

ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОЕ ОРУДЕНЕНИЕ В ОСАДОЧНОМ ЧЕХЛЕ ЮЖНОГО КРЫЛА ВОРОНЕЖСКОЙ АНТЕКЛИЗЫ — УСЛОВИЯ ЛОКАЛИЗАЦИИ, ПРОГНОЗНЫЕ ОЦЕНКИ ПРИЛЕГАЮЩИХ ПЛОЩАДЕЙ ПО ПРЕЦЕЗИОННЫМ ДИСТАНЦИОННЫМ МАТЕРИАЛАМ

С. Л. Шевырёв

Воронежский государственный университет

Свинцово-цинковое месторождения и проявления киммерийской эпохи с возрастом около 200 млн лет распространены в каменноугольной толще южного склона Воронежской антеклизы (Ростовская, Белгородская и Луганская области), объединенные в Белгородско-Миллеровский минерагенический район. Новые дистанционные материалы большого разрешения (первые десятки м) позволили выявить специфические особенности в распределении линейных элементов — приуроченность известных залежей руд к максимумам плотности макротрещиноватости. Это позволило оконтурить и рекомендовать для более детальных исследований целый ряд перспективных площадей.

ВВЕДЕНИЕ

Минерально-сырьевая база России после распада СССР резко ухудшилась не только по количественным, но и по качественным показателям — состоянию инфраструктуры, содержаниям металлов, технологическим свойствам руд. В стране осталось лишь два месторождения с запасами более 2 миллионов тонн свинца и цинка — Холдинское в Северном Прибайкалье и Горевское в Енисейском кряже. На Государственном балансе РФ значатся 95 месторождений свинцовых (медно-свинцово-цинковых, свинцово-цинковых, свинцовых, медно-колчеданных с полиметаллами, прочих комплексных) и 134 цинковых, но средние содержания в них составляет только 1,13 % по свинцу и 2,19 % по цинку, т.е. все они практически относятся к бедным рудам [9].

По классификации В. И. Смирнова [12], как известно, к таковым относят залежи с содержаниями $Pb+Zn < 4\%$. В несколько лучших инфраструктурных условиях находятся 10 месторождений Садонского рудного узла в Северной Осетии, но их общие ресурсы составляют лишь 1,9 % по свинцу и 1,6 % по цинку от общероссийских. Слабость сырьевой базы — одна из причин, отчего в России потребление свинца на одного человека в 13 раз меньше чем в европейских странах (0,29 кг против 3,83 кг). По цинку этот показатель не намного лучше — 0,63 кг против 4,5 кг/чел [9].

Все это говорит о крайней актуальности возобновления поисковых работ на полиметаллы,

в том числе, и на южном крыле Воронежской антеклизы, где они были весьма активны в 1960—1970 гг. (исследования ПГО Ростовгеология и Луганскгеология). В самом деле, в пределах Валуйско-Марковской зоны полиметаллические руды в карбонатных толщах нижнего и среднего карбона распространены на площади в несколько тысяч квадратных километров. Они встречаются у сел Новобелая, Баюры, Россоховатое, Прсяное, Лозное, Стрельцовка, Марковка, городов Валуйки и Белолуцк, при этом мощности рудных тел доходят до 60 метров и более [6].

Оруденением в осадочном чехле Воронежской области в 1960—1970-е гг. занимались В. М. Богданов, С. П. Молотков, А. С. Агейкин, Н. М. Чернышов [1], исследователи Ростовской области — Г. В. Зеленщиков и другие [13]. Современные представления об оруденении района позволили переосмыслить минерагеническую концепцию региона. В фанерозое отчетливо выделяются проявления трех крупнейших металлогенических эпох — герцинской, киммерийской и альпийской. Эти эпохи ознаменовались крупными тектоническими перестройками региона, поднятиями и опусканиями блоков, сменой источников сноса и направления трансгрессий, заложением новых и оживлением существующих зон разломов [17]. Известны излияния магматитов и эксгаляционно-осадочные процессы, образование проявлений полиметаллов, золота, интерметаллидов, вероятный кимберлитовый магматизм, о котором можно говорить по многочисленным находкам в промежуточных коллекторах алмазов и их минералов-спутников [17].

Эндогенное рудообразование тесно связано с особенностями и геологического строения Воронежской антеклизы, для которой характерны повышенная до 55 км мощность земной коры, аномально большая (25—32 км) мощность “гранитного” слоя, тенденция к частым постседиментационным поднятиям. Это и отличает антеклизу от пограничных отрицательных структур, где мощности земной коры и гранитного слоя существенно меньше, проницаемость фундамента и осадочного чехла выше, а характер эндогенного оруденения отличается [17].

Представления о локализации известных рудопроявлений фундамента и осадочного чехла на территории юго-западного склона Воронежской антеклизы дает рис. 1.

Герцинская эпоха эндогенного рудообразования на Воронежской антеклизе проходила в 3 фазы и связана с щелочно-базальтоидой (ястребовская фаза) и толеитовой (петинская и евлановско-ливенская фаза) фармациями. Помимо этого, с герцинским этапом связывают предполагаемый кимберлитовый магматизм [3, 5].

Киммерийский рудогенез тесно связан с перестойкой тектонической структуры региона, образованием Днепровско-Донецкого поднятия и активизацией зон глубинных разломов. К этой эпохе относятся большинство проявлений полиметаллов, флюорита и барита Донбасса, ДДВ, Украинского щита, а также граничные с территорией Украины полиметаллические проявления Белгородско-Миллеровского минерагенического района. На Воронежской антеклизе различают следующие минерагенические районы, в пределах которых известны проявления киммерийского рудогенеза: Белгородско-Миллеровский, Курский, Восточно-Воронежский, Брянско-Орловский [17, рис. 9.4] Районы с оруденением занимают краевые части антеклизы, тяготеют к соответствующим зонам активизации. Курский район, локализованный на своде, имеет проявления только в активизированных участках фундамента. Для площади с наиболее активными геодинамическими процессами (Восточно-Воронежский регион) характерны максимальные концентрации проявлений эндогенных полезных ископаемых.

Проявления альпийской эпохи распространены на территории, расположенной восточнее Россошанского массива и, особенно, в Богучарско-Ливенской зоне. Рассматриваемая зона

находится пределах воздействия Доно-Медведицкого авлакогена, активного на альпийском и неотектоническом этапах, что сказалось на облике и возрасте рудопроявлений. Наиболее выраженное из них локализовано в нижнетуронском писчем мелу (зона *Hedbergella holzli*) Шкурлатовского рудного поля, близ протрузии гранитоидов. Оруденение представлено баритом и сфалеритом [17].

СВИНЦОВО-ЦИНКОВЫЕ РУДОПРОЯВЛЕНИЯ ЮГО-ЗАПАДНОГО СКЛОНА ВОРОНЕЖСКОЙ АНТЕКЛИЗЫ

Рудные тела расположены в пределах Белгородско-Марковской зоны. Цепочки рудопроявлений прослежены до границы Белгородской области и в соседних районах Украины работами ПГО “Луганскгеология”, они описаны во многих публикациях [7, 11 и др.]

Проявления известны в Белгородском районе, где перспективы обнаружения рудных тел не ниже, чем на Украине, так как в структурном отношении эти площади едины, а мощности осадочного чехла на КМА существенно ниже. Как считает Е. Г. Сушук, Белгородско-Миллеровский минерагенический район является протяженным на северо-запад Старобельско-Миллеровский районом [15]. В работе Е. Г. Сушука указываются особенности рудопроявлений: 1 — приуроченность к нижне-, и среднекаменноугольным отложениям на площади несколько тыс. км² при глубинах 250—400 м; 2 — смещение оруденения вверх по разрезу “от намюра в районе села Марковка до башкирского яруса в районе сел Белолуцкое и Вейделевка”; 3 — проявления представляют собой сфалерит-флюоритовые прожилки в нижневизейской терригенной толще мощностью 0,5—1,0 см, “секущие кальцитизированные магнезиально-сидеритовые конкреции”; 4 — вслед за Е. М. Крестиним выделены три типа оруденения: а — прожилково-вкрапленных руд с мощностью рудоносных тел до 60 м и больше и содержаниями Zn до 1,12 %, Pb — до 0,35 %; б — метасоматические линзообразные залежи в зонах развития выщелоченных и брекчированных пород, где количество сульфидов полиметаллов достигает 50 % от их объема, в т.ч. Zn — до 3 % и более, Pb — до 0,5 %; в — жильный, в виде халцедон-карбонатных и карбонатных жил с вкрапленностью сульфидов; 4 — минеральный состав руд: пирит, сфалерит, реже галенит, а

также халькопирит, арсенопирит, марказит, киноварь, антимонит.

Нерудные минералы представлены кварцем, халцедоном, доломитом, кальцитом, баритом, флюоритом с примесью битумов. Концентрация рудных элементов достигает промышленных значений: Cu — до 0,1%, Pb — до 1,5%, Zn — от 3 до 12%; 5 — возраст оруденения, определенный по галениту, составляет 200 ± 30 млн лет [2]; 6 — изотопный анализ серы показал, что ее минералы образовались в результате сульфат-редукции в бескислородных закрытых системах; 7 — положение наиболее крупных рудопроявлений контролируют субмеридиональные разрывы, пересекающие Белгородско-Марковскую зону; 8 — гидротермальный характер рудного вещества, показанный ранее Е. М. Крестиним, Ю. А. Шустовым и Ю. А. Егоровым, с температурами декрепитации кальцитов: $80-120^\circ$ (редко 150°), 160° и $180-200^\circ$ и массовым растрескиванием при $220-260^\circ\text{C}$; 9 — руды располагаются лишь в доломитизированных известняках. Проявления полиметаллов на юго-западе тяготеют к периферии Россошанского срединного массива (см. рис. 1). Сходной структурной позицией обладает плохо изученная бурением

часть Белгородско-Марковской зоны, прилегающей к Сумскому массиву [17].

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ И ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Изучение дистанционных материалов для минерагенических целей — традиционно сильное направление, разрабатываемое на геологическом факультете ВГУ с 1960-х гг. Начало таким исследованиям было положено работами профессора Г. И. Раскатова [10] и его учеников А. А. Старухина [14], А. И. Трегуба [16] и др. В 1970—1980 гг. они активно поддерживались Геологическим управлением Центральных районов (ГУЦР Мингео РСФСР) как эффективный и недорогой метод глубинного тектонического прогноза, особенно эффективного на ранних стадиях изучения больших территорий. В эти годы были наработаны, обобщены, сформулированы дешифровочные признаки и критерии, позволяющие прогнозировать положение гряд железистых кварцитов КМА, изолированных интрузий, разрывных нарушений. Большое развитие получил и анализ макротрещиноватости, материалы которого широко использовались при структурно-тектоническом районировании.

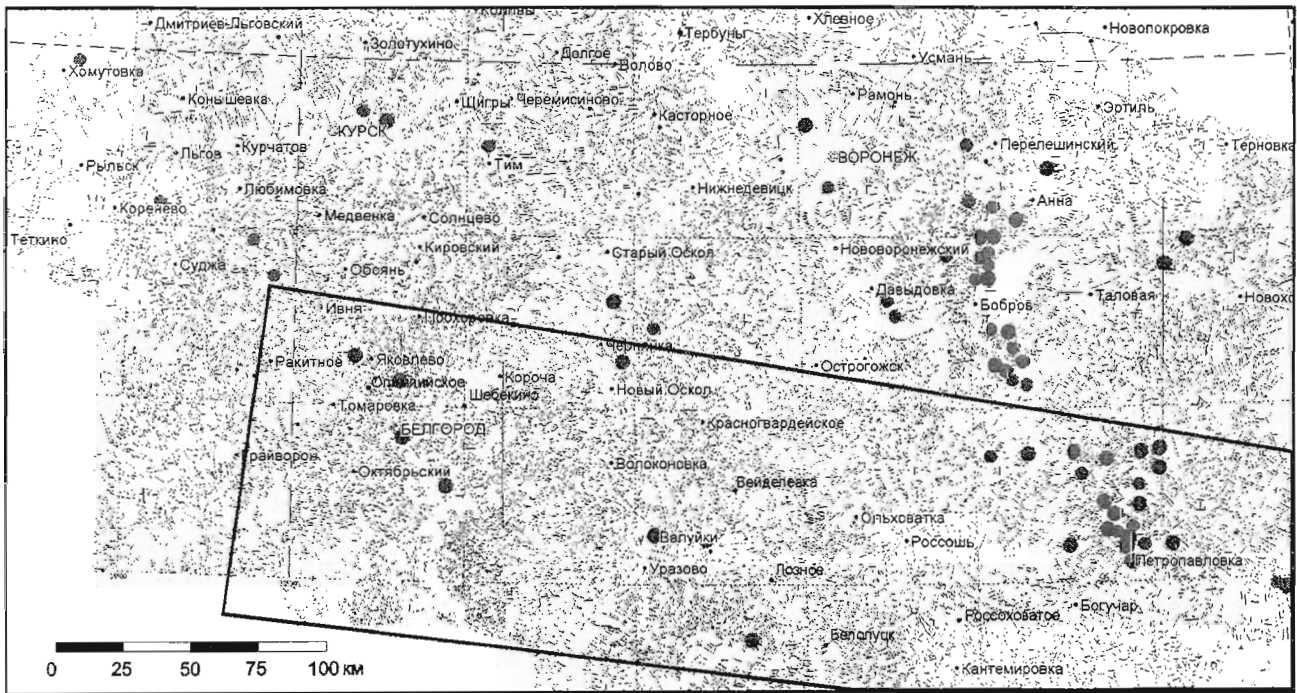


Рис. 1. Карта макротрещиноватости территории Воронежской антеклизы. По материалам автоматизированной обработки прецизионных дистанционных КФС серий «Салют» и «Союз». Черным контуром выделен юго-западный склон антеклизы, перспективный на месторождения полиметаллов в осадочном чехле. Залитыми кружками указаны известные рудопроявления

Однако использованная для этих целей дистанционная основа оставляла желать лучшего, если смотреть с позиций сегодняшнего дня: далеко не все площади были охарактеризованы сравнимым качественным материалом, разрешающая способность и плановость фотоизображения были невелики.

Лишь несколько лет назад ВГУ получил возможность заказать в ГЦ «Природа» высококачественные фотопланы на всю территорию Воронежской антеклизы, основой которых послужили ранее закрытые многоканальные съемки, выполненные с обитаемых орбитальных станций серии «Салют» и орбитальных космических кораблей «Союз». Профессионально выполненная по заказу ВГУ в ГЦ «Природа» работа по созданию космических фотопланов масштаба 1:500 000 в равноугольной проекции Гаусса—Крюгера для дистанционных съемок 1970-х, 1980-х, 1990-х гг. (электронная и фотоверсии) с весьма высоким разрешением (30 метров на местности), не могла не явиться привлекательной основой для продолжения дистанционных минерагенических исследований Воронежской антеклизы. Особый интерес представляла впервые возникшая возможность использовать дистанционные данные для изучения минерагенической ситуации на всем юго-западном клоне антеклизы, включая его районы, находящиеся в Ростовской области и Луганской области Украины. На севере последней, как известно, обнаружены значительные скопления полиметаллов в осадочном чехле [16].

Первым новые дистанционные материалы опробовал при прогнозных построениях на алмазы для территории северо-востока антеклизы Д. А. Дмитриев [4]. Для этой цели им был использован метод изучения изотропной трещиноватости В. А. Милашова, хорошо себя зарекомендовавший в алмазонасных регионах мира. Сутью его является выявление площадей не просто с максимумами макротрещин, но — с трещиноватостью равномерно ориентированной по всем основным направлениям («изотропной»). Предпочтение аномалиям макротрещиноватости подобного типа отдается потому, что занятые ими площади оказываются наиболее проницаемыми при любых изменениях в характеристике полей тектонических напряжений. Использовали этот опыт и в настоящей работе.

Таким образом, целью настоящего исследования явилась прогнозная металлогеническая

оценка и районирование территории южного склона Воронежской антеклизы с использованием анализа макротрещиноватости. Автор исходил из представления, что наиболее проницаемыми для флюидов и гидротерм площадями являются зоны максимума трещиноватости. Решалась задача корреляции линеаментных характеристик и минерагенического районирования территории с учетом локализации известных рудопроявлений и месторождений, а также выделения новых перспективных площадей.

На анализируемой территории Курской, Белгородской, Воронежской областей было выделено более 32650 линеаментов. Наше исследование характеризуется значительной малостью выделяемых линеаментов (первые сотни метров). Статистическая информация по обработанным линеаментам представляется следующим образом (см. табл. 1).

Таблица 1
Статистические данные по линеаментному материалу

| | |
|-------------------------|----------|
| Количество линеаментов | 32644 |
| Длина мин., км | 0,301 |
| Длина макс., км | 44,469 |
| Сумма длин, км | 53501,68 |
| Средняя длина, км | 1,63894 |
| Сред. квадр. отклонение | 1,42607 |
| Дисперсия | 1,19418 |

При разработке алгоритма оценки трещиноватости и построения линеаментных карт нами использовался опыт исследователей В. А. Милашева [8] и Gyoo-Vum Kim [18]. Последний указанный автор использовал расчет плотности линеаментов для целей гидрогеологических изысканий.

Для автоматизации выполнения работы автором был разработаны модули ГИС MapInfo — Lineastat 1.0 и Rosediagram 1.0. Назначением первого является автоматизация географического учета линеаментов с использованием квадратных окон осреднения и подготовка данных для последующей пространственной обработки в модуле ArcView Spatial Analyst компании ESRI или программе Surfer фирмы Golden Software. Второй модуль предназначен для автоматизированного анализа направлений линеаментов и создания карты роз-диаграмм.

В ходе настоящего этапа исследований были составлены карты: макротрещиноватости (рис. 1), типов роз-диаграмм (рис. 2) и анома-

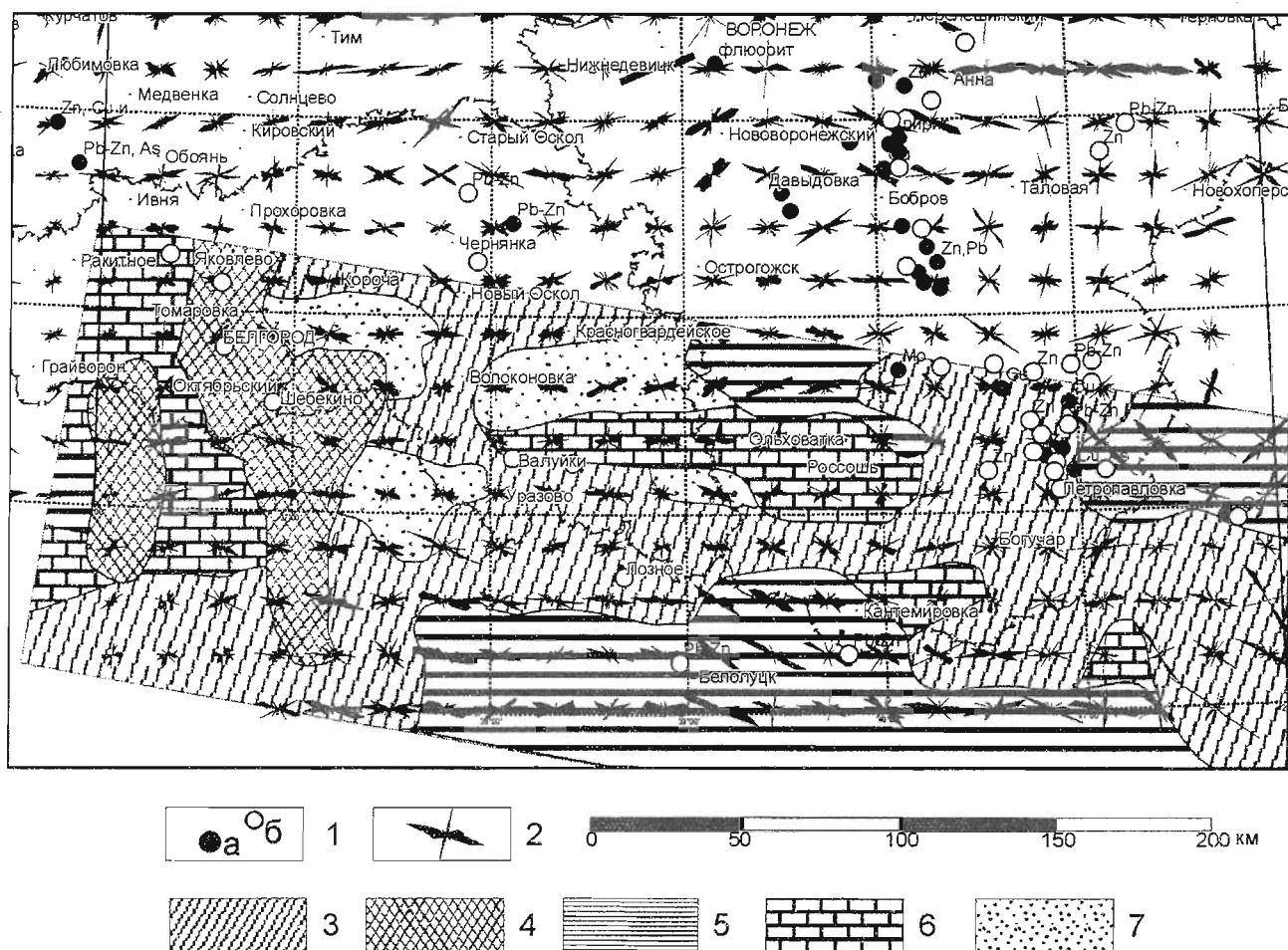


Рис. 2. Районирование территории юго-западного склона Воронежской антеклизы по типам роз-диаграмм и степени изотропии в распределении макротрещин.: 1 — установленные рудопро́явления (а — кристаллический фундамент, б — осадочный чехол); 2 — роз-диаграммы, характеризующие основные направления макротрещиноватости на данном участке; 3—7 — площади с различными типами макротрещиноватости, в т.ч.: 3 — весьма изотропной, 4 — изотропной, 5 — с преобладанием СЗ направлений, согласных с простиранием основных тектонических структур, то же, северо-восточных, секущих по отношению к основным тектоническим структурам, 7 — то же, широтных

лий макротрещиноватости (рис. 3 и 4). На карте макротрещиноватости отразился весь массив полученных первичных данных для большей части Воронежской антеклизы. Не смотря на то, что дистанционные материалы были сравнимого качества для всей территории, уже визуально, без дополнительной обработки заметны неравномерности в распределении линейных элементов и намечаются зоны их сгущения и разряжения, различная ориентировка на разных площадях. Для количественной характеристики основных параметров поля макротрещиноватости созданы вспомогательные графические материалы. На карте (рис. 2) множественные розы-диаграммы позволили показать все разнообразие направлений макротрещин,

свойственных каждой элементарной (первичной) площади. В дальнейшем это легло в основу районирования юго-западного склона антеклизы по типам трещиноватости, которых было учтено семь.

Карта плотности трещин (рис. 3) позволила количественно оценить условную проницаемость разных частей изученной территории. Для характеристики каждой учтенной точки было использовано отношение $k \times n / S$ [км/км²], где n — число линеаментов, S — площадь, k — масштабный коэффициент (принимается равным 10). Наконец, карта плотностей длин дешифрирующихся линейных элементов (рис. 4) иллюстрирует распределение по площади величины $k \times l / S$ [км/км²], где l — длина линеаментов,

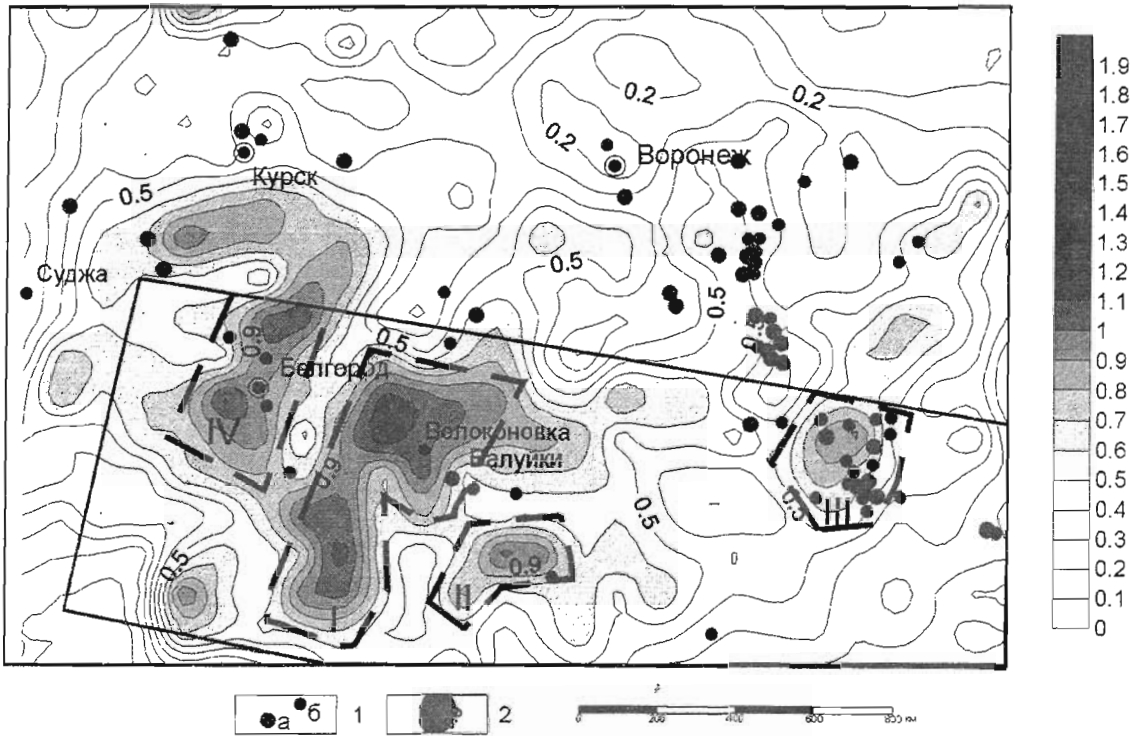


Рис. 3. Карта густоты макротрещин (длины трещин). Условные обозначения: 1 — установленные рудопроявления (а — кристаллический фундамент, б — осадочный чехол); 2 — область значений (шкала сбоку справа). Черными контурами выделены площади, перспективные на обнаружение полиметаллических залежей, в т.ч. (римские цифры:) Волоконовско-Краснолиманская (I), Троицкая (II), Северо-Богучарская (III), Белгородский (IV)

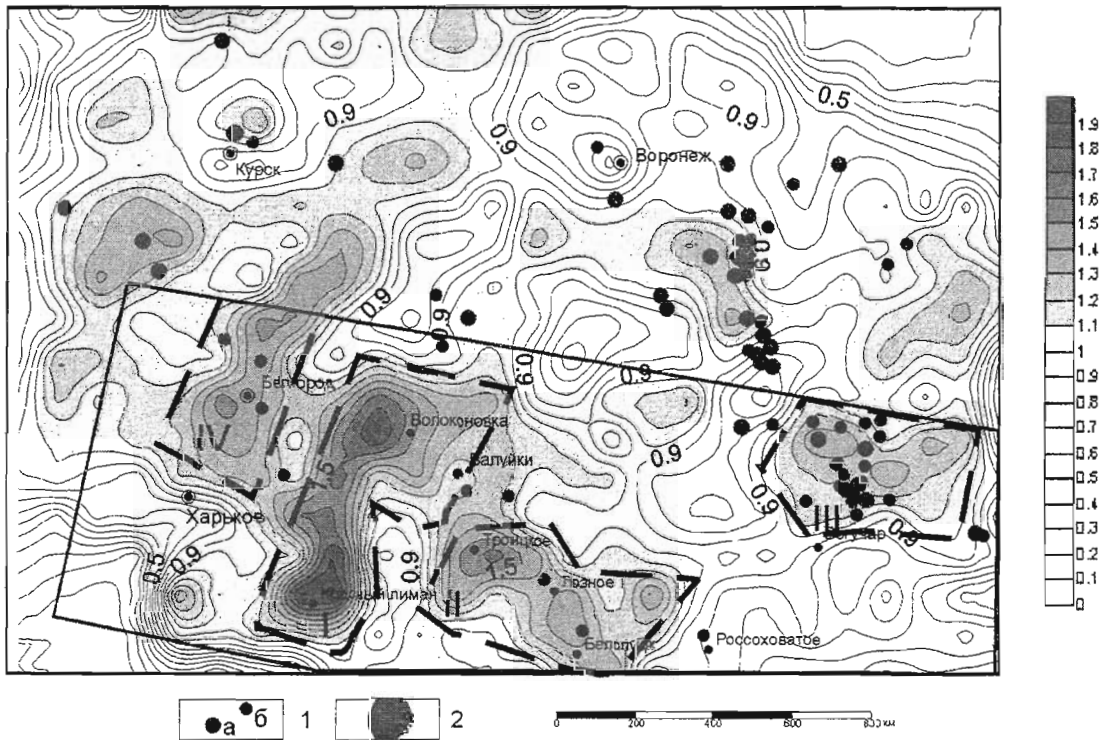


Рис. 4. Карта густоты макротрещин (число трещин). Условные обозначения: 1 — установленные рудопроявления (а — кристаллический фундамент, б — осадочный чехол); 2 — область значений (цветовая шкала сбоку справа). Черными контурами выделены площади, перспективные на обнаружение полиметаллических залежей, в т.ч. (римские цифры:) Волоконовско-Краснолиманская (I), Вейделевско-Белолуцкая (II), Северо-Богучарская (III), Белгородская (IV)

S — площадь, k — масштабный коэффициент (в нашем случае равный 10).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ

На представленных картах, характеризующих различные аспекты макротрещиноватости, юго-западный склон вполне осознанно приводится не сам по себе, а в совокупности со сводом антеклизы и большей частью ее северо-восточного склона. Это позволяет читателю получить хотя бы беглое впечатление об изменчивости всего поля макротрещиноватости (ПМК) региона, и значит, специфика юго-запада структуры станет для него очевидной. Максимумы плотности макротрещин (и длины, и плотности) повсеместно тяготеют к рудным районам осадочного чехла (Белгородско-Миллеровскому, Курскому, Восточно-Воронежскому), при том, что их минимумы приходятся на безрудные площади архейских срединных массивов (Курско-Карачаевский, Сумской и т.д.). На юго-западный склон к северу от Россоховатого (см. рис. 4) выходит древний Россошанский массив. На его территории не известны проявления полиметаллов в осадочной толще фанерозоя; он, действительно, фиксируется минимальными индексами ПМК.

Весьма интересным и новым результатом настоящей работы представляется обнаружение выраженной поперечной зональности юго-западного склона. Она проявлена в полосовой изменчивости плотностных параметров макротрещиноватости: Белгородская, Волоконовско-Краснолиманская, Вейделевско-Белолуцкая, Северо-Богучарская зоны максимальных значений разделяют площади с очень низкими аналогичными индексами. В том, что мы в данном случае явно имеем дело с рудоконтролирующими структурами, убеждает приуроченность к названным зонам всех основных проявлений полиметаллов в известняках башкирского яруса, описанных Е. Г. Сушуком [15]. Следовательно, основной практической рекомендацией должно явиться смещение внимания исследователей к центральному осевым частям названных зон.

В заключении скажем несколько слов и о значении изотропии для рассматриваемой проблемы (см. рис. 2). Обнаруживавшиеся контуры площадей с различными типами роз-диаграмм, оказались более плавными. Поперечные зоны тоже присутствуют, но различаются не столь контрастно, и Белгородская и Волоконовско-

Краснолиманская образовали единый контур. Появляются и новые формы (Грайворон), геологическая природа которых пока не ясна. Метод исследования изотропной макротрещиноватости В. А. Милашова имеет алмазопоисковую направленность. С этих позиций в рамках настоящих построений действительно представляет интерес часть Россошанского массива к югу от г. Россоши, на который давно обращено внимание специалистов НИИ геологии ВГУ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агейкин А.С., Чернышов Н.М., Молотков С.П. и др. Медная и никелевая минерализация в терригенных отложениях верхнего девона на юго-востоке Воронежской области // Сов. Геология, 1968, № 1. — С. 122—125.
2. Артеменко Г.В. Геохронология Среднеприднепровской, Приазовской и Курской гранит-зеленокаменных областей УЩ и ВКМ. Дисс. докт. геол.-минерал. наук // Киев, 1998, — 323 с.
3. Быков И.Н., Канцеров В.А. Новые данные о строении вулканических образований ястребовского горизонта на юге Воронежской области // Литология и стратиграфия осадочного чехла Воронежской антеклизы. Воронеж, издательство Воронеж. ун-та, 1974. вып. 2 — С. 40—44
4. Геолого-минералогическая оценка нетрадиционных видов сырья на территории Липецкой области. Окончательный отчет по хоздоговорной теме за 2002—2004 гг. (А. Е. Звонарев (отв. исполнитель), А. Д. Савко, Д. А. Дмитриев, А. И. Чашка, В. И. Коптиль и др.). Воронеж, НИИ геологии, 2004 г. — 220 с.
5. Канцеров В.А. Ильменитоносные вулканогенно-осадочные породы позднего-девона юго-востока Воронежской антеклизы. — Автореф. дисс. канд. геол.-мин. наук. Харьков. — 1984. — 23 с.
6. Крестин Е.М., Шустов Ю.А., Егоров А.Ю. Полиметаллическое оруденение в палеозойском осадочном чехле центральных районов Русской платформы // Геол. рудн. мест., 1974, № 4. — С. 63—69.
7. Металлогения Украины и Молдавии. / Под редакцией Я. Н. Белевцева. — Киев: Наук. думка, 1974. — 508 с.
8. Милашев В.А. Структуры кимберлитовых полей // Ленинград: Недра, ленинградское отделение, 1979. — 183 с.
9. Недра России. В двух томах. Том 1. Полезные ископаемые. Подред. Н. В. Межеловского, А. А. Смылова. СПб.—М., 2001. — С. 172—261
10. Раскатов Г.И. Геоморфология и неотектоника территории Воронежской антеклизы. Воронеж, Изд-во ВГУ, 1969. — 164 с.
11. Скаржинский В.И. Эндогенная металлогения Донецкого бассейна. — Киев: Наук. думка, 1973. — 201 с.

12. Смирнов В.И., Гинзбург А.И., Григорьев В.М., Яковлев Г.Ф. Курс рудных месторождений. Учеб. для вузов. Под ред. В. И.Смирнова. 2-е изд, перераб. и доп. М., Недра, 1986. — 360 с.

13. Сравнительный анализ докембрийских структур Ростовского выступа и юга Воронежской антеклизы / А. В. Зайцев, А. Г. Грановский, М. М. Рышков, Г. В. Зеленщиков // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Естеств. науки. — 2003. — № 2. — С. 106—112.

14. Старухин А.А. Неотектоника восточного крыла Среднерусской антеклизы прилегающей части Окско-Донской впадины. Автореф. дис. к.г.-мин. наук. Воронеж, 1973. — 22 с.

15. Суцук Е.Г. Старобельско-Миллеровский минерагенический район // Металлогения фанерозоя платформенной части Украины. — Киев, Наукова Думка, 1984. — С. 136—139

16. Трегуб А.И. Неотектоника территории Воронежского кристаллического массива. Труды НИИ геологии ВГУ, в. 8. Воронеж, 2002. — 220 с.

17. Шевырев Л.Т., Савко А.Д., Шишов А.В. Эволюция тектонической структуры Воронежской антеклизы и ее эндогенный рудогенез. — Воронеж, 2004. — 191 с.

18. Gyoo-Bum Kim Construction of the lineament density map with ArcView and Avenue // <http://gis.esri.com/library/userconf/proc03/abstracts/a0990.pdf>