

СТРУКТУРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РИСУНКА МАКРОТРЕЩИН ЮГО-ЗАПАДНОГО КРЫЛА ВОРОНЕЖСКОЙ АНТЕКЛИЗЫ КАК ИНДИКАТОРЫ РУДОГЕНЕЗА

С. Л. Шевырев*, А. О. Калашников**

*Воронежский государственный университет

**Геологический институт Кольского НЦ РАН

Поступила в редакцию 14 сентября 2010 г.

Аннотация. Исследованием массива макротрещин осадочного чехла Воронежской антеклизы получены четыре новых количественных параметра: плотность сети макротрещин по совокупной длине, плотность сети макротрещин по количеству, изотропность, фрактальная размерность Минковского. Установлены их корреляционные связи с зонами тектонической активизации фанерозоя Воронежской антеклизы и известными рудными объектами. Сделан вывод, что эти параметры можно использовать в качестве поискового критерия. Составленные карты полученных параметров позволили провести прогнозное районирование территории юго-западного склона Воронежской антеклизы.

Ключевые слова: макротрещиноватость, поиски рудных полезных ископаемых, геоинформатика.

Abstract. Four new quantitative variables are obtained by research of fractures array of the sedimentary cover of Voronezh antecline. There are: density of the fractures length, density of the fractures volume, isotropy and fractal dimension of Minkovsky. Correlation properties of these variables and zones of Phanerozoic tectonic movements and ore points are discovered. The main conclusion is: these variables of fracture network may be used as the exploration criteria of the Phanerozoic ore deposits. Maps of distribution of these variables made possible division into the districts in the most area of Voronezh antecline. These districts coincide with the most of the ore points of the studied area.

Key words: macrofracturing, prospecting of the ore deposits, GIS

Постановка проблемы

Необходимость возобновления поисковых работ на полиметаллы и каменные строительные материалы на юго-востоке Воронежской антеклизы уже указывалась [1]. Известно, что космические снимки высокого разрешения являются наиболее информативным, доступным и экономически выгодным исследовательским материалом. Разработка программного обеспечения, позволяющего автоматизировать трудоемкие расчеты параметров рисунка макротрещиноватости, специализированного под конкретные геолого-поисковые задачи, – нужное и перспективное направление в геоинформатике. Современные возможности автоматизации популярных ГИС и разработки расширений для них позволяют превратить настольную картографическую систему в мощный инструмент геологического дистанционного исследования.

Для дешифрирования использовались комплекты новых высококачественных космофотопланов масштаба 1 : 500 000, составленных во ВНИЦ «Природа» ГУГК в равноугольной проекции Гаусса – Крюгера на всю территорию Воронежской антеклизы. На фотопланах в трех вариантах (для 70-х, 80-х, 90-х годов соответственно) обобщены результаты многоканальных съемок, выполненных с орбитальных станций серии «Салют» и космических кораблей «Союз». Эти изображения обладают высоким разрешением, составляющим десятки метров на местности. Для исследуемой территории это первый опыт использования комплекта стандартизованных космоснимков на всю территорию и прилегающие области.

Элементами, выделяемыми на прецизионных КФС, явились *линементы* [2]. Это спрямленные участки изображения, гидросети, овражно-балочной сети, в том числе ложбины безруслового стока, границы областей контрастного фототона. Объекты антропогенной природы и инфраструктуры при дешифрировании игнорировались, из

расчетов удалялись области интенсивной городской и сельской агломерации, лесные массивы. Выделяемые линементы мы обобщенно полагаем выражением макротрещиноватости.

Нами используется следующее разделение трещиноватости: *микротрещиноватость* – трещиноватость, фиксируемая в непосредственных полевых и лабораторных наблюдениях; *мезотрещиноватость* – трещиноватость, близкая к минимальному уровню дешифрирования; *макротрещиноватость* – трещиноватость, выделяемая на дистанционных снимках для данной территории (к ней относится значительная часть обработанных нами линементов); *мега трещиноватость* – разломы, имеющие региональное значение и зачастую секущие основные геологические структуры (структуры порядка Мигулинско-Новохоперского разлома и Лосевско-Мамонской зоны). Также важными являются представления об *изотропной трещиноватости* и *зонах тектонической активизации*.

Изотропная трещиноватость (по В. А. Милашову) – разнонаправленная трещиноватость. Ранее качественно оценивалась исключительно по карте роз-диаграмм машинного построения. В. А. Милашов использовал ее в алмазоносных районах для выделения участков, перспективных для формирования диатрем.

Зоны тектонической активизации – линейные и изометричные в плане участки земной коры с проявлениями фанерозойских тектонических процессов. Обычно эти зоны приурочены к разломам и потенциально рудоносны, что связано с нарушением сплошности пород и высокой проницаемостью этих участков для гидротерм и флюидов.

Уже сообщалось об автоматизации подготовки карт роз-диаграмм и плотности макротрещин (рис. 1) [1]. На настоящем этапе исследований впервые для Воронежской антеклизы нами составлены карты количественной изотропии и фрактальной размерности Минковского (рис. 2, 3). В пределах Калачско-Эртильского макроблока установлена приуроченность максимумов фрактальной размерности (D_m) и проявлений полезных ископаемых по данным ВСЕГЕИ [3] (рис. 4). Кроме того, рассчитана статистическая корреляция между параметрами рисунка макротрещиноватости: плотностью макротрещин, количественной изотропностью, фрактальностью. Выявлены связи максимальных пиковых значений характеристик поля макротрещиноватости с линейными

и изометричными зонами тектонической активизации, а также известными рудопроявлениями (на рис. 1–3 вынесены рудопроявления осадочного чехла и фундамента ВКМ по [4]).

Материалы и методы

Основой для расчета параметров рисунка макротрещиноватости юго-западного крыла Воронежской антеклизы, включившего Курскую, Белгородскую, Воронежскую области, часть Харьковской, Луганской и Ростовской областей, послужил массив макротрещин ручного дешифрирования числом более 32 000 единиц, образовавших *карту общей макротрещиноватости* [1]. Вычисления параметров рисунка макротрещиноватости проводились по 400 окнам осреднения.

В ходе исследований были построены карты плотности макротрещин (вычисленные по плотности и длине), карты изотропности и карты фрактальной размерности Минковского. Ниже освещается методика построения этих карт и принципы районирования по ним.

Самым общим выражением макротрещиноватости являются *карты плотности макротрещин* (см. рис. 1). Известно, что линейные элементы на КФС не тождественны разрывным структурам, а являются их отражением в ландшафте. Соотношения между линеменами и разрывными нарушениями носят вероятностный характер [5]. *Плотность макротрещин* – это совокупная длина или количество дешифрированных элементов на площадь расчетного окна осреднения, вычисляется автоматически по окнам осреднения с помощью авторского специализированного пользовательского расширения ГИС *MapInfo*. Сопоставлением полученных карт, а также известных фанерозойских структур и рудопроявлений установлено, что наиболее полно отражает тектоническую обстановку именно карта плотности длин макротрещин. Это объясняется тем, что единственное разрывное нарушение в действительности может дать на космоснимке прерывистый линемент и внесет свой вклад в составляемую карту. В случае если плотность вычисляется по совокупным длинам линементов, этого не происходит.

Плотность макротрещин говорит о наличии на участке определенного числа макротрещин, но не может охарактеризовать свойства узора – такие как разнонаправленность линементов или степень, с которой трещины образуют непрерывную систему, где циркулируют флюиды – *связность макротрещин*. Информацию об этих качествах рисунка

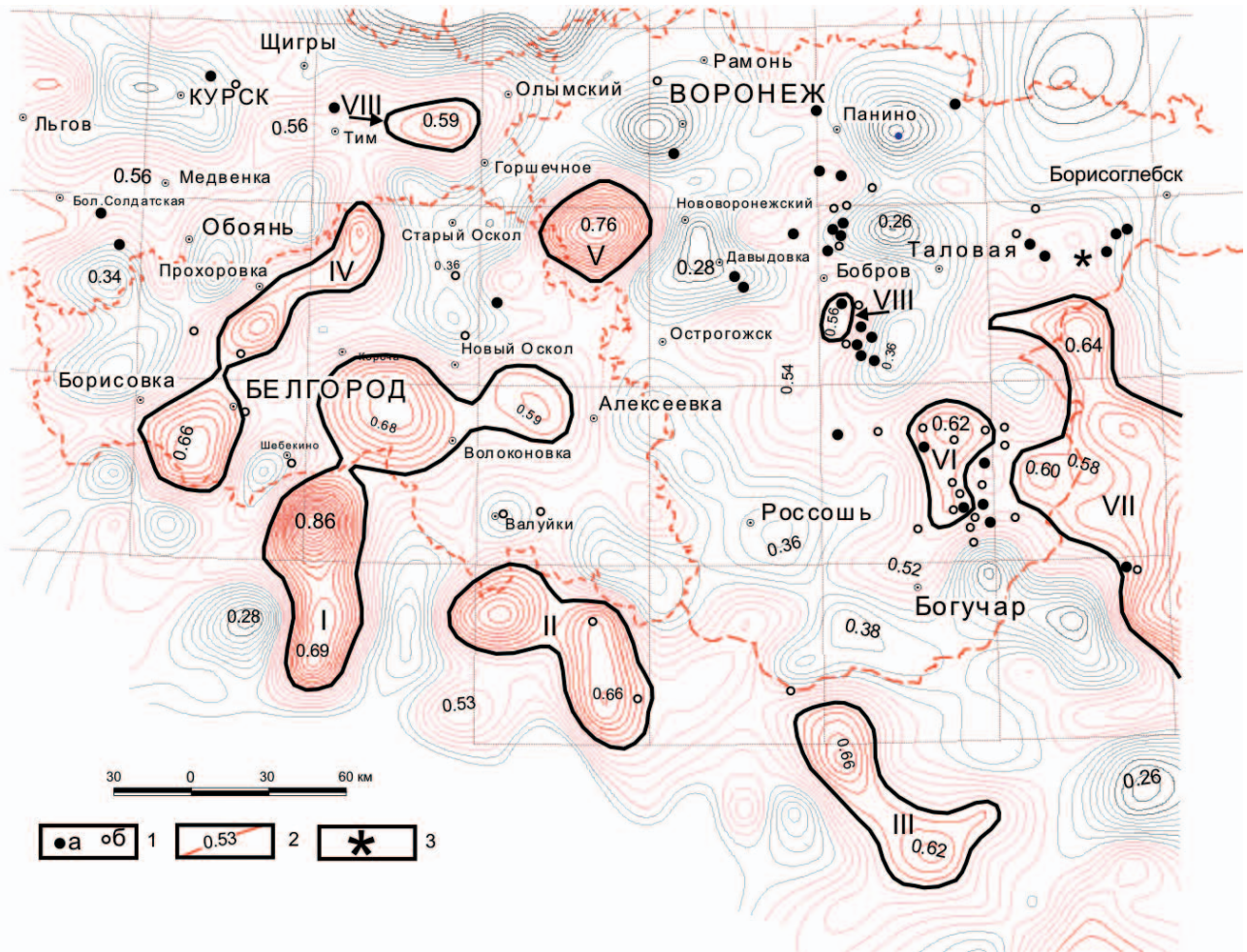


Рис. 1. Карта плотности линейентов (вычисленная по длине, П_д). Условные обозначения: 1 – установленные рудопоявления (а – кристаллический фундамент, б – осадочный чехол); 2 – изолиния и значение (1/км²), 3 – Каменносадовский палеовулкан (D_{3fr}). Черными контурами выделены площади максимумов П_д, в том числе (римские цифры): Волоконовско-Краснолиманская (I), Вейделевско-Белолуцкая (II), Кантемировско-Миллеровская (III), Белгородская (IV), Старооскольская (V), Северо-Богучарская (VI), Новохоперско-Мигулинская (VII), Южно-Кшенская (VIII) (по [1] с дополнениями)

макротрещин нам предоставляют параметры – численно выраженные *изотропия* и *фрактальная размерность Минковского*.

Ранее классификация изучаемых территорий по изотропности проводилась качественно-визуально по розам-диаграммам [1, 6]. Нами предложено проводить оценку изотропности на количественной основе. Под изотропностью объекта по какому-либо параметру понимают равенство значений данного параметра по всем углам направления относительно выбранного центра. Изотропность восходит к понятию полной пространственной симметрии как инвариантности по отношению к преобразованию вращения. Исходя из этих соображений, изотропность узоров, состоящих из прямых линий, можно определить как равномерность распределения линейных элементов (их

длины или количества) по углам ориентировок. Чем ближе распределение к равномерному, тем изотропнее узор, чем ближе к нормальному и чем уже кривая нормального распределения, тем анизотропнее. Наглядно это ранее выражалось в виде роз-диаграмм. Разброс значений (в нашем случае отражающий близость распределения к равномерному, т. е. степень изотропности узора) – это *дисперсия*, или *стандартное отклонение*:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2},$$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{1}{n} (x_1 + \dots + x_n),$$

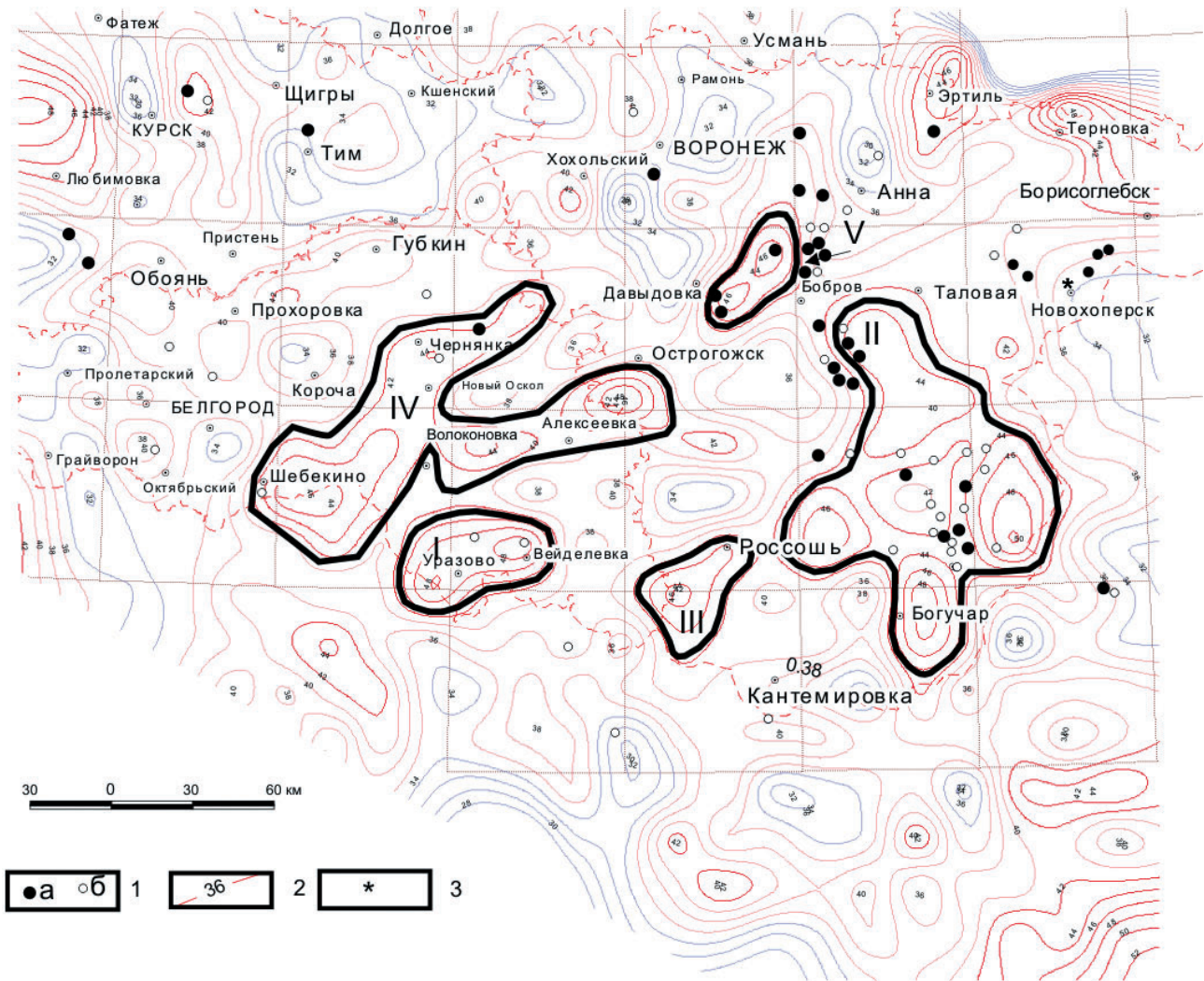


Рис. 2. Карта изотропии, σ . Условные обозначения: 1 – установленные рудопроявления (а – кристаллический фундамент, б – осадочный чехол); 2 – изолиния и значение; 3 – Каменносадовый палеовулкан (D3fr). Черными контурами выделены площади максимумов изотропии (римские цифры): Вейделевско-Белолуцкая (I), Богучарско-Таловская (II), Россошанская (III), Белгородско-Острогожская (IV), Давыдовская (V)

где χ_i – значение азимута линеивента, n – число линеивентов в выборке окна осреднения.

Некоторая сложность количественного определения изотропности связано с тем, что мы оперируем с замкнутой числовой системой (содержит значения от 0 до 360) и конечные точки в ней совпадают (0 = 360). Для определения изотропности линеивентных сетей предложен алгоритм, по возможности преодолевающий эти сложности. Заключается он в приведении углов ориентировки к одной полусфере и определении среднеквадратичного отклонения значений углов, которое и является количественным критерием степени изотропности. Подобная методика использовалась для количественного определения степени трахитовидности (анизотропности) фойяитов Хибинского массива по углам ориентировок кристаллов доминирующего минерала – КПШ [7].

Автоматизация расчета численной изотропии для массива линеивентов реализована в модуле ГИС *MapInfo Isotrophia*. Изотропию как стандартное отклонение мы обозначаем σ .

Фрактальная размерность определялась клеточным методом [8] по тем же окнам осреднения, что и другие параметры (плотность, изотропность). Для автоматического ее вычисления нами был разработан программный модуль *WindowExporter* геоинформационной системы *MapInfo*. В его задачи входила разметка, подготовка и вывод растровых картографических данных из ГИС для обсчета во внешнем приложении. В качестве внешнего приложения использовалась консольная версия программы *FractalAnalyzer* (автор А. Тихонов, УГАТУ).

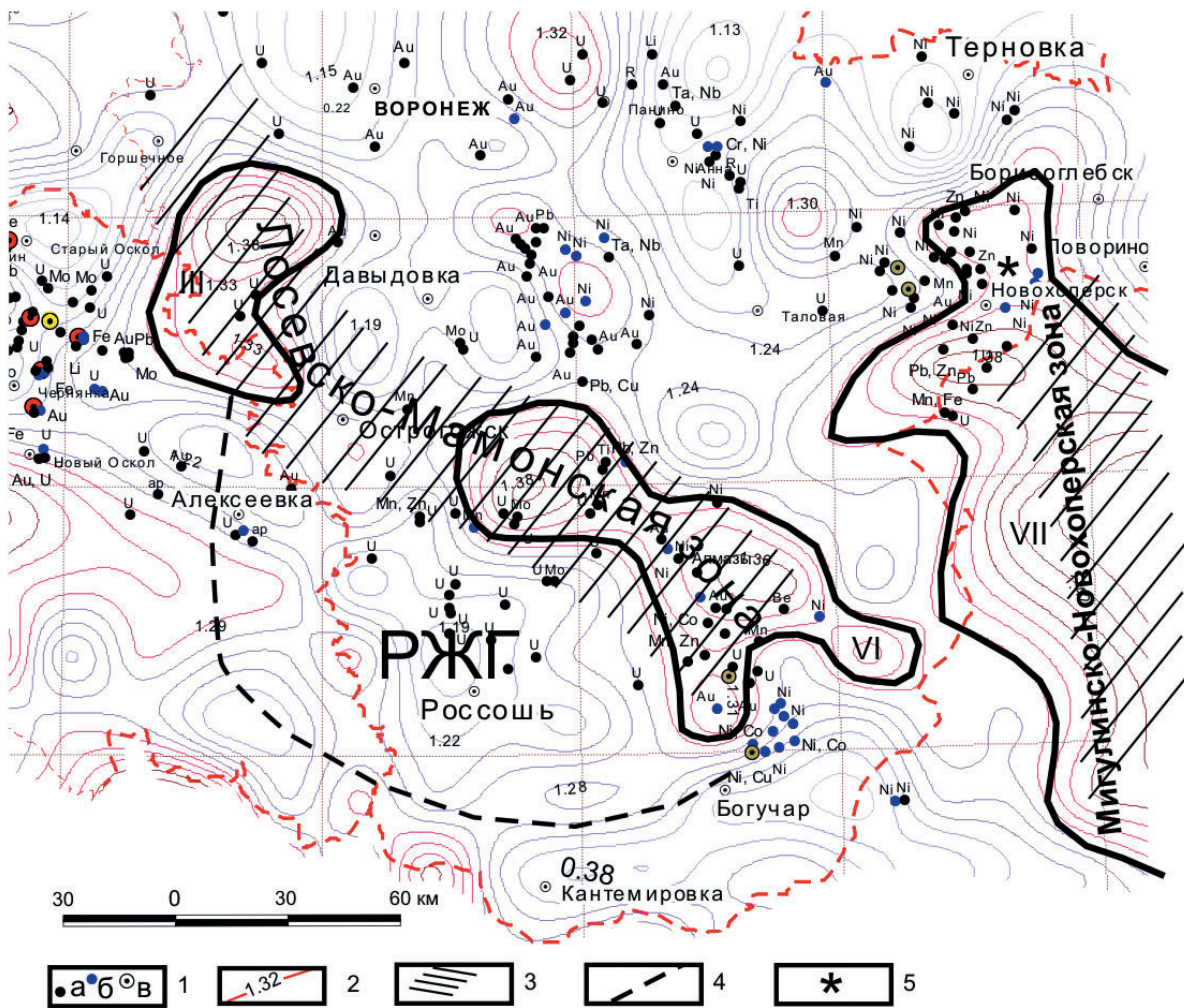


Рис. 4. Карта фрактальной размерности Минковского, D_m для Калачско-Эртильского макроблока. Сопоставление месторождений, проявлений и пунктов минерализации рудных полезных ископаемых по данным ВСЕГЕИ [12]. Условные обозначения: 1 – рудные полезные ископаемые (а – пункт минерализации, б – рудопроявление, в – месторождение малое); 2 – изолиния D_m и ее значение; 3 – зоны тектонической активизации; 4 – границы Россошанской жесткой глыбы, РЖГ; 5 – Каменносадовский палеовулкан. Черными контурами выделены площади максимумов, нумерация см. рис. 3

фрактальностью, т. е. связностью. Такие участки мы полагаем наиболее перспективными для обнаружения эндогенных рудопроявлений.

При составлении карт рассчитанных параметров и выявлении перспективных участков, выделялись аномалии, соответствующие следующему условию:

$$Z \geq M + s,$$

где Z – определяемый параметр, M – среднее арифметическое, s – стандартное отклонение. При определении пороговых значений аномалий мы использовали среднее арифметическое, т. к. оно соответствует максимуму кривой нормального распределения, а для рассчитанных параметров, как видно из рис. 6, характерен нормальный закон распределения.

Результаты

На карте плотности длин макротрещин Π_d (см. рис. 1) были отмечены аномальные площади, перспективные для обнаружения новых рудопроявлений. Это Волоконовско-Краснолиманская (I), Вейделевско-Белолуцкая (II), Кантемировско-Миллеровская (III), Белгородская (IV), Старооскольская (V), Северо-Богучарская (VI), Новохоперско-Мигулинская (VII), Бобровская (VIII) площади. Выделение этих площадей выявило интересную поперечную зональность юго-западного склона Воронежской антеклизы. Установлено, что Белгородская (IV), Волоконовско-Краснолиманская (I), Вейделевско-Белолуцкая (II) зоны максимальных значений приурочены к Белгород-

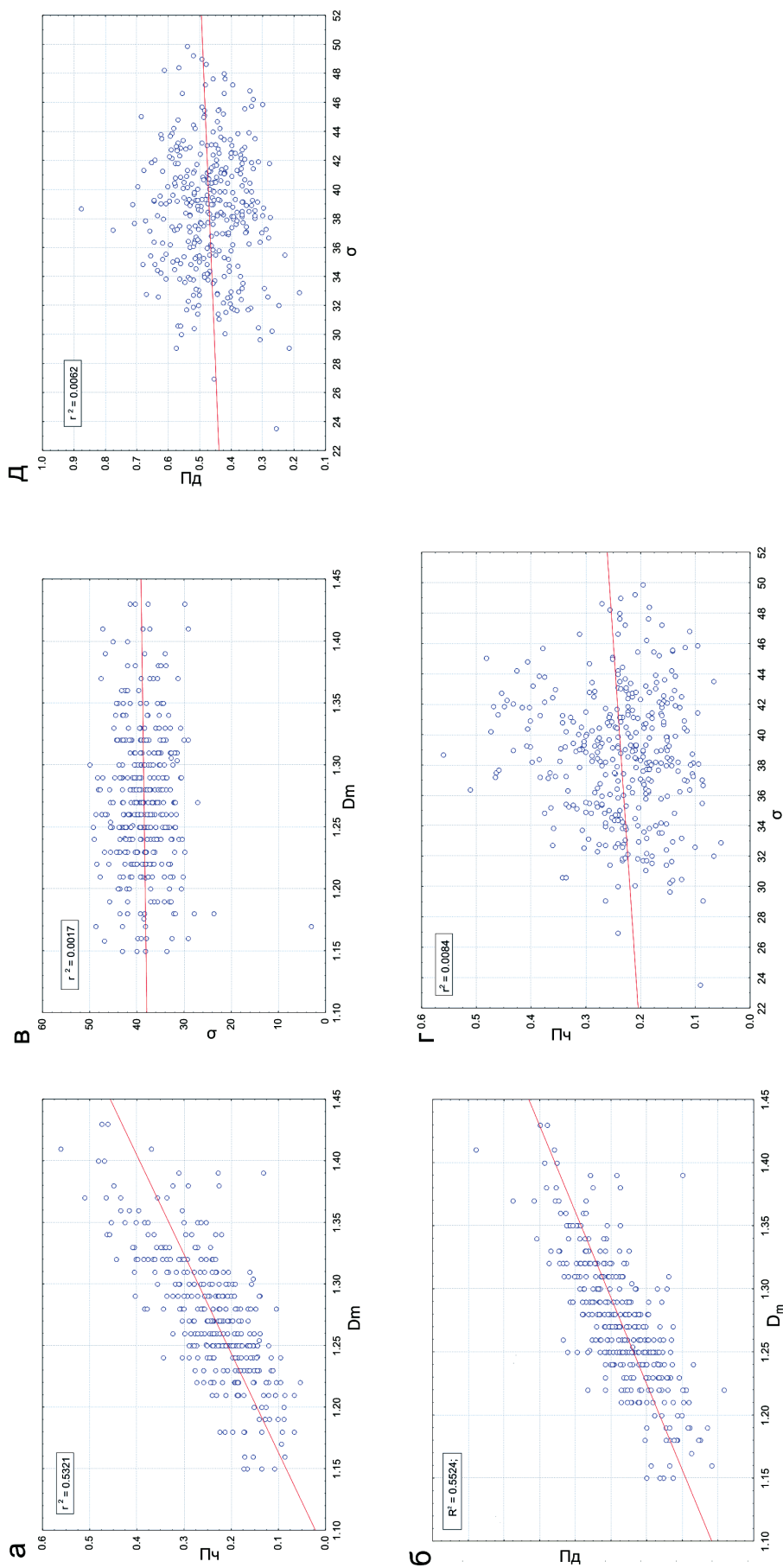


Рис. 5. Корреляционные кривые параметров макротрещиноватости. Условные обозначения: $\Gamma_{\text{ч}}$ – количество линевентов на единицу площади; $\Gamma_{\text{д}}$ – совокупная длина линевентов на единицу площади; D_m – фрактальная размерность Минковского; σ – степень изотропности сети линевентов. Корреляция: а – $\Gamma_{\text{ч}}$ и D_m ; б – $\Gamma_{\text{д}}$ и D_m ; в – σ и D_m ; г – $\Gamma_{\text{ч}}$ и σ ; д – $\Gamma_{\text{д}}$ и σ

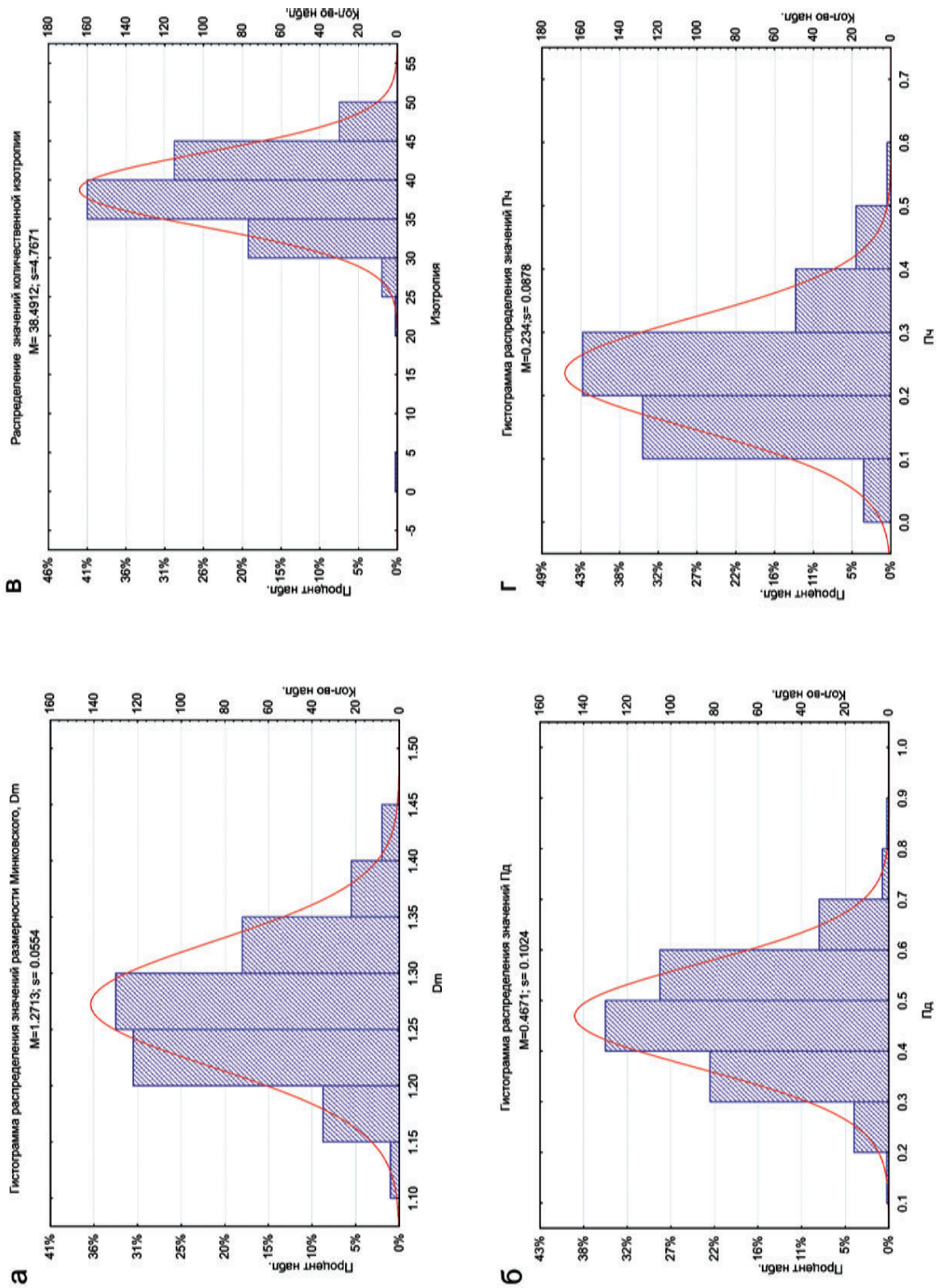


Рис. 6. Гистограммы распределения параметров рисунка макротрещиноватости Воронежской антеклизы: а – гистограмма фрактальной размерности Минковского, D_m ; б – то же плотности трещин, вычисленных по длинам, P_d ; в – то же изотропии, γ – то же, σ и P_{γ} . На всех гистограммах M – среднее значение, s – стандартное отклонение

ско-Марковской зоне тектонической активизации, выделяемой в работе [4]. Любопытно, что наличие Кантемировско-Миллеровской (III) зоны максимальных значений на юго-востоке может дать некоторые основания для продления Белгородско-Марковской зоны тектонической активизации на юго-восток. К Белгородской (IV), Волоконовско-Краснолиманской (I), Вейделевско-Белолуцкой (II) зонам приурочены основные полиметаллические проявления в башкирских известняках [11], что позволяет говорить о выделении рудоуправляющих структур.

На востоке района исследований выделяется Новохоперско-Мигулинская (VII) зона максимумов, которая практически совпадает с Мигулинско-Новохоперской зоной тектонической активизации. На ее юге известны Шумилинское солевое проявление меди, вероятно, связанное с интрузиями ультрабазитов, проявление никеля Пионерское [3; 4].

Наиболее продуктивным в отношении совпадения с известными рудопроявлениями является выделенная Северо-Богучарская зона (VI), а также ее северо-западное продолжение – Бобровская зона (VIII). К этой зоне, являющейся активным северо-восточным обрамлением Россошанского срединного массива, приурочено большинство известных рудопроявлений в кристаллическом фундаменте и осадочном чехле, эксгаляционно-осадочные проявления ультратонкого золота, Шкурлатовское месторождение гранитоидов, медно-никелевые месторождения Подколодновское и Нижне-Мамонское [4; 12]. Небольшие аномалии плотности длин макротрещин Старооскольская (V) также заслуживают внимания. Старооскольская зона максимальных значений находится на северо-западном окончании Ливенско-Богучарской шовной зоны. Для нее характерны локальные положительные аномалии магнитного поля, в кристаллическом фундаменте картированы карельские граниты Павловского комплекса и аляскитовые граниты лискинского комплекса [13; 14]. Рудопроявления для двух последних зон пока неизвестны. Описанные положительные аномалии разделяются низкими значениями плотности длин макротрещин, связанных с пассивными зонами срединных массивов.

Зональность, выделяемая по *карте изотропии* (рис. 2), носит также поперечный характер относительно основных тектонических структур, как зональность P_d , но число выделяемых зон меньше. Так, Белгородская и Волоконовско-Краснолиманская зона (IV и I на рис. 1) сливаются в Бел-

городско-Острогужскую (IV на рис. 2), Вейделевско-Белолуцкая (I) зона изменяет свои очертания. Зоны максимума P_d Северо-Богучарская и Новохоперско-Мигулинская (VI и VII на рис. 1) образуют Богучарско-Таловскую зону (II на рис. 2), на которой сосредоточены альпийские рудопроявления осадочного чехла Северо-Богучарской зоны. Интересно, что максимальные значения изотропии также характерны для бесперспективных в отношении поиска рудопроявлений зон срединных массивов – Курско-Карачевскому, Тамбовско-Борисоглебскому, Сумскому, Россошанскому, которые на картах P_d и D_m соответствуют минимумам.

Интерес представляет сопоставление Россошанской (соответствует Россошанскому срединному массиву) и Давыдовской зоны (III и V на рис. 2), соответствующим минимальным значениям P_d . Об алмазопроисхождении перспективах «изотропного» Россошанского срединного массива уже писали [1; 6]. Впервые количественно измеренная анизотропия позволила увидеть инверсию отдельных максимумов P_d и изотропии.

Локальные максимумы изотропии имеют выраженные связи с элементами геологического строения фундамента и осадочного чехла. Так, наблюдаемый на карте изотропии Давыдовский локальный максимум (V на рис. 2) маркирует площадь тройного сочленения неотектонических разломов, идущих в этой части Масальского прогиба вдоль и перпендикулярно к долине р. Хворостани [15]. На аэромагнитной карте [13] эта площадь выделяется резким усложнением структуры магнитного поля, появлением многих контрастных локальных аномалий, положительных и отрицательных, в большой степени конкордатных с ориентировкой Давыдовского объекта. Наконец, не должно быть забыто и то, что описываемая структура точно маркирует («привязана») к границе крупнейших неотектонических блоков, отвечающих в современном рельефе Среднерусской возвышенности и Окско-Донской (Тамбовской) равнине. Материалы повторного нивелирования [16; 17] указывают, что северо-восточней описываемого максимума преобладают опускания с градиентами до 4 мм/г, а юго-западней – поднятия, 3–4 мм/г. Подобная тектоническая позиция, свидетельствующая о том, что здесь нашли выражение поля тектонических напряжений с разными параметрами («течением масс») и может быть причиной локального максимума изотропии, т. е. наибольшего распространения разнообразно ориентированных зон макротрещиноватости.

Карта фрактальной размерности Минковского (D_m), которая, как уже указывалось, отражает связность массива макро- и мегатрещин, образует схожий по знаку и рисунку узор изолиний относительно карты Π_d (см. рис. 3). Параметры D_m и Π_d демонстрируют некую корреляцию (см. рис. 5). И тем не менее поперечная зональность, а равно и приуроченность пиковых значений к проявлениям полезных ископаемых заметно четче. Так, выделена еще одна поперечная зона, не выраженная на карте Π_d , – Суджа-Щигровская (I), а также локальные максимумы, выделение которых обусловлено наличием совпадающих с ними известных рудопроявлений – Северо-Бобровский (А), Панинско-Усманский (Б), Курско-Золотухинский (В). Интересен север выделяемой по карте D_m Мигулинско-Новохоперской зоны максимумов. К ней приурочен ряд проявлений меди и никеля, а также медно-никелевые месторождения Елкинское и Еланское (см. рис. 4). Кроме того, на севере этой зоны усилиями Придонской КГРЭ обнаружен единственный подтвержденный вулканический аппарат (Каменносадовый палеовулкан) ястребовского времени позднего девона – проявление раннегерцинского этапа тектонической активизации (см. рис. 3) [18; 19].

Помимо этого, к западу от Россошанского срединного массива цепочка максимумов D_m трассирует его границу, соответствующую полосе контрастных минимумов значений магнитного поля [13]. Наибольших значений D_m достигает в пределах Волоконовско-Краснолиманской зоны (I на рис. 1), совпадающей с зоной киммерийской тектонической активизации. Сравнивая карты D_m и σ , можно видеть, что положительным максимумам изотропии (Россошанской III и Давыдовской V зонам на рис. 2) аналогично характерны минимумы фрактальной размерности, т. е. имеет место взаимная инверсия этих двух параметров.

Выводы

Рисунок макротрещин юго-западного склона Воронежской антеклизы вполне охарактеризован с помощью четырех новых параметров, расчет которых производится с помощью авторских расширений ГИС *MapInfo*: плотность сети макротрещин, исчисленная по их совокупной длине Π_d и по количеству Π_q ; изотропность u ; фрактальная размерность Минковского D_m . Предложен способ количественной оценки изотропности макротрещин.

Установлены корреляционные зависимости между параметрами, что нашло свое выражение в интерпретации карт. Составлены соответствующие

параметрам тематические карты, по которым установлены следующие закономерности:

- распределение рудоносных зон тектонической активизации фанерозоя и безрудных срединных массивов отражается в количественных параметрах рисунка макротрещиноватости;

- с помощью плотности Π_d и D_m установлена выраженная поперечная зональность юго-западного склона Воронежской антеклизы;

- выделяемые зоны максимумов и минимумов значений соответствуют рудоносным зонам тектонической активизации и безрудным срединным массивам;

- выявлена достаточно хорошая пространственная приуроченность аномалий максимальных значений полей параметров плотности и фрактальности массива макротрещин юга Воронежской антеклизы к зонам фанерозойской тектонической активизации осадочного чехла и, как следствие, к ее молодым рудоносным структурам. Зоны максимумов Π_q , Π_d и D_m соответствуют перспективным зонам фанерозойской тектонической активизации, часто совпадают с известными рудопроявлениями, в то время как параметр σ (изотропность) должен интерпретироваться совместно с другими параметрами. Например, система трещин структуры может быть изотропной, но не связной;

- фрактальная размерность Минковского как показатель связности макротрещин, благоприятной для проникновения флюидов и отложения рудных компонентов, наиболее полно отражает зоны альпийской и киммерийской тектонической активизации;

- установлено, что Россошанский срединный массив обладает низкой плотностью и фрактальностью трещин, но высокой изотропией, что косвенно подтверждает в нем потенциальную алмазоносную структуру. Сходными исчисленными характеристиками обладает «Давыдовский максимум» (зона V на рис. 2), находящийся в зоне сочленения разломов и крупных тектонических структур.

Полученные новые данные позволили по-новому взглянуть на перспективы рудоносности и поведение тех или иных структур в фанерозое, оконтурить перспективные площади, осевые зоны которые должны привлечь внимание исследователей.

Авторы выражают признательность за плодотворные обсуждения и консультации проф. Л. Т. Шевыреву, проф. А. Д. Савко (Воронежский государственный университет) и А. Тихонову (УГАТУ).

Работа выполнена при финансовой поддержке ООО «Минералы Лапландии» (г. Апатиты Мурманской области) и проекта Videospect.Ru

ЛИТЕРАТУРА

1. Шевырев С. Л. Полиметаллическое оруденение в осадочном чехле южного крыла Воронежской антеклизы – условия локализации, прогнозные оценки прилегающих площадей по прецизионным дистанционным материалам / С. Л. Шевырев // Вестник ВГУ. Серия: Геология. – 2006. – № 1. – С. 114–121.
2. Раскатов Г. И. Геоморфология и неотектоника территории Воронежской антеклизы / Г. И. Раскатов. – Воронеж : Изд-во ВГУ, 1969. – 164 с.
3. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (новая серия). Лист М-37, (38) – Воронеж. Объяснительная записка / Ю. И. Иосифова [и др.]. – СПб., 2001. – 362 с.
4. Шевырев С. Л. Эволюция тектонической структуры Воронежской антеклизы и ее эндогенный рудогенез / С. Л. Шевырев, А. Д. Савко, А. В. Шишов // Труды НИИ Геологии. – 2004. – № 25. – 191 с.
5. Трегуб А. И. Неотектоника территории Воронежского кристаллического массива / А. И. Трегуб // Труды НИИ Геологии Воронежского государственного университета. – 2002. – Вып. 9. – 220 с.
6. Геолого-минералогическая оценка нетрадиционных видов сырья на территории Липецкой области. Окончательный отчет по хозяйственной теме за 2002–2004 гг. / А. Е. Звонарев (ответственный исполнитель), [и др.]. – Воронеж : НИИ Геологии, 2004 – 220 с.
7. Калашников А. О. Зональность Хибинского массива по данным изучения калиевых полевых шпатов / А. О. Калашников [и др.] // Минералогия во всем пространстве сего слова. Труды III Ферсмановской научной сессии. – Апатиты : Изд-во К&М, 2006. – С. 121–123.
8. Кроновер Р. М. Фракталы и хаос в динамических системах / Р. М. Кроновер. – М. : Постмаркет, 2000. – 352 с.
9. Челидзе Т. Л. Методы теории протекания в механике геоматериалов / Т. Л. Челидзе. – М. : Наука, 1987. – 136 с.
10. Тарасевич Ю. Ю. Перколяция: теория, приложения, алгоритмы : учебное пособие / Ю. Ю. Тарасевич. – М. : Едиториал УРСС, 2002. – 112 с.

Воронежский государственный университет
С. Л. Шевырев, аспирант кафедры исторической геологии и палеонтологии
shevirev@mail.ru
Тел. 8-904-211-94-78

Геологический институт Кольского НЦ РАН
А. О. Калашников, кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник
kalashnikov@geoksc.apatity.ru
Тел. 8 (81555) 7-92-50

11. Сушук Е. Г. Старобельско-Миллеровский минералогический район / Е. Г. Сушук // Металлогения фанерозоя платформенной части Украины. – Киев : Наукова думка, 1984. – С. 136–139.

12. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (новая серия). Лист М-37, (38). – Воронеж. Карта полезных ископаемых / С. М. Шик, И. Н. Симонова, Р. В. Рудакова, – СПб., 2001.

13. Кривцов И. И. Аэромагнитная карта Воронежского кристаллического массива. Масштаб 1 : 1 000 000. По материалам аэромагнитных съемок масштабов 1 : 50 000, 1 : 100 000, 1 : 200 000 Курской геофизической экспедиции ГУЦР и Западного Геофизического треста 1957–1963 гг. / И. И. Кривцов. – Воронеж : ПГО Воронежгеология, 1986. – 1 лист.

14. Молотков С. П. Геологическая карта Воронежского кристаллического массива. Масштаб 1 : 500 000 / С. П. Молотков [и др.]. – М. : СовГеоИнфо, 1999. – 6 листов.

15. Раскатов Г. И. Геоморфология и неотектоника территории Воронежской антеклизы : дисс. ... д-ра геол.-минерал. наук / Г. И. Раскатов. – М., 1970. – 650 с.

16. Донабедов А. Т. Соотношение между современными вертикальными движениями земной коры, геофизическими полями и геоструктурными элементами на юго-западе Русской платформы / А. Т. Донабедов, В. А. Сидоров // Современные движения земной коры. – М. : ВИНТИ, 1968. – № 3. – С. 63–85.

17. Мещеряков Ю. А. Современные движения земной коры / Ю. А. Мещеряков // Природа. – 1958. – № 5. – С. 15–24.

18. Дмитриев В. П. Анализ материалов по геологическому строению центральных районов Восточно-Европейской платформы с целью оценки перспектив их алмазности / В. П. Дмитриев // Окончательный отчет по теме. – Титул 1144. – М. : ГУЦР, 1986. – 279 с.

19. Михайлов М. В. Перспективы обнаружения на Русской платформе новых среднепалеозойских месторождений алмазов / М. В. Михайлов, Г. А. Беляев, Г. С. Кузьмина // Региональная геология и металлогения. – 2000. – № 12. – С. 158–177.

Voronezh State University
S. L. Shevirev, post-graduate student of the Historical Geology Chair
shevirev@mail.ru
Tel. 8-904-211-94-78

Russian Academy of Science, Geological Institute of Kola Science Center
A. O. Kalashnikov, Candidate of Geology-Mineralogical Sciences, research worker
kalashnikov@geoksc.apatity.ru
Tel. 8 (81555) 7-92-50