

4. Результаты исследований показывают, что метан в угленосной толще Донбасса генерировался не только во время максимального прединверсионного погружения, но и на более поздних этапах, что позволяет по-новому взглянуть на вопросы его сохранности и потенциальные возможности обнаружения крупных месторождений.

Библиографический список.

1. Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР. — М.: Госгеолтехиздат, 1963. — Т.1. — 1201с.
2. Нагорный Ю.Н., Нагорный В.Н. Особенности геологического развития Донецкого бассейна // Геотектоника, 1976. — №1. — С. 74–86.
3. Левенштейн М.Л., Спирина О.И., Носова К.Б., Дедов В.С. Карта метаморфизма углей Донецкого бассейна. — М.: Мингео СССР, 1991. — 10 л.
4. Гордиенко В.В., Усенко О.В. Геосинклинальный процесс на примере герцинской геосинклинали Донбасса // Геоф. журн, 2000. — № 5. — С.33–38.
5. Лазаренко Е.К., Панов Б.С., Груба В.И. Минералогия Донецкого бассейна. — Киев: Наук. думка, 1975. — Ч.1. — 254 с.
6. Привалов В.А. Вращение блоков и сценарий тектонической эволюции Донецкого бассейна // Геология і геохімія горючих копалин, 1998. — №4. — С. 142–158.
7. Жерновая Г.Г. Магматермический метаморфизм углей Южного Донбасса. — Киев: Препринт ИГН АН Украины, 1989. — 46 с.
8. Привалов В.А., Панова Е.А., Азаров Н.Я. Тектонические фазы в Донецком бассейне: пространственно-временная локализация и характер проявления // Геология і геохімія горючих копалин, 1998. — №4. — С. 11–18.
9. Jaques A.L., Green D.H. Anhydrous melting of peridotite at 0–15 kb pressure and the genesis of tholeiitic basalts // Contrib. Mineral. Petrol. — 1980. — V73. — P. 287–310.
10. Falloon T.J., Green D.H., Hatton C.J., Harris K.L. Anhydrous partial melting of a fertile and depleted peridotite from 2 to 30 kb and application to basalt petrogenesis // J. Petrol. — 1988. — V29. — P. 1257–1282.
11. Глубинное строение, эволюция флюидно-магматических систем и перспективы эндогенной золотоносности юго-восточной части Украинского Донбасса / Под ред. В.А. Шумлянського. — Киев: Изд. ИФИ Укр. науч. асоц., 1996. — 74 с.
12. Ziegler P.A. Evolution of the Arctic — North Atlantic and the Western Tethys // Amer. Assoc. Petrol. Geol. Mem. — 1988. — V43. — 198 p.
13. Sweeney J.J., Burnham A.K. Evaluation of a simple model of vitrinite reflectance based on chemical kinetics // Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bulletin. — 1990. — V73. — P. 1559–1570.
14. Everlien G. High-temperature programmed pyrolysis of Paleozoic source rocks from Northern Germany and adjacent areas and its thermodynamic constraints // Org. Geochem. — 1996. — V24. — P. 985–998.
15. Стомба С.Н., Стифенсон Р.А. Сравнительный анализ строения и истории формирования юго-восточной части Днепровско-Донецкой впадины и Донецкого складчатого сооружения // Геоф. журн., 2000. — № 4. — С.37–61.

© Привалов В.А., Саксенхофер Р., Жикаляк Н.В., Писковой М.А., Панова Е.А., 2001

УДК 550.372 (478.9)

АНЦИФЕРОВ А.В., БЕЛЯВСКИЙ В.В., НИКОЛАЕВ Ю.И., НОВГОРОДЦЕВА Л.А., СЕТАЯ Л.Д. (УкрНИМИ)

ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ДОНБАССА И ПРИАЗОВЬЯ

Было проведено комплексное геофизическое исследование металлогенических зон и провинций, где формировались рудные поля и месторождения золота. Построенные объемные геоэлектрические модели золоторудных месторождений При-

строенные объемные геоэлектрические модели золоторудных месторождений Приазовья и Донбасса показывают, что при поисках золотого оруденения электрические параметры являются наиболее информативными геофизическими признаками. Они позволяют выделить перспективные площади и подсчитать прогнозные ресурсы по Бобриковской и Михайловской площадям и участкам Сорокинской тектонической зоны.

Проблема поиска золоторудных месторождений на Украине заключается в осмысливании накопленного материала, выборе соответствующего комплекса геолого-геофизических, геохимических методов и разработке методики поисков.

Она содержит следующие задачи прогноза:

— формирование информационной базы, содержащей мобильную систему полевых геофизических наблюдений, позволяющих получать необходимую информацию в условиях техногенных и геологических шумов Донбасса и УЩ, обработки и анализа электрозведочной информации в полевых условиях на переносных компьютерах и принтерах;

— построение эталонных геолого-геофизических моделей золоторудных месторождений и полей в масштабах от 1:1000 до 1:5000, содержащих блоки объемного 1D-, 2D, 3D-математического моделирования электромагнитных полей, блок изучения физических свойств пород, руд и составление петрофизических моделей;

— построение прогнозно-металлогенических карт на основе электрических, гравиметрических, геологических, структурно-формационных, тектонофизических, геохимических карт и разрезов, отражающих рудораспределение с использованием современных геоинформационных систем типа Map Info;

— выделение площадей, перспективных для выделения промышленных месторождений золота, базирующееся на сравнении модельных и экспериментальных геолого-геофизических признаков по составленным прогнозно-металлогеническим картам и геолого-геофизическим разрезам с последующим применением 1D-, 2D- и 3D-моделирующих и 1D-, 2D-инверсионных систем, позволяющих оценивать параметры рудного тела и его рудоносный потенциал.

Виды моделей:

а) Структурно-формационные:

- 1) Магматические комплексы и их анализ;
- 2) Тектонический анализ.

б) Литолого-структурные:

- 1) структурно-геодинамические карты (анизотропия);
- 2) структурно-тектонофизические карты (по коэффициентам Лодэ-Надаи);
- 3) карты результатов интерпретации геофизических данных.

в) Модели метасоматоза и рудообразования:

- 1) петрографические;
- 2) химические (минералогические и элементов);
- 3) время образования;
- 4) химических ореолов и образцов зон минерализации (по рентгенометрическому анализу);

5) термобарогеохимические с выделением высоко-, средне-, и низкотемпературных метасоматитов (газожидкие включения в кварце).

г) Геохимические:

- 1) рудных тел — элементов, привноса — выноса элементов;

- д) Петромагнитные.
- е) Петроплотностные.
- ж) Геоэлектрические.

С целью построения геолого-геофизических моделей месторождений на первом этапе проводилось комплексное геофизическое исследование металлогенических зон и провинций, где формировались рудные поля и месторождения золота.

В Центральном Донбассе металлогения обусловлена инверсией отложений карбона, сопровождающейся интенсивной гидротермальной проработкой наиболее проницаемых участков коры. Последнее определяет наложение разноплановых и разновозрастных тектонических движений. Эти подвижки вдоль осей антиклиналей поперек простирания структур и наложенные субширотные и субмеридианальные. Были выполнены специальные геоэлектрические, термометрические и гравиметрические экспериментальные и методические исследования, в результате которых установлено, что Бобриковскому, Остробугорскому, Новопавловскому, Есауловскому, Нагольчанскому и Ольховатскому рудным полям отвечают в прошлом и настоящем области повышенного теплового потока и повышенной проводимости (рис. 1).

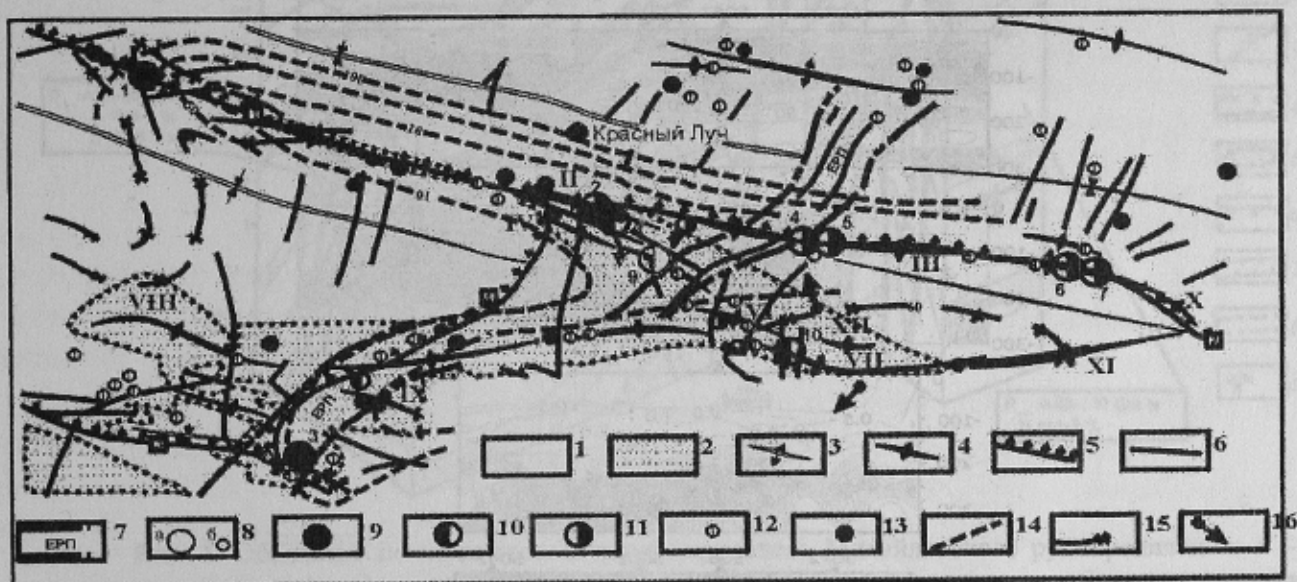


Рис. 1. Карта золотоносности Центрального Донбасса (сняты отложения мезокайнозоя): 1 — отложения карбона, залегающие выше амвросиевской свиты, 2 — отложения амвросиевской свиты (C20), 3 — синклинали, 4 — антиклинали (I — Ольховатская, II — Есауловская, III — Орехово-Тарасовская, IV — Остробугорская, V — Нагольчанская, VI — Дьяковская, VII — Бобриковская, VIII — Зуевская, IX — Несветаевская, X — Грузская, XI — Ермаковская, XII — Красновская), 5 — главные надвиги (в квадрате: 1 — Осевой, 2 — Сулино-Константиновский, 3 — Мушкетовский, 4 — Миусинский), 6 — другие разрывные нарушения, 7 — контур Еланчик-Ровеньковского поднятия (вала), 8 — месторождения (а) и перспективные рудопроявления (б) (1 — Михайловское, 2 — Есауловское, 3 — Журавлевское, 4 — Ореховское, 5 — Грековское, 6 — Нагольно-Тарасовское, 7 — Журавское, 8 — Остробугорское, 9 — Нагольчанское 10 — Бобриковское), 9–13 типы минерализации: 9 — преимущественно золото-пиритовый, 10 — золото-полиметаллический, 11 — серебро-полиметаллический с повышенным содержанием золота, 12 — полиметаллический, 13 — ртутный, 14–15 — аномалии электрического и теплового полей по данным региональных исследований: 14 — электропроводности (в Омм) по данным МТЗ для глубины 6 км, 15 — теплового потока, мВт/м², 16 — вектора Визе-Паркинсона (1см соответствует 0,2 у.е.)

При этом максимум проводимости приходится на Бобриковскую антиклиналь, где $S \approx 10^4$ См и проводники приближаются к дневной поверхности на 1–2 км, что свиде-

тельствует об интенсивной гидротермальной проработке, приведшей к появлению сульфидизированных образований окварцевания и графитизации. Здесь же наблюдается максимальная амплитуда инверсии. Здесь содержащий золото формационный тип образований геосинклинального этапа развития — золото-сульфидно-углеродистый.

На Михайловском рудопроявлении по данным гравиметрии и термометрии выделен термальный купол, связанный с залеганием гранитоидного тела на глубинах около двух километров. Об этом свидетельствуют и гидротермальные метасоматиты. С выявленными здесь березитами связаны месторождения золотоносного пирита в песчаниках S_2^0 (амвросиевская свита).

Рудопроявление приурочено к антиклинали третьего порядка, образованной в результате ундуляции оси Ольховатской антиклинали. Сульфидизированные песчаники выделяются относительно высокими значениями интегральной проводимости в 4–10 См при фоновых 1–2 См. Они обладают и повышенной поляризуемостью 5–7% при фоне 1–2%. Установлено, что сульфидно-сульфосольная вкрапленная минерализация в песчаниках имеет фоновое повышенное значение ρ с $\eta=6-18\%$ приводит к повышению η до 10–12 (рис. 2) при тех же значениях ρ .

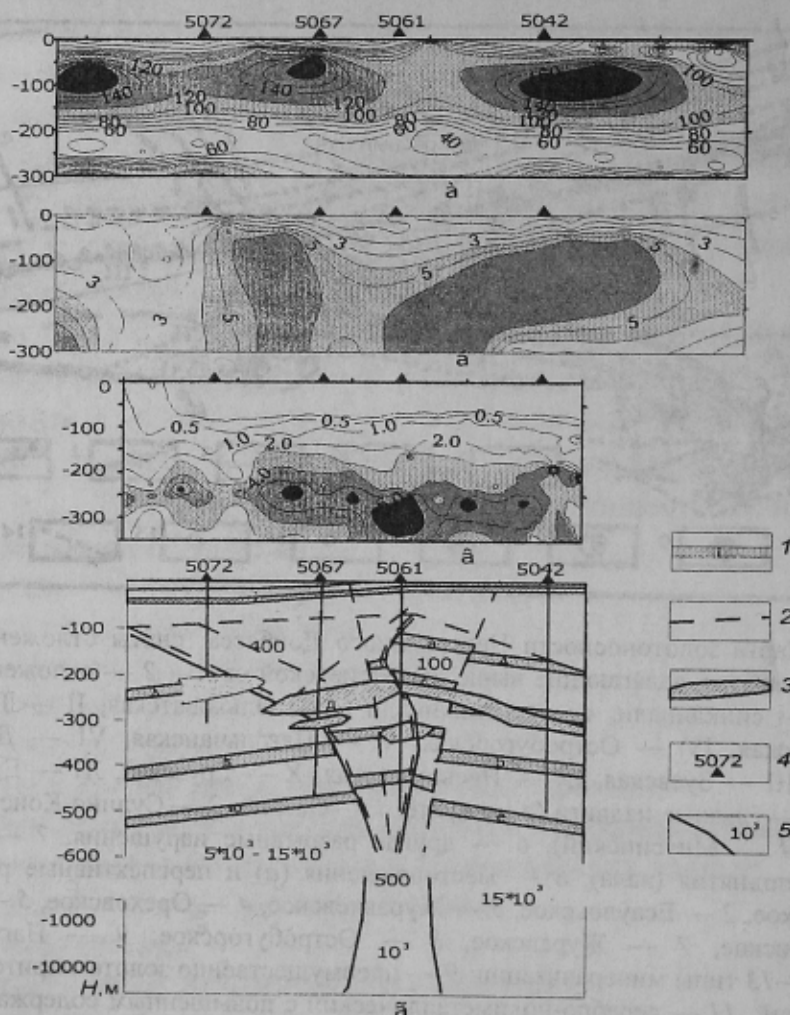


Рис. 2. Результаты работ методами ВЭЗ-ВП, МПП и АМТЗ на Михайловском рудопроявлении: а — разрез изоом по данным ВЭЗ, б — разрез изолиний поляризуемости (%) по данным ВЭЗ-ВП, в — разрез продольной проводимости S (См) по данным МПП, г — продольный геолого-геофизический разрез вдоль Михайловского рудопроявления, построенный по данным АМТЗ: 1 — песчаник, 2 — тектонические нарушения, 3 — зона рудной минерализации по данным бурения, 4 — буровая скважина и ее номер, 5 — граница зоны продольной проводимости и значения сопротивления

Безрудные метасоматиты в верхних частях разреза характеризуются повышенным $\rho=130-200$ Ом·м, а березитовые песчаники имеют $\rho=20-90$ Ом·м. Приуроченность минерализации к областям пересечений разломов позволяет картировать эти узлы с помощью методов электроразведки и отчасти гравиметрии. Метод АМТЗ позволяет проследить эти изменения до глубин свыше 1 км. Такой канал выделен и по продольному профилю вдоль Ольховатской антиклинали, прослеженный также и в аномалиях ВП.

В результате нами составлена объемная геоэлектрическая модель Михайловского рудопоявления. В ней безрудные метасоматиты имеют $S=2-3$ См и $\eta=2-5\%$; рудные метасоматиты $S=4-10$ См, $\eta=5-7\%$ с $\rho=30-40$ Ом·м, а алевролиты — $\eta=1-2\%$, $\rho=40-120$ Ом·м (рис. 3).

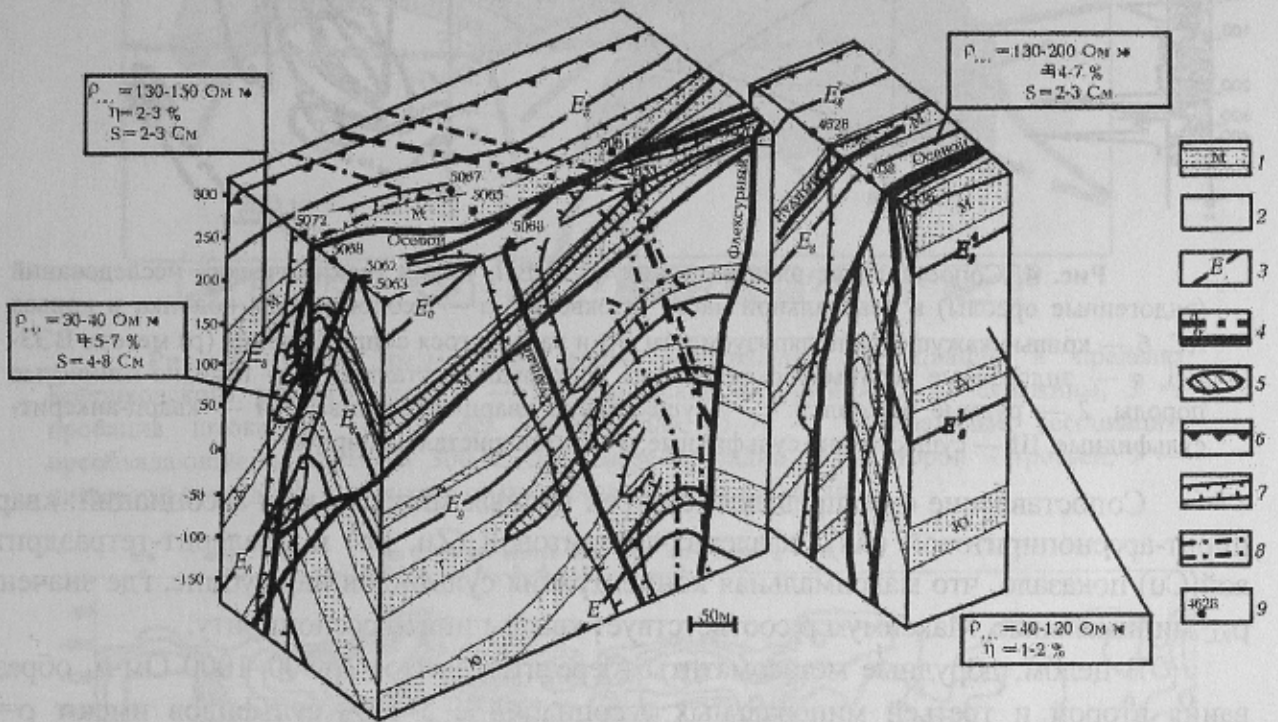


Рис. 3. Объемная литолого-геоэлектрическая модель Михайловского рудопоявления: 1 — песчаники и их индексы, 2 — аргиллиты и алевролиты, 3 — известняки, 4 — разрывные нарушения: а — по данным бурения, б — по геофизическим данным; 5 — рудная зона, 6—8 — границы зон: 6 — березитизации, 7 — донбассит-анкеритовых метасоматитов, 8 — каолинизации и диккитизации, 9 — скважина и ее номер; электрические свойства пород: $\rho_{ВЭЗ}$ (Омм) — кажущееся сопротивление по данным ВЭЗ-ВП, η (%) — поляризуемость пород по данным ВП, S (См) — проводимость пород по данным МПП (в модели горизонтальный и вертикальный масштабы одинаковы)

Бобриковское золото-полиметаллическое месторождение сосредоточено в аргиллитовых толщах. Морфология рудной залежи обусловлена системой прожилков субмеридионального, северо-западного и северо-восточного простирания. Состав прожилков кварцевый и кварц-анкеритовый с вкрапленностью пирита и арсенопирита, галенито-сфалерита (так называемая золото-кварц (карбонат)-сульфидная субформация). Для выделения Бобриковского штоковерка необходимо: определить рудоподводящее разрывное нарушение и рудолокализирующие зоны прожилков — оконтурить зоны максимальной проницаемости и зоны дорудных метасоматитов. По значениям $\rho_{КС}$ выделяются: высокоомные слои песчаников и низкоомные слои углеродистых сланцев с $\rho=10-100$ Ом·м; области сульфидной минерализации с $\eta=8-10\%$; кварц-серицитовые слои с $\rho_{КС}$ 150–600 Ом·м; а также рудные каналы с $\rho_{КС}=150-200$ Ом·м и $\eta=4-6\%$, в них расположены

жилы и прожилки с $\rho_{КС} < 10 \text{ Ом}\cdot\text{м}$. Это находит свое подтверждение и в данных $\rho_{\text{АМТЗ}}$ и $\rho_{\text{ВЭЗ}}$. (рис. 4)

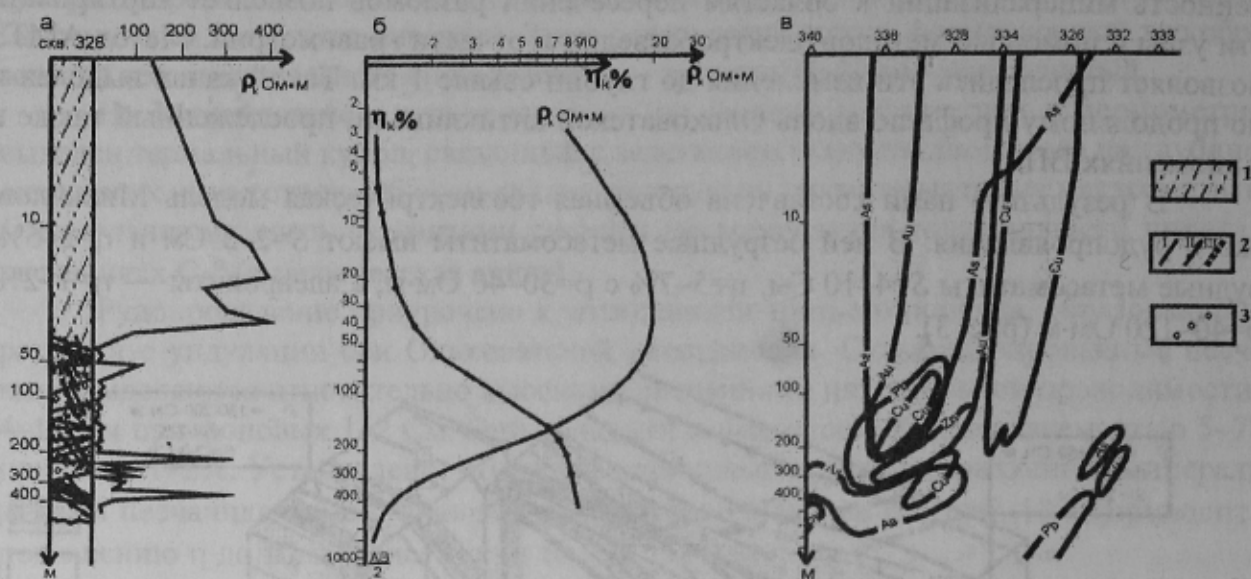


Рис. 4. Сопоставление электрических (ВЭЗ-ВП, КС) и геохимических исследований (эндогенные ореолы) в центральной части штоковерка: а — геологическая колонка и кривая КС, б — кривые кажущейся поляризуемости (η) и кажущегося сопротивления (ρ) метода ВЭЗ-ВП, в — эндогенные геохимические ореолы трех рудных стадий; 1 — песчано-глинистые породы, 2 — рудные прожилки: I — существенно кварц-анкеритовые, II — кварц-анкерит-сульфидные, III — существенно сульфидные; 3 — метакристаллы пирита

Сопоставление с распределением трех рудных минеральных ассоциаций: кварц-пирит-арсенопиритовой (As), сфалерит-галенитовой (Zn, Pb) и сфалерит-тетраэдритовой (Cu) показало, что максимальная концентрация сульфидов на глубине, где значения $\rho_{\text{КС}}$ минимальные. Максимум ρ соответствует кварц-пирит-арсенопириту.

В целом, дорудные метасоматиты (березиты) имеют $\rho=300-1000 \text{ Ом}\cdot\text{м}$, образования второй и третьей минеральных ассоциаций с 5–10% сульфидов имеют $\rho=1-10 \text{ Ом}\cdot\text{м}$, четвертая безрудная — $\rho=1000 \text{ Ом}\cdot\text{м}$. Нами установлена зависимость ρ от типа минерализации (As, Zn, Pb, Cu). В результате построена схема размещения типов минеральных ассоциаций в пределах Бобриковского рудного поля (рис. 5).

Показано, что области распределения максимального вертикального градиента сопротивлений соответствуют максимальной суммарной мощности рудных прожилков и концентраций золота (рис. 6).

На составленной объемной геоэлектрической модели Бобриковского месторождения выделены два канала — высокоомный с кварц-пирит-арсенопиритовой минерализацией и низкоомный — с галенит-сфалеритовой (рис. 7). Верхняя рудосодержащая 300-метровая часть разреза имеет ρ от 30–100 до 0–30 $\text{Ом}\cdot\text{м}$.

На Украинском щите выделяют три генетических типа золоторудных месторождений в золото-железистой вулканогенно-ультраметаморфогенной гранит-зеленокаменной формации (Приднепровье, Приазовье) и в полиметалльно-золотой плутоногенной гранитоидной формации эв- и миогеосинклиналей (Побужье, Кировоградский блок).

Первый генетический тип связан с преобразованием зеленокаменного пояса УЩ (Среднее Приднепровье и Приазовье). Второй — с перераспределением золота в кластогенных верхнеархейских — нижнепротерозойских толщах. Третий связан с формированием в верхнем протерозое Среднего Побужья рудогенерирующих структур на границе земной коры и верхней мантии.

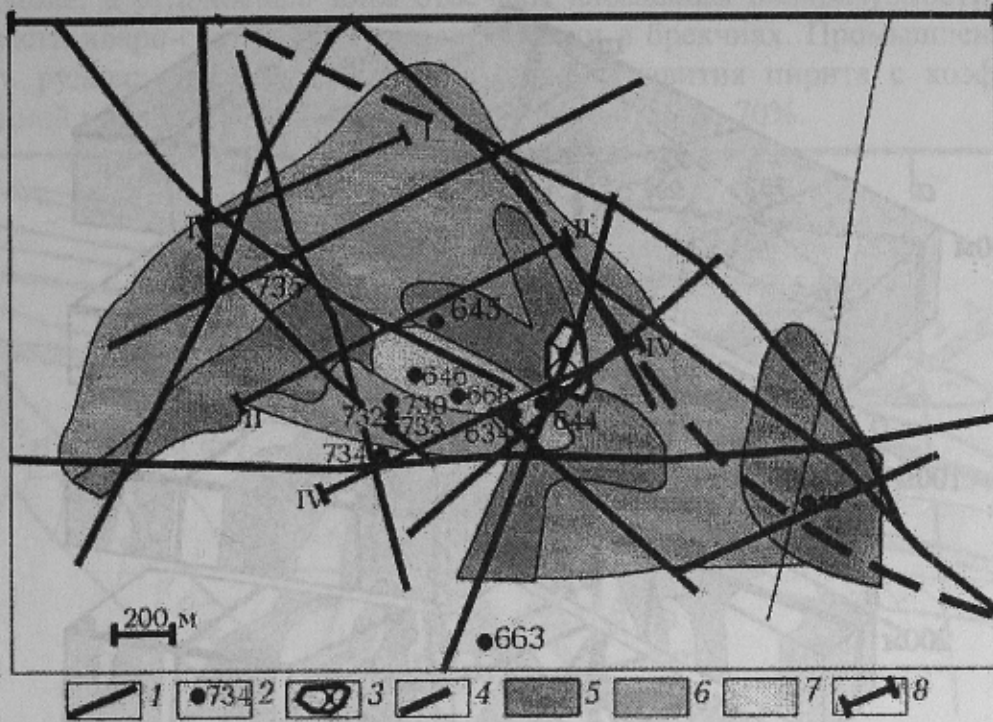


Рис. 5. Схема размещения типов минеральных ассоциаций в пределах Бобриковского рудного поля: 1 — тектонические нарушения, 2 — скважины, 3 — проекция штокверка, 4 — ось антиклинали, 5–7 — минеральные ассоциации, преобладающие до глубины 300 м: 5 — первой стадии, 6 — второй и третьей, 7 — четвертой безрудной, 8 — линия геолого-разведочного профиля

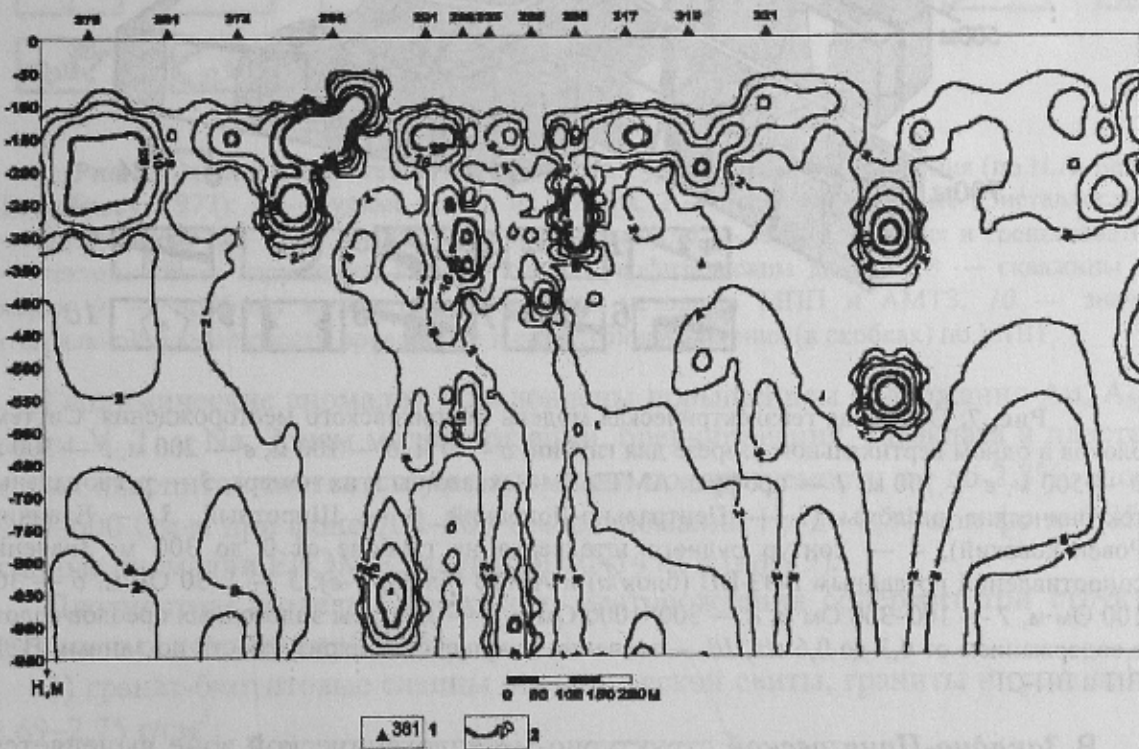


Рис. 6. Сопоставление распределений вертикального градиента сопротивлений ρ кривых АМТЗ и суммарной мощности рудных прожилков по геологическому разрезу IV–IV: 1 — пикеты АМТЗ, 2 — максимальные значения вертикального градиента ρ . Справа дана шкала распределения концентраций рудных прожилков

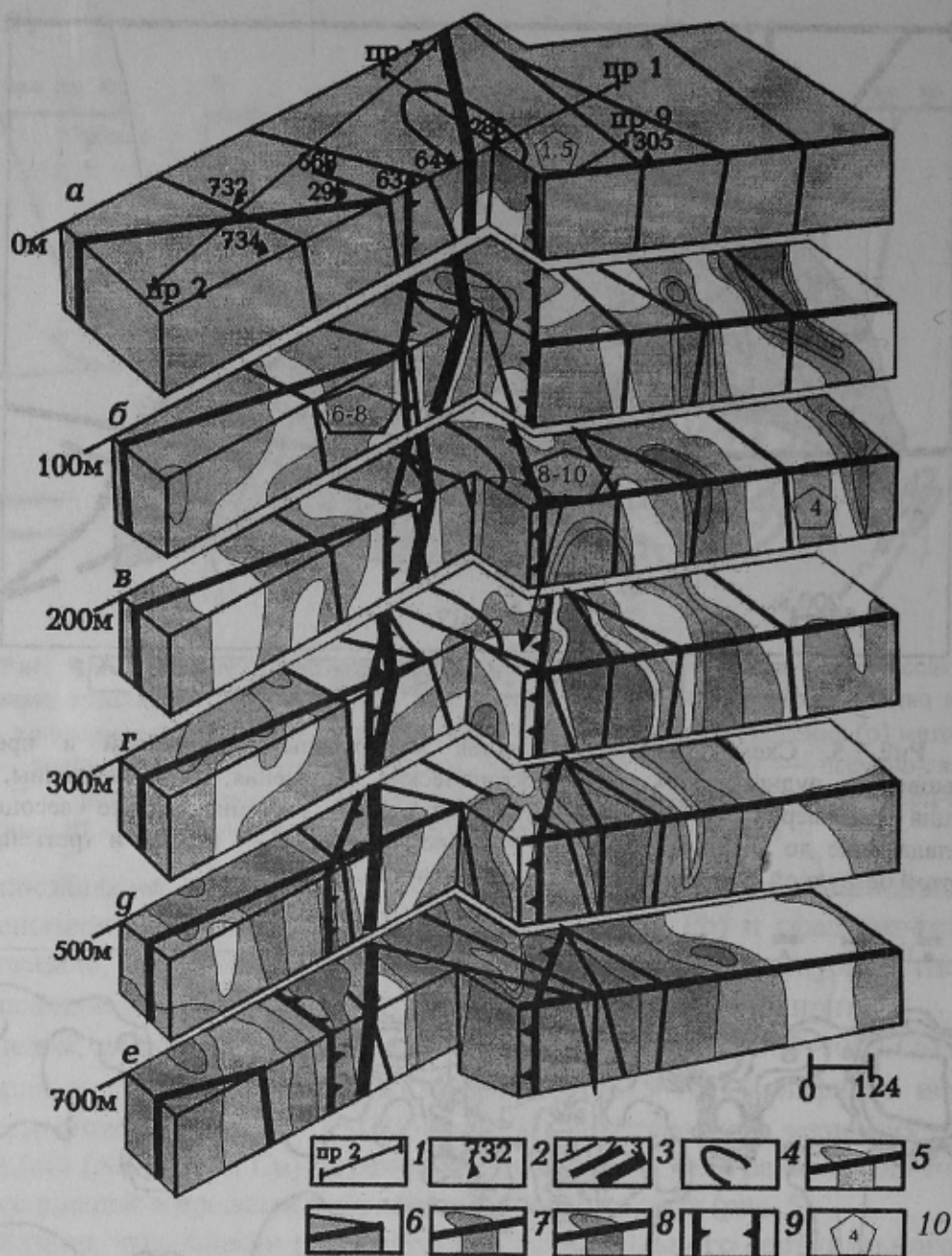


Рис. 7. Объемная геоэлектрическая модель Бобриковского месторождения. Система блоков в одном вертикальном разрезе для глубин: *а* — 0 м, *б* — 100 м, *в* — 200 м, *г* — 300 м, *д* — 500 м, *е* — 700 м; 1 — профили АМТЗ, 2 — скважины и их номера, 3 — региональные тектонические разломы (1 — Центрально-Донецкий, 2 — Широтный, 3 — Еланчик-Ровеньковский), 4 — контур рудного штокерка на глубине от 0 до 300 м. Значения сопротивлений по данным ВЭЗ-ВП (блок *а*) и АМТЗ (блоки *б*–*е*): 5 — 1–30 Ом·м, 6 — 30–100 Ом·м, 7 — 100–300 Ом·м, 8 — 300–1000 Ом·м, 9 — контуры эндогенных ореолов золота с содержанием от 0,3 до 0,6 г/т, 10 — значения кажущейся поляризуемости по данным ВЭЗ-ВП и ВП-СГ

В *Западно-Приазовской* структурно-металлогенической зоне выделяется ряд областей с повышенной интегральной проводимостью в 1500–3000 См, приуроченных к Сорокинской, Темрюк-Каратюкской и Куйбышевской рудоносным зонам. Сорокинская зеленокаменная тектоническая зона содержит метаобломочные породы. Золоторудный процесс развивался в зоне контакта метабазитов, метаультрабазитов и метапелитов (рис. 8). Рудные образования локализуются в эндо- и экзоконтактах тел ме-

таультрабазитов, где располагаются железистые кварциты. Они отражаются в магнитном поле, а рудоносные зоны отвечают аномалиям поляризуемости с $\eta=6-8\%$. Это области кварц-сульфидной минерализации в брекчиях. Промышленная золотоносность рудных тел очерчивается областью развития пирита с коэффициентом электронной проводимости D_n , изменяющимся от 30 до 70%.

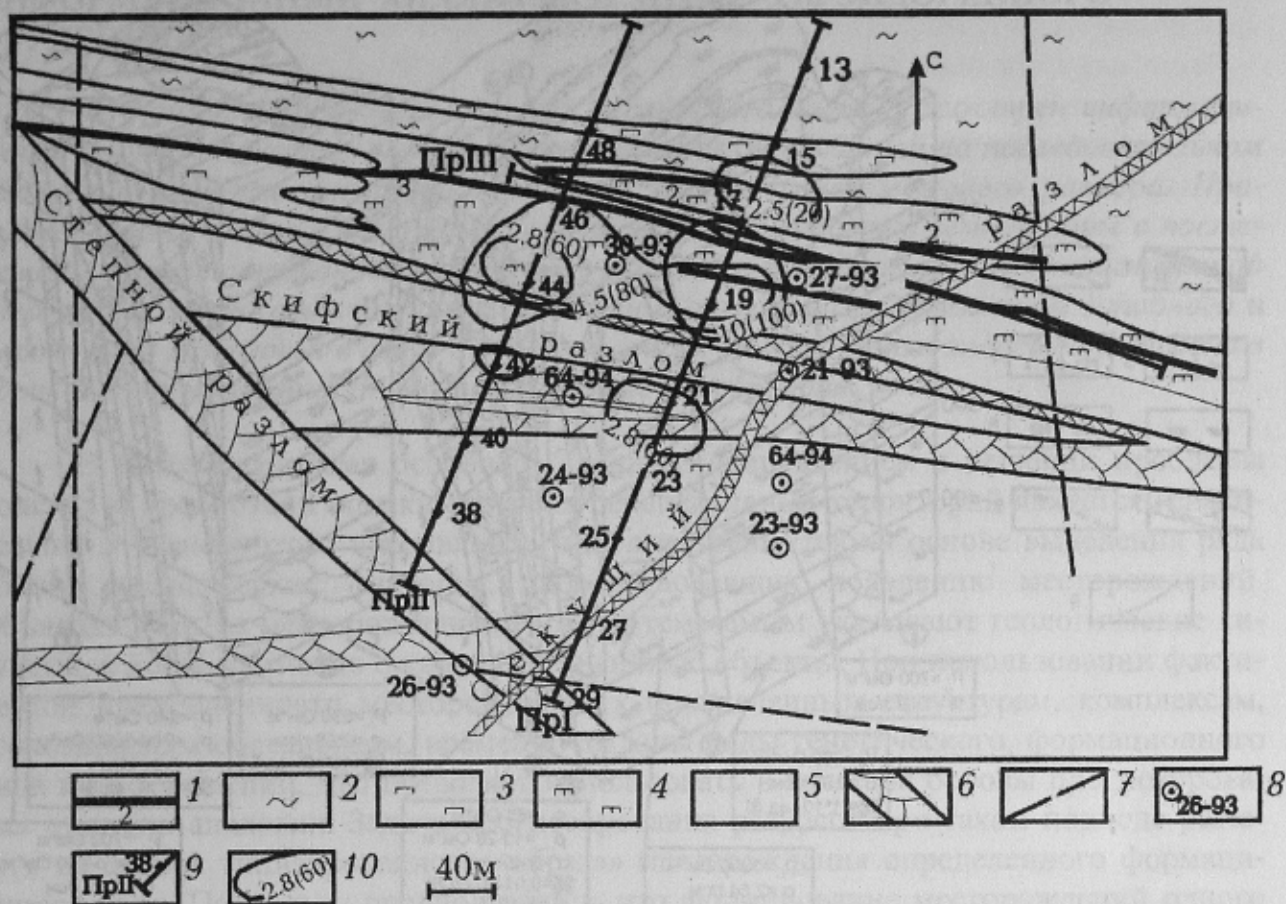


Рис. 8. Схематическая геологическая карта Сурожского месторождения (по Н.А. Белых и А.Б. Боброву, 1977): 1 — рудные тела и их номера, 2 — гранат-биотитовые кристаллосланцы, 3 — актинолиты, 4 — тремолититы, 5 — амфиболиты, 6 — зоны дробления и трещиноватости, 7 — тектонические нарушения, выделенные по геофизическим данным, 8 — скважины и их номера, 9 — профили и пикеты наблюдений методами МПП и АМТЗ, 10 — значения интегральной проводимости проводника и его глубина залегания (в скобках) по МПП

Геохимические аномалии обусловлены повышением содержания Au, Ag, Fe и выносом V, Ti и Na. Зонам милонитизации, брекчирования, катаклаза и пластам железистых кварцитов соответствуют аномалии поляризуемости η_k до 2,8%, аномалии $\rho_k=300-600$ Ом·м при фоне 700–800 Ом·м, аномалии H_z до 0,24 при фоне 0,05 и интенсивные аномалии ЕИЭМПЗ частотой 10–14 кГц (рис. 9).

Плотностная модель Сурожского месторождения содержит три структурно-вещественных комплекса (СВК):

- 1) гранат-биотитовые сланцы осипенковской свиты, граниты и гранодиориты, $\sigma=2,69-2,75$ г/см³;
- 2) амфибол- и тремолитсодержащие породы с $\sigma=2,95-2,97$ г/см³;
- 3) железистые кварциты с $\sigma=3,45$ г/см³.

Петромагнитная модель показала, что наиболее высокими значениями магнитной восприимчивости и магнитной жесткости обладают оруденелые золотоносные куммингтонит-магнетитовые кварциты и зоны $(\sim(30-100)\cdot 10^{-3})$ и $\approx 2-7$ соответ-

венно), наиболее богатые золотые руды с невыдержанным петромагнитным обликом $<10^{-3}$ и ПМЖ <1 . В результате МПП, АМТЗ, ВЭЗ-ВП построена объемная петрофизическая модель.

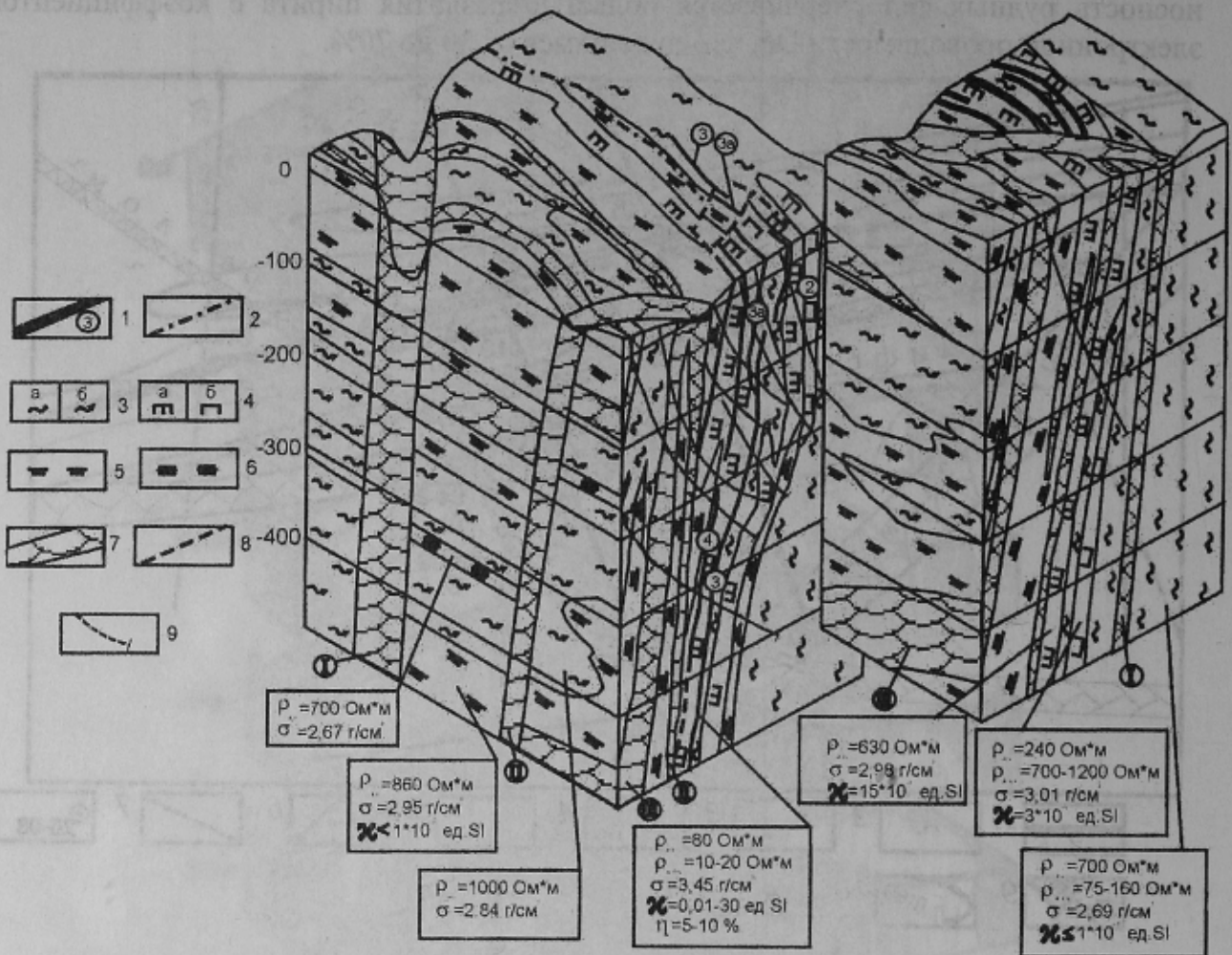


Рис. 9. Петрофизическая модель Сурожского месторождения: 1 — рудные тела и их номера, 2 — метасоматиты магнетит-куммингтонитовые, 3 — кристаллосланцы (а — биотитовые, гранат-биотитовые, б — амфибол-биотитовые, амфиболовые); 4 — апоультраосновные породы (а — актинолититы, б — тремолититы), 5 — амфиболиты, б — кварциты полевошпатовые, 7 — зоны дробления и трещиноватости (разломы: I — Степной, II — Секущий, III — Скифский), 8 — мелкие разрывы, 9 — скважины

Аномально высокими значениями S выделяются рудные зоны катаклазированных пород в телах железистых кварцитов и обогащенные сульфидами биотит-кварцевые метасоматиты с $\rho=10-20 \text{ Ом*м}$ при фоне 1000 Ом*м . Рудоносная зона прослеживается на глубину до 3 км в виде области пониженных $\rho=100-1000 \text{ Ом*м}$ при фоне 10^4-10^5 Ом*м . Построенные геоэлектрические модели золоторудных месторождений Приазовья и Донбасса показывающие, что при поисках золотого оруденения электрические параметры являются наиболее информативными геофизическими признаками, позволяют выделить перспективные площади и подсчитать прогнозные ресурсы по Бобриковской и Михайловской площадям Донбасса и участкам Сорокинской тектонической зоны Приазовского геоблока.