

УДК 55:550.3

ПАНОВ Б. С., КУПЕНКО В.И., **ТАХТАМИРОВ Е.П.** (ДонНТУ)

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ СТРУКТУРНО-ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО КАРТИРОВАНИЯ В ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

На кафедре полезных ископаемых и экологической геологии («ПИ и ЭГ») Донецкого Национального технического университета разработан портативный и экологически чистый прибор ЭФА (электромагнитный фиксатор аномалий) для практической реализации нового направления в геолого-геофизических исследованиях структурно-геодинамического картирования (СГДК). Его авторами являются выпускник кафедры Ю.С. Рябоштан и инженер Е.П. Тахтамиров, которые вместе с другими сотрудниками ПО «Укруглегеология» и кафедры «ПИ и ЭГ», показали не только оригинальность запатентованного в Украине и России, а также других странах мира (США, Канада, Германия и др.) изобретения, но и его практическую значимость [1]. В основе изобретения лежит прикладное использование неизвестного ранее природного явления — анизотропии электрических свойств поверхностного слоя перекрывающих коренные породы отложений, т.е. слабосцементированных или рыхлых глин, песков и антропогенных образований. Обычно они считаются инертной изотропной средой, являющейся помехой при изучении структурно-тектонических особенностей коренных пород. Между тем, их использование в качестве источника информации при изучении современных геодинамических процессов позволяет иногда даже лучше картировать скрытые под наносами структурные неоднородности в горном массиве, чем традиционными методами на открытых площадках. Это объясняется тем, что покровные отложения в силу своих реологических особенностей являются своего рода резонаторами, и в них даже незначительные деформации горного массива вызывают заметные поля напряжений. Такие напряжения резко усиливаются в зонах современных геодинамических движений, что приводит к изменению в них электромагнитных, эманационных, а также других характеристик. Это дает возможность обнаруживать и изучать эти зоны, в том числе новым электромагнитным способом.

Способ СГДК-А является разновидностью индуктивного метода электроразведки, отличаясь от него некоторыми принципиальными особенностями (рис.1). Традиционно индуктивные исследования производятся глубинным электромагнитным зондированием коренных пород, перекрытых наносами, при расстояниях между генератором излучения и приемным устройством в несколько десятков метров. Оно осуществляется энерго- и материалоемким оборудованием при значительных экономических затратах [2]. Новый способ СГДК-А в этом отношении выгодно отличается, т.к. источником информации о глубинных процессах в коренных породах является поверхностная среда (рис 1, а, б). Поскольку обычные средства индуктивного метода электроразведки оказались непригодными для фиксации изменения электрических свойств поверхностной среды в связи с современными геодинамическими процессами, то пришлось создать установку ЭФА, в которой разрешающая способность намного (в $10^3 \dots 10^4$ раз) выше по сравнению со стандартными средствами индуктивного метода. В настоящее время созданы надежные технические средства и метрологическое обеспечение для исследования и практического применения нового явления.

Следует отметить, что способ СГДК-А не подменяет весь комплекс традиционных геолого-разведочных работ, а позволяет оперативнее, экономически эффективнее, без нарушения природной среды получать необходимую для поисково-оценочных, инженерно-геологических, а также иных целей информацию, в том числе не всегда фиксируемую при обычных работах. Это установлено в результате более чем 20-летнего опыта проведения геолого-геофизических работ способом СГДК на различных объектах в Донбассе, Приазовье, Украинском кристаллическом массиве, Средней Азии, Воркуте, Белоруссии, КНР и других местах [3].

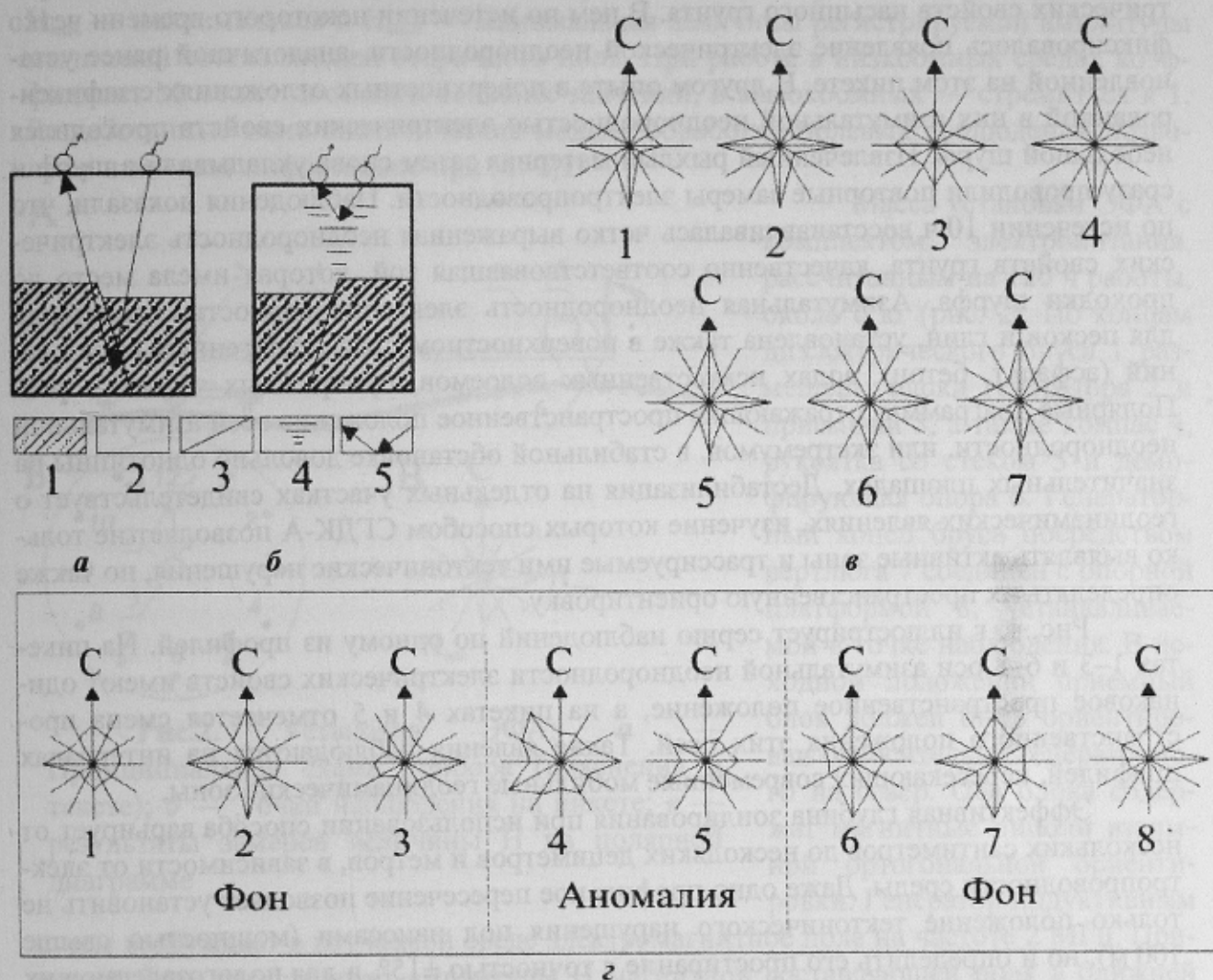


Рис. 1. Индуктивный метод электроразведки: традиционный (А); СГДК (Б); поля азимутальной электропроводности в различных регионах (В): 1 — Припятский прогиб (20000); 2 — Белорусская гряда (10000); 3 — Украинский щит (9300); 4 — Южный Тянь-Шань (2500); 5 — Прикаспийская синеклиза (1500); 6 — Кузнецкий бассейн (1080); 7 — Донбасс (35000); в скобках (количество пикетов); поля электропроводности на пикетах профиля (Г). Пояснения в тексте

Исследования на Украинском щите, Белорусской гряде, в Припятском прогибе, Прикаспийской Синеклизе, Южном Тянь-Шане, Кузнецком и Печорском бассейнах и других районах показали, что азимутальная неоднородность электропроводности рыхлых поверхностных образований развита повсеместно. В обобщенном виде она представляет симметричные в меридиональном и широтном направлениях фигуры, лучи которых ориентированы с севера на юг по магнитному меридиану Земли.

Такая устойчиво проявляющаяся закономерность свидетельствует о существовании мегарегионального поля азимутальной электропроводности, вызванного, по-видимому, явлениями планетарного масштаба (рис. 1, в).

Экспериментами установлены в практически однородных и изотропных средах азимутальная неоднородность электрических свойств и явления ее регенерации. Например, на закрепленном пикете после определения электрической азимутальной неоднородности поверхностный слой перекрывали достаточно мощным почвенным отвалом. Режимные наблюдения на отвале вначале показывали изотропность электрических свойств насыпного грунта. В нем по истечении некоторого времени четко фиксировалось появление электрической неоднородности, аналогичной ранее установленной на этом пикете. В другом опыте в поверхностных отложениях с зафиксированной в них азимутальной неоднородностью электрических свойств проходилась небольшой шурф. Извлеченный рыхлый материал затем снова укладывали в шурф и сразу проводили повторные замеры электропроводности. Наблюдения показали, что по истечении 10 ч восстанавливалась четко выраженная неоднородность электрических свойств грунта, качественно соответствовавшая той, которая имела место до проходки шурфа. Азимутальная неоднородность электропроводности, характерна для песков и глин, установлена также в поверхностном слое техногенных образований (асфальт, бетон), водах искусственных водоемов, прибрежных частях морей. Полярные диаграммы, отражающие пространственное положение осей азимутальной неоднородности, или экстремумов, в стабильной обстановке довольно однотипны на значительных площадях. Дестабилизация на отдельных участках свидетельствует о геодинамических явлениях, изучение которых способом СГДК-А позволяет не только выявлять активные зоны и трассируемые ими тектонические нарушения, но также определять их пространственную ориентировку.

Рис. 1, г иллюстрирует серию наблюдений по одному из профилей. На пикетах 1–3 и 6–8 оси азимутальной неоднородности электрических свойств имеют одинаковое пространственное положение, а на пикетах 4 и 5 отмечается смена пространственного положения этих осей. Такие явления наблюдаются на интервалах профилей, пересекающих современные мобильные геодинамические зоны.

Эффективная глубина зондирования при использовании способа варьирует от нескольких сантиметров до нескольких дециметров и метров, в зависимости от электропроводности среды. Даже одно профильное пересечение позволяет установить не только положение тектонического нарушения под наносами (мощностью свыше 100 м), но и определить его простираение с точностью $\pm 15^\circ$, а для пологозалегающих структур и направление падения.

В настоящее время созданы надежные технические средства и метрологическое обеспечение для исследования и практического применения этого явления. Чтобы отличить обнаруженное новое свойство от известной двухосной анизотропии электрических свойств горных сред, обусловленной их естественной неоднородностью по вертикали и горизонтали, целесообразно ввести понятия «азимутальная электропроводность» и «поле азимутальной электропроводности». Уже известны примечательные свойства поля азимутальной электропроводности, обеспечивающие эффективное решение ряда практических задач с помощью установки ЭФА (электронный фиксатор аномалий), которую можно отнести к классу приборов индуктивного профилирования типа ДИП-ЖК.

Это горизонтальная малобазовая установка с жестким креплением магнитных диполей, рассчитанная на работу в горной среде со следующими параметрами: удельное объемное сопротивление $\rho=50 \text{ Ом}\cdot\text{м}$, диэлектрическая проницаемость $\epsilon=15$,

магнитная проницаемость $\mu=1$. Такая среда, соответствующая среднестатистической для почвенного слоя Украины, явилась базисной для обоснования главных параметров установки ЭФА. Надежное выявление поля азимутальной электропроводности установкой ЭФА возможно в немагнитных средах с удельным объемным сопротивлением $\rho < 1000 \text{ Ом}\cdot\text{м}$. Это расширяет географическое пространство для применения рассматриваемого способа.

Основной показатель разрешающей способности установки ЭФА для конкретного участка — коэффициент азимутальной неоднородности, $M = H_{\text{max}}/H_{\text{min}}$, где H_{max} — максимальная и H_{min} — минимальная величины регистрируемой амплитуды магнитной составляющей вторичного поля. При работе в низкоомных средах коэффициент M может достигать больших значений, в высокоомных — стремиться к 1. Разработанные нами аналитические модели обработки полевых наблюдений позволяют извлекать информацию при $M > 1,1$.

А

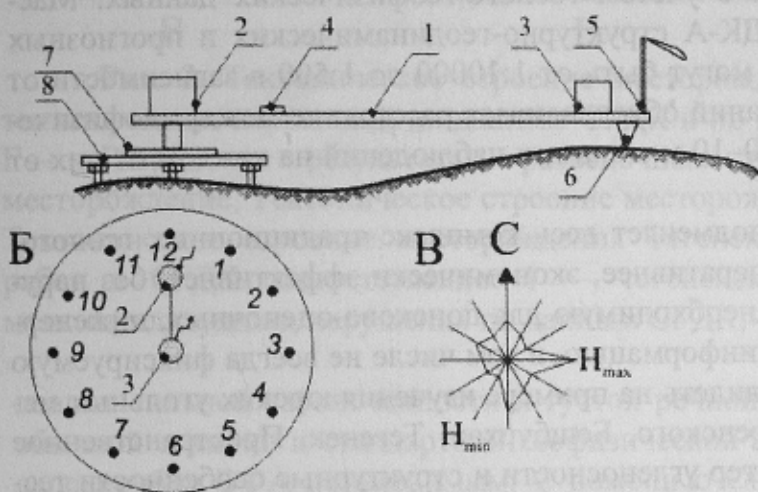


Рис.2. Установка ЭФА: а —

Принципиальная схема прибора (пояснения в тексте); б — Точки наблюдения на пикете; в — результаты замеров величины H на полярной диаграмме

путем возбуждает в изучаемой среде электромагнитное поле на частоте 2 МГц. Приемный блок регистрирует амплитуды H магнитной составляющей поля в ближней индукционной зоне. Расстояние между диполями, т. е. база установки, 1 м. При такой базе глубинность зондирования регулируется изменением пороговой чувствительности приемника. Низкоомные среды, например влажные лессовидные суглинки, информативны при зондировании на глубину от нескольких сантиметров до 1–2 дм, тогда как в высокоомных средах (пески) глубина зондирования до 2 м. На каждом пикете профиля проводится зондирование по кругу в горизонтальной плоскости через 30° , начиная от исходного положения приемника, ориентированного на север (азимут 0) по часовой стрелке (рис. 2, б). Последнее измерение в исходной точке 0 — контрольное, расхождение между двумя замерами в одной той же точке не должны отличаться более чем на 5%. Регистрация амплитуды магнитной составляющей H вторичного поля в ближней зоне дает выход на функцию электропроводности зондируемой низкоомной среды или на комплексную проводимость высокоомной.

Данные замеров, определяемые по показаниям стрелочного индикатора удобно представить в виде полярных диаграмм (рис 2, в). Информативны пространствен-

Масса установки ЭФА с комплектом электропитания, рассчитанным на 120 ч работы, около 6 кг (рис. 2). По концам диэлектрического бруса 1 размещены блоки генератора 2 и приемный 3, а также компас 4, рукоятка со стеклом 5 и демпфирующая опора 6. Генераторный конец бруса посредством вертлюга 7 соединен с опорной платформой 8, устанавливаемой в точке наблюдения. В исходном положении приемный блок должен быть ориентирован относительно генераторного на север. Оба блока содержат магнитные диполи взаимной ортогональной ориентировки. Генератор индуктивным

ные ориентировки экстремальных значений (осей) азимутальной неоднородности электрических свойств исследуемой среды.

Результаты полевых измерений обрабатываются с использованием непараметрических методов статистического анализа. Разработаны две аналитические модели: четырехканальная или экспресс-анализ и 12-канальная, которая реализуется с помощью ЭВМ. Первая модель используется главным образом при оторванности от баз в полевых условиях. Обе аналитические модели обеспечивают определение дисперсии осей азимутальной электропроводности (критерий K_1), степень дестабилизации мегарегионального фона поля азимутальной электропроводности (K_2), степень дестабилизации локального фона (K_3) и векторные характеристики аномальных интервалов профиля (K_4). Полученные после анализа полевых измерений критерии, позволяют построить карту фактов, на которой указывают положение геофизических профилей, аномальные участки, их особенности и векторные характеристики. Затем строят карту геодинамической зональности участка работ. На заключительном этапе производится ее дешифрирование с учетом геолого-геофизических данных. Масштабы полученных способом СГДК-А структурно-геодинамических и прогнозных карт, сопровождаемых разрезами, могут быть от 1:10000 до 1:500 в зависимости от цели работ. Детальность исследований обуславливает расстояние между геофизическими профилями от 500–300 до 20–10 м с шагами наблюдений на каждом из них от 10–5 до 2–1 м и менее.

Отметим, что СГДК-А не подменяет весь комплекс традиционных геолого-разведочных работ, а позволяет оперативнее, экономически эффективнее, без нарушения природной среды получать необходимую для поисково-оценочных, инженерно-геологических или иных целей информацию, в том числе не всегда фиксируемую при обычных работах. Это можно видеть на примере изучения юрских угольных месторождений Средней Азии: Ангренского, Бешбурхан, Тегенек. Пространственное размещение месторождений, характер угленосности и структурные особенности тесно связаны со строением палеозойского фундамента. На одном и том же месторождении наблюдаются нередко прерывистость углеобразования и изменение его масштабности.

Структура месторождения Бешбурхан по данным предварительной разведки представлялась тектоническим блоком в Боординской грабен-синклинали. Угленосные отложения юры перекрыты меловыми и рыхлыми кайнозойскими образованиями общей мощностью до 200 м (рис. 3). Профильные исследования с помощью СГДК-А проведены на 8800 пикетах. Полученные значения 236 векторов аномалий СГДК-А позволили построить схему прогнозной тектонической нарушенности месторождения, практически совпавшую с розой альпийских разломов в регионе (рис. 3). Данные детальной разведки подтвердили главные результаты СГДК-А: месторождение приурочено к мульде, южная граница которой определяется рельефом палеозойского субстрата, а не предполагаемым сбросом (рис. 3, г). Выявлены неизвестные ранее субмеридиональные тектонические нарушения и уточнено местоположение северного сброса. После работы новым способом существенно иной оказалась трактовка структурно-тектонических особенностей месторождения Тегенек (рис. 3).

Положительные результаты применения СГДК-А получены при изучении скрытых локальных магматических тел в связи с проблемой алмазности на Украине и в Архангельской области. Работы в зоне сочленения Украинского щита с Вольно-Подольской плитой, где протерозойские кристаллические образования перекрыты толщей мезо-кайнозойских пород мощностью до 300 м, проводились в ус-

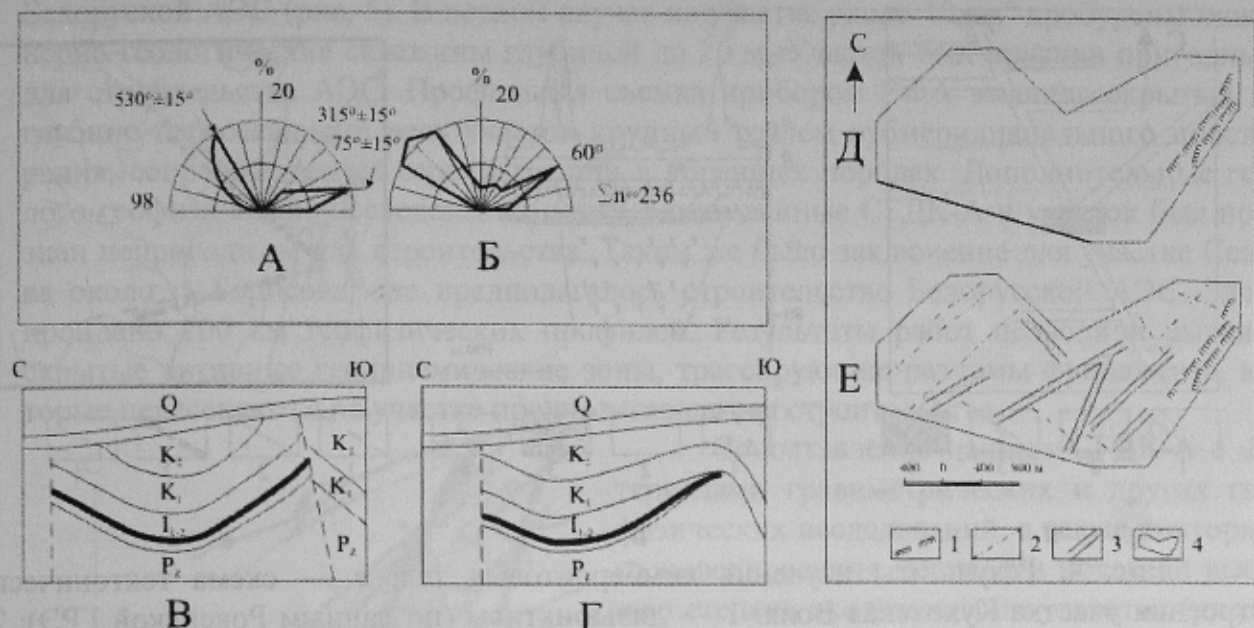


Рис. 3. Тектоническое строение месторождения Бешбурхан: А и Б — розы тектонических нарушений по данным СГДК и по данным геологической съемки, В и Г — Разрез по результатам разведочных работ и СГДК соответственно, месторождение, Тектоническое строение месторождения Тегенек по данным Д и Е — Тектоническое строение месторождения Тегенек по данным геолого-разведочных работ и СГДК соответственно: 1 — тегенекский надвиг; 2 — разломы; 3 — мелкоамплитудные, нарушения по данным СГДК; 4 — границы участка СГДК

ловиях сильной заболоченности и густой речной сети. Это затрудняло применение обычной техники и стандартной геофизической аппаратуры, что в ряде случаев делало прибор ЭФА незаменимым. С помощью СГДК-А получены новые данные на участке Кухотская Воля: установлена и прослежена на 4 км не известная ранее крупная тектоническая зона северо-восточного простирания, которая делит участок на два блока, смещенных один относительно другого. На ее пересечении с нарушениями субширотной и диагональной ориентировок выявлены локальные структуры, положение которых совпадает с магнитными и гравитационными аномалиями, что позволило рекомендовать эти структуры для детализационных работ (рис. 4, а).

Применение СГДК-А на Беломорской площади показало, что размещение локальных магматических тел контролируется геодинамическими зонами субмеридионального простирания. На участках Ботин, Болванцы и других зафиксированы аномалии азимутальной электропроводности над контактами кимберлитовых тел, в 5–7 раз превышающие фоновые. Весьма полезным способом СГДК-А оказался при поисках погребенных слабомагнитных кимберлитовых трубок (рис. 4, в).

Особый интерес представляют работы, выполненные на шельфе Белого моря. На участке пройдено три профиля протяженностью более 10 км: два вдоль береговой линии, один по льду вблизи острова Голая Кошка. Толщина льда составляла 40 см, водного слоя около 5 м. Первый профиль четко зафиксировал разлом, ранее выявленный по данным гравиразведки. Профиль, пройденный по льду, позволил не только проследить этот разлом в субширотном направлении в акватории, но и трассировать еще один, ранее, не известный (рис. 4, в). Третий профиль подтвердил наличие дизъюнктива и на суше, что предполагалось по геоморфологическим данным.

Пример применения СГДК-А при инженерно-геологических изысканиях — исследование на площадях проектировавшегося строительства Волгоградской и

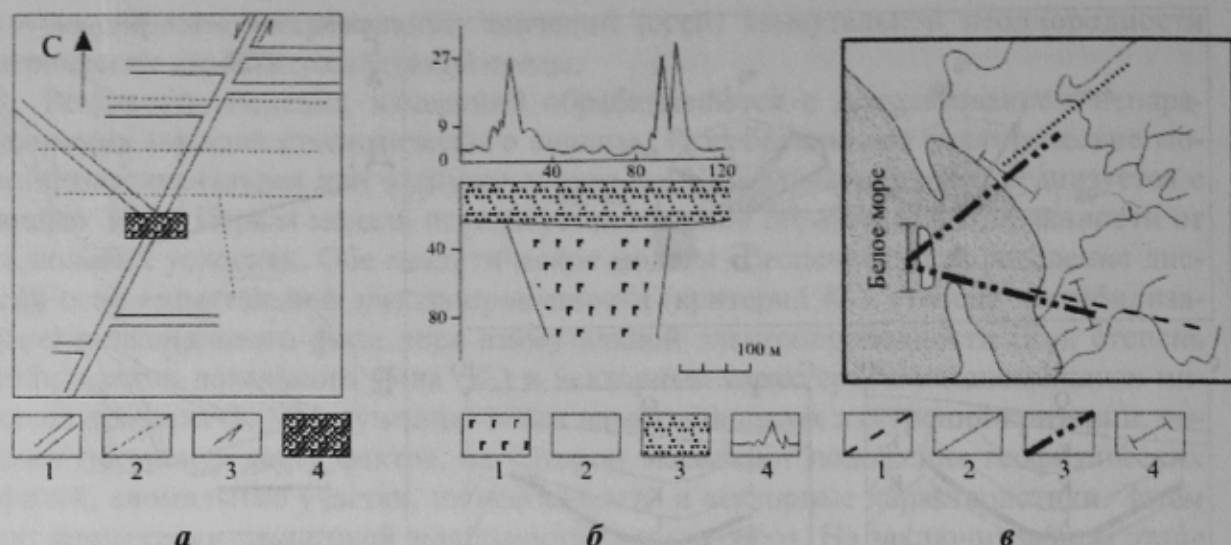


Рис. 4. Результаты изучения кимберлитовых тел: *а* — схема тектонического строения участка Кухотская Воля: 1 — дизъюнктивы (по данным Ровенской ГРЭ); 2 — разломы фундамента по данным СГДК; 3 — направления смещения блоков пород; 4 — участок, рекомендуемый для детализационных работ; *б* — аномалия по данным СГДК над кимберлитовым телом (Беломорская площадь): 1 — кимберлитовое тело; 2 — вмещающие породы; 3 — перекрывающая толща; 4 — кривая вариаций азимутальной электропроводности вдоль профиля; *в* — тектоническое строение участка на шельфе белого моря: тектонические нарушения по данным: 1 — гравиметрическим; 2 — геоморфологическим; 3 — СГДК; 4 — профили СГДК

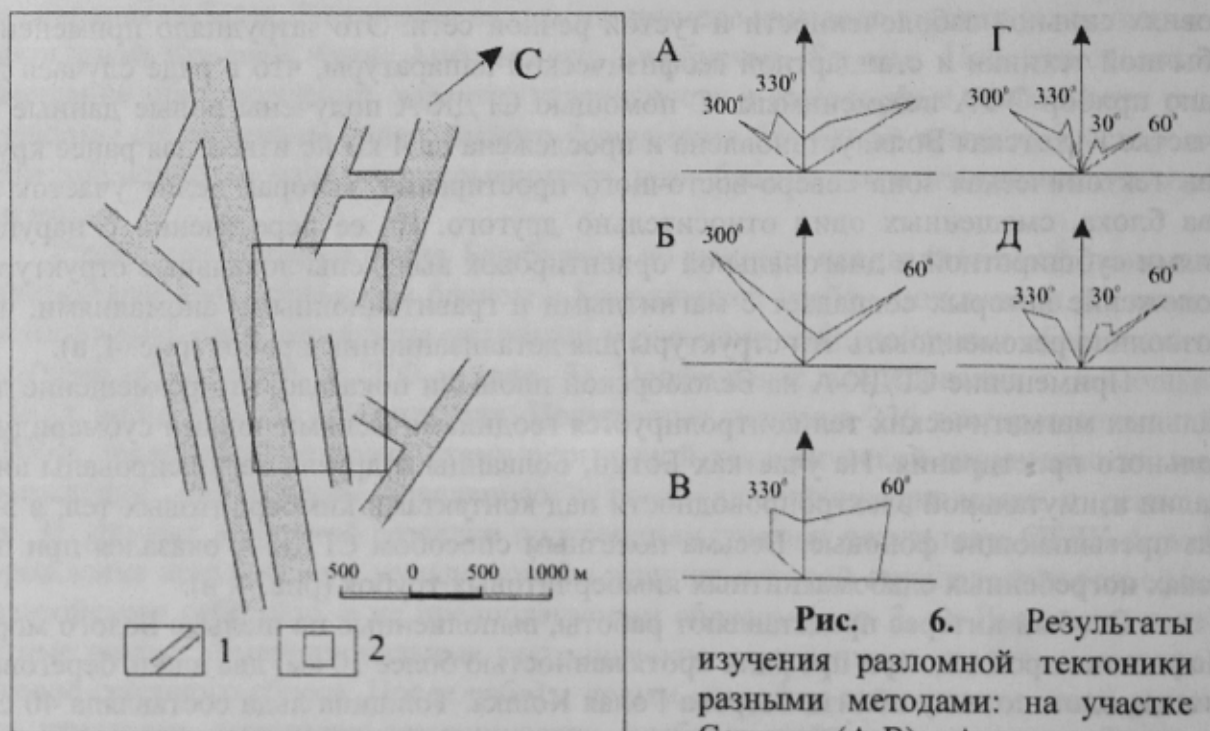


Рис. 5. Схема тектонического строения площади проектировавшейся Волгоградской АЭС: 1 — разломы коренных пород по данным СГДК-А; 2 — участок проектировавшегося строительства АЭС

Рис. 6. Результаты изучения разломной тектоники разными методами: на участке Селява (А-В) А — данные СГДК-А; Б — гравиметрические; В — результаты повторного нивелирования. В Припятском прогибе (Г, Д), Г — результаты СГДК-А; Д — по Геологическим данным

Белорусской АЭС (рис. 5). В первом случае на участке около 10 км² пробурены инженерно-геологические скважины глубиной до 20 м. Участок был признан пригодным для строительства АЭС. Профильная съемка прибором ЭФА выявила скрытый на глубине пересекающий весь участок крупный разлом субмеридианального простирания, сопровождаемый серией трещин в коренных породах. Дополнительные геолого-геофизические исследования подтвердили данные СГДК-А и участок был признан непригодным для строительства. Таким же было заключение для участка Селява около г. Борисова, где предполагалось строительство Белорусской АЭС. Здесь пройдено 100 км геофизических профилей. Результаты работ позволили выявить скрытые активные геодинамические зоны, трассирующие разломы фундамента, которые пересекаются на участке предполагавшегося строительства.

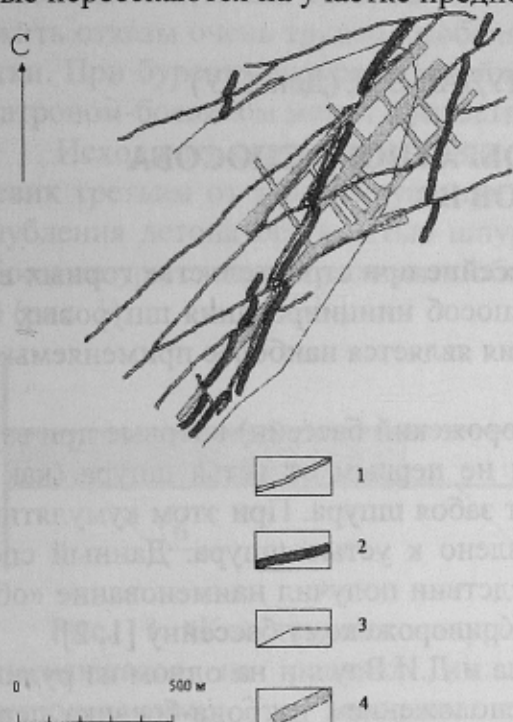


Рис. 7. Результаты исследований по методу СГДК-А на карьере Шуй-Чан (КНР): 1 — тектонические нарушения; 2 — дайки; 3 — контуры карьера; 4 — геодинамические зоны

Сопоставление данных СГДК-А с материалами гравиметрических и других геофизических исследований, а также повторного нивелирования местности показали высокую степень сходимости результатов (рис. 6, а, б, в).

Один из примеров применения методов СГДК для решения инженерно-геологических задач — работа на железорудном месторождении Шуй-Чан, расположенном в 190 км к востоку от Пекина [4]. Оно разрабатывается одним из крупнейших в Азии карьеров протяженностью 3,6 км, шириной до 1,7 км и глубиной — более 0,2 км. Планируемое увеличение глубины карьера до 0,5 км и необходимость выбора места для закладки наклонного шахтного ствола потребовали оценки всех факторов, влияющих на устойчивость бортов карьера в условиях сейсмоопасного района. Государственный металлургический департамент КНР поставил задачу выявления активных геодинамических зон и нарушений на площади карьера. Проведенные специалистами ДонНТУ в сжатые сроки работы дали новую геолого-геофизическую информацию. Впервые со-

ставлена структурно-геодинамическая карта карьера, показывающая распределение активных геодинамических зон (рис. 7). Выявлены как стабильные, так и неустойчивые участки карьера. Результаты работы высоко оценены руководством металлургического комбината «Столица» и в настоящее время используются при планировании горных работ.

Таким образом, многолетний опыт успешного применения СГДК-А в различных геологических и климатических условиях в разных регионах СНГ, ближнем и дальнем зарубежье позволяет рекомендовать его для широкого практического использования при геолого-съёмочных, поисково-разведочных и инженерно-геологических работах. Эффективно применение этого способа в комплексе с другими геолого-геофизическими методами.

Библиографический список

1. Ryabostan U.S. et al. United States Patent Number 4,602,215. Jul, 22, 1986
2. Вешев А.В. Электропрофилирование на постоянном и переменном токах. — Л. Недра, 1980.
3. Панов Б.С., Тахтамиров Е.П. Новое в геолого-геофизических исследованиях // Изв. ВУ-Зов. Геол. и разв, 1993. — № 3. — С. 57–67.
4. Панов Б.С., Купенко В.И., Пан Юн Вен. Новые данные о железорудном месторождении Шуй-Чан (КНР) // Наукові праці ДонНТУ: серія гірничо-геологічна. Вип. 32. — Донецьк, ДонНТУ, 2001. — С. 58–65.

© Панов Б.С., Купенко В.И., Тахтамиров Е.П., 2002

УДК 622.234.235

ГУДЗЬ А.Г., ШЕВЦОВ Н.Р., КУПЕНКО И.В., ПУДАК В.И. (ДонНТУ)

БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОБРАТНОГО СПОСОБА ИНИЦИИРОВАНИЯ ШПУРОВЫХ ЗАРЯДОВ ВВ

Многие годы в Донецком угольном бассейне при строительстве горных выработок по буровзрывной технологии прямой способ инициирования шпуровых зарядов был основным. Этот способ инициирования является наиболее применяемым и в настоящее время.

В 1951 году на руднике Ингулец (Криворожский бассейн) впервые при взрывных работах патрон-боевик был расположен не первым от устья шпура (как при прямом способе инициирования), а вторым от забоя шпура. При этом кумулятивное углубление капсюля-детонатора было направлено к устью шпура. Данный способ инициирования шпуровых зарядов ВВ впоследствии получил наименование «обратный» и нашел широкое применение по всему Криворожскому бассейну [1, 2].

В 1958 году Г.Г.Ахвердов, И.Т.Манжула и Д.И.Ваулин на одном из рудников провели экспериментальные взрывания с расположением патрона-боевика первым от забоя шпура [1]. Авторы [1, 2] отмечают, что при проведении полевой выработки по породам с коэффициентом крепости $f=13...16$ переход с прямого на обратное инициирование обеспечил повышение коэффициента использования шпуров (КИШ) на 18...20%, уменьшение числа шпуров в комплекте на 20% и соответственно расхода ВВ. Кроме того, сокращаются затраты труда и время на оборку забоя, повышается безопасность работ.

Обратный способ инициирования шпуровых зарядов вполне применим и при проходке вертикальных шахтных стволов. Так при строительстве воздухоподающего ствола на шахте им. А.Ф. Засядько переход с прямого на обратное инициирование позволил увеличить КИШ на 10...12%, снизить время II фазы уборки породы в 2...3 раза, уменьшить переборы породы до 10%, повысить темпы проходки на 15...20%, улучшить безопасность работ [3].

О многочисленных преимуществах обратного способа инициирования по сравнению с прямым немало сказано и авторами [4, 5]. В опубликованных работах отмечается также, что обратный способ инициирования шпуровых зарядов ВВ широко применяется в большинстве стран Европы.

Постановлением Госнадзорохрантруда Украины № 95 от 20.06.95 г. обратный способ инициирования шпуровых зарядов ВВ разрешено применять во всех выработках, в том числе при наличии газовыделения и взрывчатой пыли. При этом до-