1977. 536 с.
- Рогожин Е.А. Блоковое строение земной коры Северной Евразии // Физика Земли. 2004. № 10. С.81–94.
- Садовский М.А., Болховитинов Л.Г., Писаренко В.Ф. Деформирование геофизической среды и сейсмический процесс. М.: Наука, 1987. 101 с.
- Французова В.И., Юдахин Ф.Н. Сопоставление ритмов платформенной и орогенной сейсмичности // Матер. Межд. конф. М.: ВНИИгеофизика, 2003. С.249–253 (CD-ROM).
- Юдахин Ю.Н. О волновых процессах в литосфере Земли // Геодинамика и геологические изменения в окружающей среде северных регионов. Архангельск, 2004. С.407–409.
- Юдахин Ю.Н., Французова В.И. Особенность проявления геодинамических процессов и внутриплитной сейсмичности на северо-западе Восточно-Европейской платформы // Современная геодинамика, глубинное строение и сейсмичность платформенных территорий и сопредельных регионов: Матер. Междун. конф. Воронеж, 2001. С.223–225.

#### Сведения об авторах

**ЕФРЕМЕНКО Марина Алексеевна** – младший научный сотрудник. Геофизическая служба РАН, Воронежский государственный университет, 394042, Воронеж, Ленинский проспект, 152. Тел.: (4732)557-844. E-mail: nadezhka@geophys.vsu.ru

**РОГОЖИН Евгений Александрович** – доктор геолого-минералогических наук, профессор, заместитель директора. Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, 123995, ГСП-5, Москва, Д-242, ул. Большая Грузинская, д. 10. Тел.: (499)254-87-15. E-mail: eurog@ifz.ru

## GEOPHYSICAL FIELDS AND EARTHQUAKES IN THE VORONEZH CRYSTALLINE SHIELD TERRITORY

М.А. Efremenko<sup>1,2</sup>, Е.А. Rogozhin<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Geophysical Survey of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Voronezh State University, Voronezh, Russia

<sup>3</sup> Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

**Abstract.** Detailed seismological observations in the Voronezh crystalline shield territory demonstrated reality of seismic activity in the south part of the ancient East-European platform. The registered earthquakes have mainly low magnitude and shallow depth and their hypocenters are controlled by major tectonic faults. The most important is the instrumentally registered Nikol'skoye event with intensity 5 degrees, which together with well known historical events proves significant modern seismic activity of the Voronezh shield. Recurrence seismic activations' period of about 2 years was determined. Position of epicenters of registered local earthquakes correlates with gradient zones and anomalies of potential (magnetic and gravity) fields, caused by regional deep inhomogeneities of the crust of the Voronezh crystalline shield.

**Keywords:** Voronezh crystalline massif, seismicity, earthquakes, power class, tectonic disturbances, magnetic field, gravity field.