

УДК 502.51(1/9)

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ В ВОСТОЧНОМ ДОНБАССЕ (аналитический обзор)*

© 2014 г. Н.Е. Фоменко, В.Е. Закруткин, Д.А. Гапонов, Ю.И. Холодков

Фоменко Николай Евгеньевич – доктор геолого-минералогических наук, профессор, кафедра геоэкологии и прикладной геохимии, Институт наук о Земле Южного федерального университета, ул. Зорге, 40, г. Ростов н/Д, 344090, e-mail: fnegeophyskole@yandex.ru.

Fomenko Nikolay Evgenievich – Doctor of Geological and Mineralogical Science, Professor, Department of Geoecology and Applied Geochemistry, Institute of the Earth Sciences of the Southern Federal University, Zorge St., 40, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: fnegeophyskole@yandex.ru.

Закруткин Владимир Евгеньевич – доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий кафедрой геоэкологии и прикладной геохимии, Институт наук о Земле Южного федерального университета, ул. Зорге, 40, г. Ростов н/Д, 344090, e-mail: vezak@list.ru.

Zakrutkin Vladimir Yevgenyevich – Doctor of Geological and Mineralogical Science, Professor, Head of Department of Geoecology and Applied Geochemistry, Institute of the Earth Sciences of the Southern Federal University, Zorge St., 40, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: vezak@list.ru.

Гапонов Дмитрий Александрович – кандидат геолого-минералогических наук, старший преподаватель, кафедра геоэкологии и прикладной геохимии, Институт наук о Земле Южного федерального университета, ул. Зорге, 40, г. Ростов н/Д, 344090, e-mail: geophys@land.ru.

Gaponov Dmitry Aleksandrovich – Candidate of Geological and Mineralogical Science, Senior Lecturer, Department of Geoecology and Applied Geochemistry, Institute of the Earth Sciences of the Southern Federal University, Zorge St., 40, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: geophys@land.ru.

Холодков Юрий Иванович – кандидат геолого-минералогических наук, доцент, кафедра геоэкологии и прикладной геохимии, Институт наук о Земле Южного федерального университета, ул. Зорге, 40, г. Ростов н/Д, 344090, e-mail: Yu-Kholodkov@mail.ru.

Kholodkov Yuri Ivanovich – Candidate of Geological and Mineralogical Science, Associate Professor, Department of Geoecology and Applied Geochemistry, Institute of the Earth Sciences of the Southern Federal University, Zorge St., 40, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: Yu-Kholodkov@mail.ru.

Приведены результаты экогеофизических исследований в Восточном Донбассе как одного из модулей комплексного изучения экологической ситуации в этом регионе. Обоснован системный подход, заключающийся в постановке геоэкологических задач, создании геолого-геофизических моделей, формировании оптимального комплекса современных методов и технологий, последовательности выполнения геофизических исследований при их наиболее целесообразном сочетании с сопутствующими методами, оперативном привлечении новых достижений науки и практики. Показаны различные способы скважинной электроразведки, применяемые при гидроэкологическом мониторинге.

Ключевые слова: экогеофизические исследования, электроразведочные и атмогеохимические методы, комплексирование, гидроэкологический мониторинг.

The results of ecogeophysical research in the Eastern Donbass as one of the modules of an integrated study of the ecological situation have been presented. The system approach in to the substantiation of ecological objectives, the creation of geological and geophysical models, the formation of an optimal set of modern methods and technologies, the implementation chart of geophysical studies with their most appropriate combination with the associated methods; with the operational attraction of new achievements in science and practice. The different ways of geophysical downhole surveys, used in hydro ecological monitoring have been also shown.

Keywords: ecogeophysical research, electro-geophysical and atmogeochemical methods, aggregation, hydroecological monitoring.

Информативность геофизических методов в геоэкологии, равно как в инженерной геологии и гидрогеологии, определяется прежде всего их эффективным комплексированием, оптимизацией сети наблюдений и подбором современных

методических приёмов работ [1–5]. Для решения вопроса о составе геофизического комплекса создается предварительная модель территории работ, для чего анализируется фондовая информация и непосредственно в ходе исследо-

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-17-00376).

ваний выполняется оперативная интерпретация данных различных методов во взаимной увязке. На этой основе производится уточнение комплекса геофизических методов и площадей обследования. Следовательно, геофизические работы, выполняемые в угольных регионах в разнообразных ландшафтных и геологических условиях, требуют разработки единого подхода. Такой подход может быть реализован как системный. Это позволяет более четко поставить задачи каждой стадии работ, сформировать оптимальный комплекс, последовательность и масштабы выполнения геофизических исследований, использовать наиболее целесообразное сочетание геофизических и сопутствующих методов, оперативно привлекать новые достижения науки и практики.

В данной работе приводится обзор результатов применения геофизических методов в угольно-промышленных районах Восточного Донбасса. Целью составления настоящего обзора явилось описание результатов изучения верхней части разрезов (ВЧР) на территориях горных отводов угольных шахт комплексом наиболее простых и технологичных геофизических и геохимических методов. Основное внимание уделено тем из них, которые за последние четверть века были существенно модернизированы или вновь разработаны за счет: 1) использования новых методических приемов; 2) создания малогабаритной геофизической аппаратуры на принципиально измененной элементной базе; 3) компьютерной регистрации измеряемых параметров геофизических полей; 4) появления быстродействующих программ обработки и интерпретации полевых материалов.

В обзоре в большей мере уделено внимание методам электроразведки как наиболее оперативным, дешевым и легкодоступным для применения.

Системный подход при решении экогеологических задач, формирование типовых и рациональных комплексов

Эффективность геофизических методов при экологических исследованиях, включая мониторинговые, обоснована многими авторами [4, 6–8]. В большинстве случаев работы требуется выполнять на застроенных гражданскими и техническими объектами территориях, где применение типовых методов или затруднено, или невозможно. Этот факт заставляет исследователей искать нетрадиционные способы решения поставленных задач. В каждом конкретном слу-

чае создается необходимость своего рода ревизии имеющихся в распоряжении исполнителей технических средств, и только после этого намечаются пути выбора тех или иных геофизических методов на предмет усовершенствования и возможностей использования как автономно, так и в комплексе, соответственно, при возможно допустимых материальных затратах.

Под системой геофизических исследований в геоэкологии понимается комплекс взаимодействующих геофизических методов, варьирующий в зависимости от стадии работ и естественных условий [3, 4, 6]. То есть система представлена методами (модификациями), из которых формируются комплексы. Каждая сформированная система должна являться подсистемой общей системы геофизических исследований в геологии (иерархия систем) [2 – 4, 7]. Деление всего процесса исследований на строго обозначенные по целям интервалы-стадии (подстадии) составляет основу системы. Основные стадии и подстадии геофизических работ выделяются с учетом действующих в РФ нормативных документов и практического опыта. В таблице дана краткая характеристика стадий экогеофизических исследований на угольных месторождениях с учетом характера этих исследований на опорных профилях и объектах второй и последующих очередей. Наиболее ответственными являются геофизические работы стадий 1 и 2, данные которых используются при решении задач регионального картографирования масштаба 1:200 000 – 1:100 000 и 1:50 000.

Структура и общие принципы комплексирования различных геофизических методов и их сочетание с геологическими, геохимическими и другими методами исследований едины для всех прикладных геофизических дисциплин (нефтегазовая, рудная, угольная, инженерная и др.), включая экологическую геофизику. Отличия в проведении комплексных геофизических работ в той или иной области заключаются в выборе и условиях применения тех или иных методов и способов для решения поставленных конкретных задач [1, 2, 4, 5].

Основная цель проведения комплексных экогеофизических исследований – получение дополнительных к геоэкологическим и геохимическим качественных и количественных показателей с целью повышения полноты и достоверности сведений об изучаемых объектах. Это вытекает из объективных достоинств геофизических методов, которыми следует считать: 1) объемность получаемой информации; 2) возможность

опосредованного изучения геоэкологических объектов, в том числе не выходящих на дневную поверхность; 3) объективность информации о физических полях; 4) относительно низкую стоимость и высокую производительность.

Разрабатываемые и создаваемые комплексы геофизических исследований на тех или иных геоэкологических объектах представляют собой стройную иерархическую систему, созданную на основе многолетней практики проведения геолого-разведочных и геоэкологических наблюдений [1, 3, 9].

Теоретической предпосылкой возникновения и становления раздела комплексирования является тот факт, что решение обратных геофизических задач в каждом отдельно взятом методе неоднозначно. Отсюда вытекает необходимость геофизических исследований разными геофизическими методами в сочетании с другими геологическими, геохимическими, геоэкологическими. Соответственно, для разных экологических задач и для разных типов геологических площадей должны быть разные геоэкологические и геофизические комплексы.

Принято эти комплексы составлять в соответствии с существующей схемой стадийности геолого-разведочных работ. Примерная схема формирования комплексов геофизических методов при проведении геоэкологических наблюдений приведена на рис. 1.

Одно из главных свойств при формировании комплексов геофизических исследований состоит в возможности создания так называемых типовых и рациональных комплексов методов, которые используются для достижения цели работ каждой стадии [2, 3, 7]. *Типовые комплексы* формируются применительно к решению геоэкологических задач «крупными мазками». Они могут оказаться недостаточными или избыточными по числу методов, так как при их формировании не всегда возможно в полной мере учесть специфику отдельных объектов, конкретную постановку задач, условия проведения геофизических наблюдений и т.д. Вместе с тем типовые комплексы являются одной из важных основ разработки рациональных комплексов, поэтому их формирование является весьма желательным.

Стадии экогеофизических исследований на угольных месторождениях

Стадия экогеофизических исследований	Наименование, назначение и виды работ
1. Геофизические работы при региональных экологических исследованиях	Анализ априорных данных, включая дистанционные аэросъемки (магнито-, грави-, радиометрическая, электромагнитная и геодезическая), с целью выбора и оконтуривания подлежащих исследованию площадей (масштаб 1: 200 000 – 1:100 000)
2. Экогеофизические работы на опорных профилях	Полевые экогеофизические и атмогеохимические исследования (электропрофилирование и электрозондирование, газовая и радиометрическая съёмки), проводимые на опорных профилях в масштабе 1: 50 000 для решения задач: – измерение количественных параметров; – сбор, хранение и анализ информации; – разработка проектов и управляющих решений
3. Геофизические работы при крупномасштабных экогеологических исследованиях	Наземные и скважинные геофизические наблюдения (электропотенциальное томографическое зондирование, метод постоянного электрического поля, шпуровые атмогеохимические измерения, электроинтроскопия межскважинного пространства) в масштабах 1:10 000 – 1:200 в углепромышленных районах, в которых производилась и производится интенсивная разработка угольных пластов подземным способом, а также на резервных угленосных площадях, на которых ранее выполнен цикл поисково-разведочных работ
4. Мониторинговые экогеофизические наблюдения антропогенно-техногенного воздействия на геологическую среду	1. Гидрогеологический мониторинг – наблюдение уровней шахтных и подземных вод, изучение подтоплений грунтов и почв, определение характера динамики подземных и поверхностных вод и изменение их гидрохимического режима (методы электрического зондирования и профилирования, резистивиметрия, метод заряда, токовый каротаж). 2. Газовый мониторинг – определение мест скопления газов в покровных отложениях (экспрессное газовое профилирование контактными способами в наземном и скважинном вариантах). 3. Мониторинг загрязнения – изучение ландшафтного, радиохимического и химического загрязнения вод, почв, грунтов (радиометрия, эманометрия, спектральный и химический анализы проб)

Рациональные комплексы, в отличие от типовых, ориентированы на экономически обоснованное решение конкретно поставленных задач в конкретных условиях, с определенной экогеологической обстановкой. В рациональных комплексах в качестве основных целесообразно использовать высокопроизводительные и относительно недорогие геофизические методы. Если отсутствует априорная информация, этими методами в первую очередь по равномерной сети и в заданном масштабе обрабатывается вся изучаемая на той или иной стадии (подстадии) площадь. В качестве вспомогательных целесообразно использовать менее производительные и относительно более дорогостоящие методы, но позволяющие получить (особенно в комплексе с проходкой скважин и их опробованием) наиболее полную информацию об экологических, гидрогеологических и инженерно-геологических особенностях разреза, состоянии и свойствах слагающих его образований. Работы вспомогательными методами могут выполняться во вторую очередь и по специально выбранным для этого отдельным маршрутам (профилям). Все сказанное относится к работам любой стадии (подстадии) общего процесса исследований. Следует подчеркнуть, что при системном подходе обязательно учитывают экогеологические, гидрогеологические и инженерно-геологические задачи каждой стадии (подстадии) работ. Подвергают анализу весь арсенал геофизических методов, устанавливают основные системообразующие связи и выбирают *оптимальные* варианты сочетаний методов применительно к особенностям каждой стадии (подстадии). Также определяют последовательность выполнения геофизических работ, их сочетание и взаимодействие с геоэкологическими, инженерно-геологическими, гидрогеологическими и другими работами, получают геологический выход (результат) геофизических работ каждой стадии (подстадии).

Таким образом, формирование оптимальных типовых и рациональных комплексов состоит из следующих основных элементов.

1. Сбор и анализ априорной геофизической, гидрогеологической, инженерно-геологической, экогеологической и другой информации.

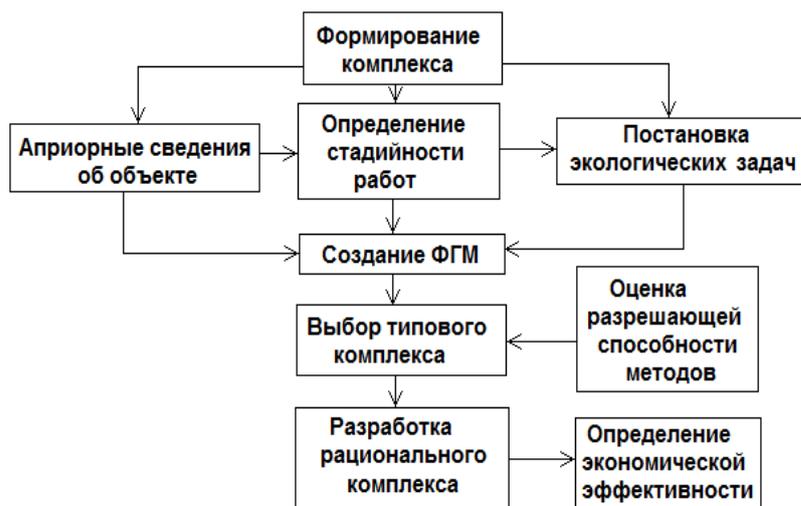


Рис. 1. Примерная схема формирования комплексов геофизических методов при проведении геоэкологических наблюдений

Выполнение этой работы целесообразно для всех стадий (подстадий) и совершенно необходимо при съемках масштаба 1:200 000 – 1:50 000, когда на основе комплекса априорной информации проводится типизация экогеологических, гидрогеологических и инженерно-геологических условий территории и ее районирование, а также разрабатывается предварительная физико-геологическая модель территории как основа выбора комплекса геофизических методов.

2. Выбор и обоснование комплекса методов (модификаций).

При решении этих вопросов используется априорная информация и проводится небольшой объем полевых опытно-методических работ комплексом потенциально перспективных геофизических и сопровождающих их геоэкологических методов. В результате уточняется физико-геологическая модель, и на ее основе с учетом данных типизации и районирования площади формируются типовые комплексы, а после учета конкретных условий – рациональные комплексы методов.

3. Определение последовательности использования различных методов (модификаций).

Общее правило предусматривает первоначальное использование менее информативных и относительно недорогих методов, а затем – наиболее информативных, но трудоемких и дорогостоящих.

Важным принципом комплексирования является разработка физико-геологических моделей (ФГМ), которые максимально приближены к реальным условиям и дают обобщенное и формализованное представление об основных экогеологических, инженерно-геологических, гидрогеологи-

ческих, физических и геофизических характеристиках геологической среды в пределах изучаемой территории [3, 6]. ФГМ разрабатывается при работах каждой стадии (подстадии). Эти работы начинаются с приближенного представления о ФГМ объекта (территории съемки, поисков, разведки и др.). Затем по мере получения информации ФГМ постепенно уточняется, «заставляя» в свою очередь корректировать комплекс используемых методов и иные особенности технологии геофизических, а также и других работ. По завершении работ стадии (подстадии) ФГМ приобретает наиболее полное и объективное содержание, так как учитывает результаты комплексной интерпретации всей имеющейся информации. По существу ФГМ становится одним из основных результатов работы [4, 7, 10].

Пример составления типовых гидрогеологических разрезов – моделей угольных месторождений, отвечающих условиям консервации шахт «мокрым» (с затоплением) способом, представ-

лен на рис. 2 [11, 12]. Фрагменты а и б на рис. 2 показывают обстановку в условиях субгоризонтального (слабонаклонного) залегания, когда уровень затопления не достиг еще или поддерживается ниже уровня подземных вод в естественных условиях. Остальные модели характеризуют условия наклонного залегания. При этом постановка и выполнение геофизических исследований при гидрогеологическом мониторинге на шахтных угольных полях предопределяют построение на основе типовых гидрогеологических моделей их геофизических аналогов, отражающих поведение физических полей при тех или иных изменениях гидросферы.

В качестве примера на рис. 3 приведена одна из таких моделей, отражающая изменение электрических (кажущееся удельное электрическое сопротивление и потенциал постоянного естественного электрического поля) и гравитационных (приращение силы тяжести) показателей под действием затопления угольной шахты [12].

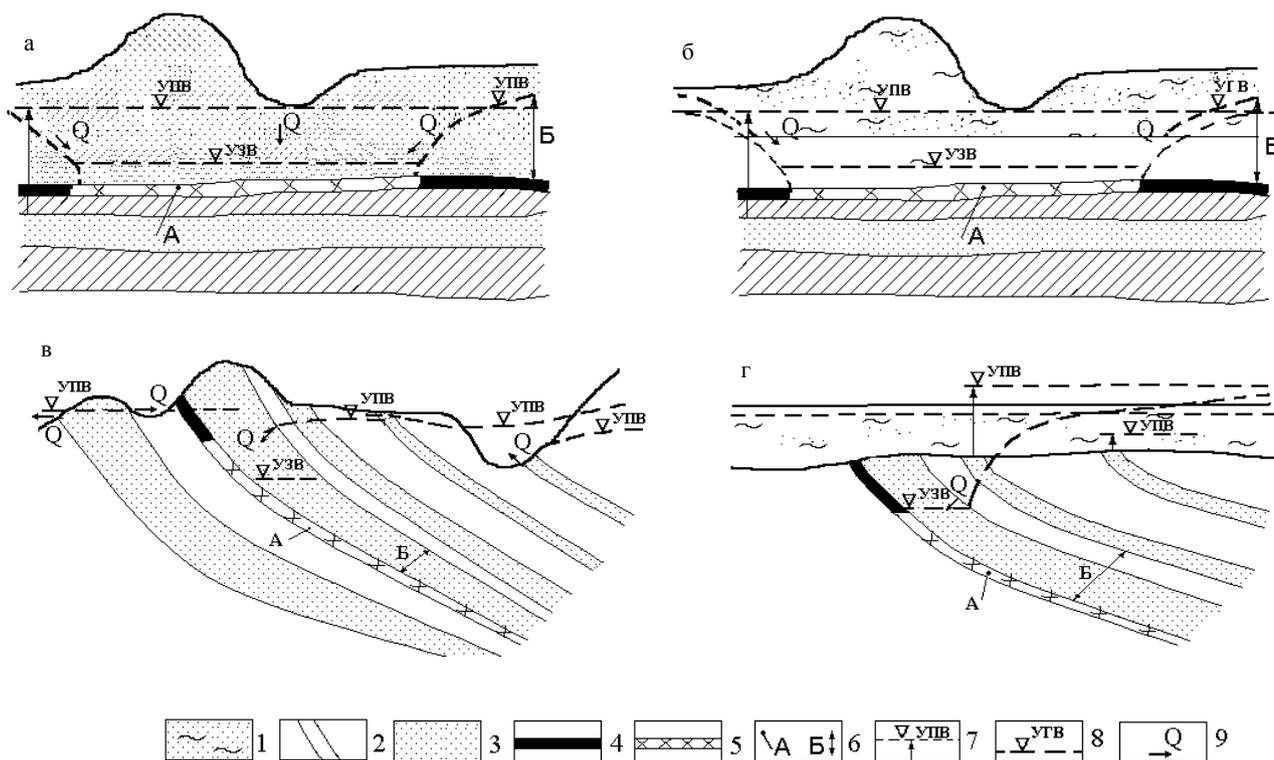


Рис. 2. Типовые гидрогеологические модели – разрезы угольных месторождений в условиях «мокрой» консервации и ликвидации шахт (по А.В. Мохову): а, б – горизонтальное или слабонаклонное залегание угольной толщи в условиях отсутствия или слабого развития (а) и развития мощного (б) интенсивного дренируемого плаща покровных отложений; в, г – наклонное залегание угольной толщи в условиях отсутствия или слабого развития (в) и развития мощного дренируемого и потенциального заводняемого (г) плаща покровных отложений; 1 – покровные отложения; 2 – слои аргиллитов и алевролитов; 3 – пески и слои песчаников; 4 – угольный пласт; 5 – выработанное пространство; 6 – область весьма высокой (А) и высокой (Б) техногенной пустотности и проницаемости пород; 7 – пьезометрический уровень межпластовых подземных вод; 8 – уровень грунтовых вод; 9 – направление движения водного потока

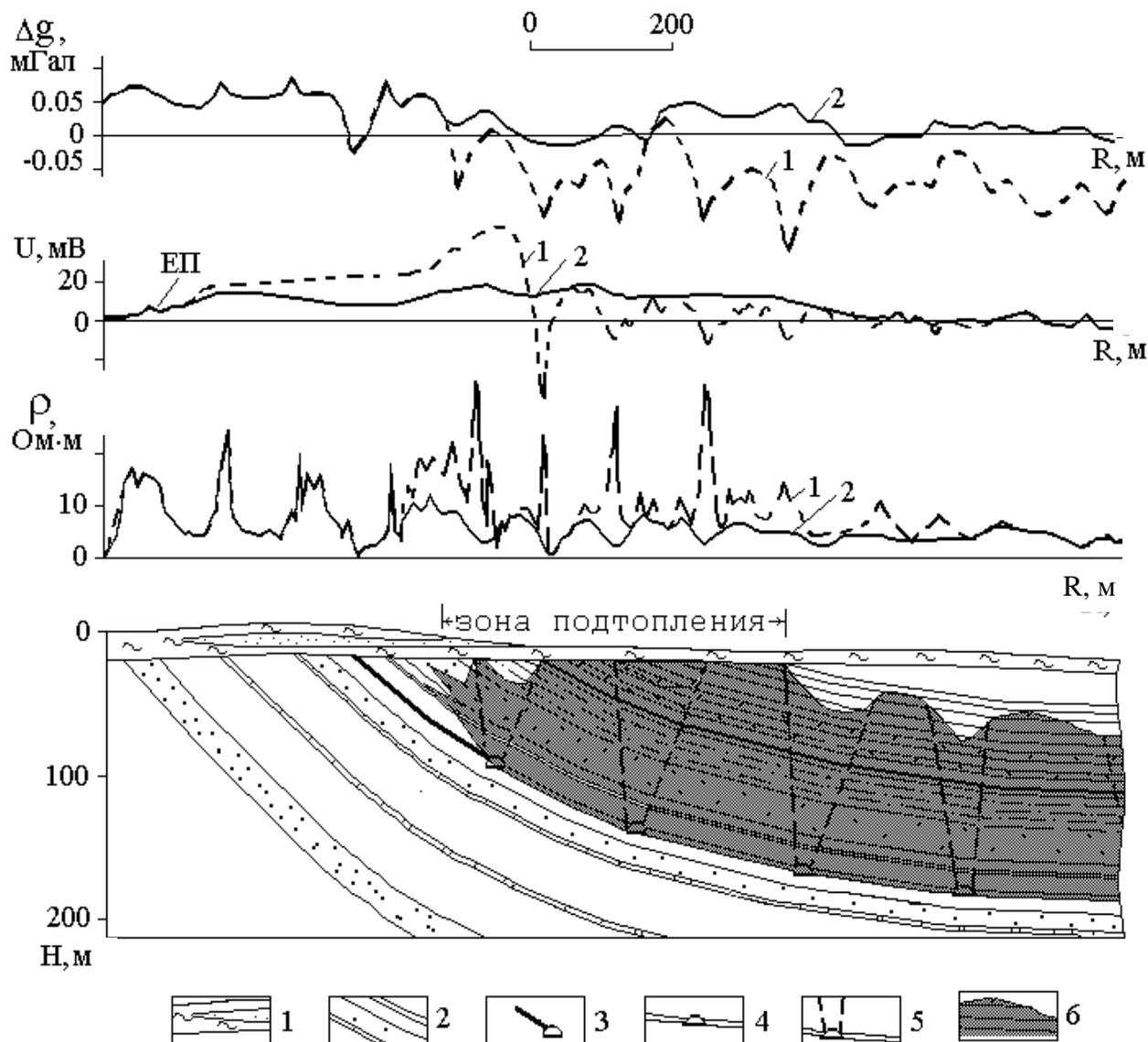


Рис. 3. Физико-гидрогеологическая модель действующих и ликвидируемых с затоплением шахт: 1 – покровные отложения; 2 – угленосные породы; 3, 4 – неотработанный и отработанный участки угольного пласта; 5 – горные выработки и техногенная нарушенность от них; 6 – скопление шахтных вод; Δg , U , ρ_k – графики приращений силы тяжести, потенциала постоянного естественного электрического поля и кажущихся сопротивлений до (1) и после (2) подтопления

Результаты экогеофизических исследований

Примерами экогеофизических исследований 1-й и 2-й стадий (см. таблицу), включающих геофизическую и газовую съемки в Восточном Донбассе, являются опорные профили: 1) пос. Самбек – г. Гуково протяженностью 48 км; 2) по береговой зоне р. Грушевка (в крест Шахтинской синклинали) длиной 13,6 км; 3) вдоль выхода угольного пласта m_8^1 на территории горного отвода шахты «Синегорская» длиной 7,8 км.

Профиль по маршруту пос. Самбек – г. Гуково положен в крест простирания основных тектонических структур и проходит через углепромышлен-

ные районы, включая города Новошахтинск и Гуково [13 – 15]. На рис. 4 приводится сопоставление графиков наблюдаемых значений содержания в почвенном слое газовых компонентов (кислорода O_2 и углекислого газа CO_2), естественной радиоактивности J_γ , потенциала U и его градиента $grad U$ постоянного естественного электрического поля (ЕП), вертикальных составляющих напряженности естественного H_z^{ect} и наведенного H_z^{nas} электромагнитного поля (ЭМП). Шаг измерений по профилю составлял 500 м.

Анализ графиков показывает, что можно выделить, по крайней мере, два качественных информационных уровня, отвечающих геологической и

экологической составляющим. Геологический разрез представляет собой две синклиналильные структуры, разделенные крупным Сулино-Константиновским надвигом, обозначенным на дневной поверхности рекой Кундрючья. Это место четко контролируется кривыми ЕП (понижение кривой U характеризует область инфильтрации поверхностных вод, а аномалия $grad U$ подчеркивает местоположение инфильтрационных каналов). Вторая область пониженных значений U и аномальных величин $grad U$ отмечается на контакте каменноугольных и четвертичных отложений за поселком Самбек. Синклиналильные структуры, разделенные Сулино-Константиновским надвигом, дают неодинаковый фон экологических показателей. Обнаруживается приуроченность положительных аномалий содержания двуокиси углерода в почвенном воздухе к тектоническому нарушению (Сулино-Константиновскому надвигу). Аномальные значения CO_2 , достигающие 0,5–1,3 %, отмечаются в интервалах 5–12, 14–19 и 38–45 км. К причинам появления положительных аномалий CO_2 и отрицательных O_2 над выработанным, а следовательно, и нарушенным пространством можно отнести: 1) дренаж поверхностных вод и осушение пород в результате откачки шахтных вод; 2) частичное проседание поверхности вследствие обрушения кровли после выемки угля и откачки воды; 3) образование техногенных и раскрытие ранее закрытых или закальманированных трещин. В целом можно говорить о повышенном уровне газовой, радиоактивной и электромагнитной загрязненности территории г. Новошахтинска по сравнению с территорией г. Гуково. Средний радиационный фон по анализируемому профилю составляет 14 мкР/ч, что соответствует радиационным нормам, но на 2 мкР/ч больше, чем в целом по Ростовской области.

Результаты измерений геофизических и газометрических параметров на опорном профиле через Шахтинскую синклиналь приведены на рис. 5 в виде развертки искривленной трассы профиля в прямую линию. Сверху вниз помещены графики электропрофилеирования методами радио-КИП (параметр M – вычисленный модуль полного вектора магнитной компоненты ЭМП) и постоянного ЕП (параметр U_{EP}). Ниже приведен график процентного содержания углекислого газа CO_2 в пробах почвенного воздуха, отбор которых проводился с глубины 25 – 70 см в зависимости от твердости почвы. В нижней части рисунка приведены результаты электроразведки технологией электропотенциального томографи-

ческого зондирования (ЭПТЗ) в виде вертикального разреза изоом (значения ρ_k) и геологический разрез с изображением распределения аномалий CO_2 по профилю.

Наиболее простые и отчетливые результаты получены с помощью метода ЕП. Большая часть локальных аномалий пониженных и отрицательных (до –45 мВ) значений U_{EP} вызваны неотработанными частями («целиками») пластов антрацита, где к дневной поверхности близко подходит серия сближенных пластов с индексами $k_2^H - k_9$. Этим же аномалиям отвечают высокие значения модуля вектора магнитной компоненты ЭМП дальних радиостанций (метод радио-КИП), им же отвечают высокие значения (2 – 4 %) концентрации углекислого газа CO_2 .

На разрезе изоом, построенном по данным ЭПТЗ (фрагмент Г на рис. 5), отчетливо проявляются две основные аномальные зоны на пикетах (ПК) 800 и 5200 м. Геологическая природа этих зон объясняются интенсивной инфильтрацией поверхностных вод в нижние горизонты нарушенной горными выработками угленосной толщи. При этом аномальная зона на ПК 800 имеет техногенную природу (нарушение разреза конусом сдвижения горных пород, связанного с их обрушением при полной подработке массива на глубинах от 100 до 150 м), а аномалии физических параметров с экстремумом на ПК 5200 связаны с зоной разрывного нарушения, отмечаемого здесь по геологическим данным. Первая из указанных зон – техногенная зона по аномальному проявлению газа CO_2 (содержание достигает 4 %) является угрожаемой. При детальном рассмотрении этой аномалии можно отметить весьма интенсивное снижение в пробах почвенного воздуха содержания кислорода вплоть до нулевых значений, что соответствует понятию «мертвый воздух». Относительно высокие положительные значения U_{EP} на ПК 3200 м и ПК 4400 м могут быть вызваны притоком вод к дневной поверхности, т.е. ее подтоплением.

На рис. 6 произведено сопоставление данных электромагнитных, газовых и литохимических измерений на опорном профиле, проложенном вдоль выходов угольного пласта m_8^1 на территории горного отвода шахты «Синегорская». Шаг геофизических и атмогеохимических наблюдений по профилю составлял 10 м. Отбор литохимических проб осуществлялся в среднем через 30 м.

Электромагнитная загрязненность вдоль профиля характеризуется спектром колебаний равномерной фоновой выдержанности.

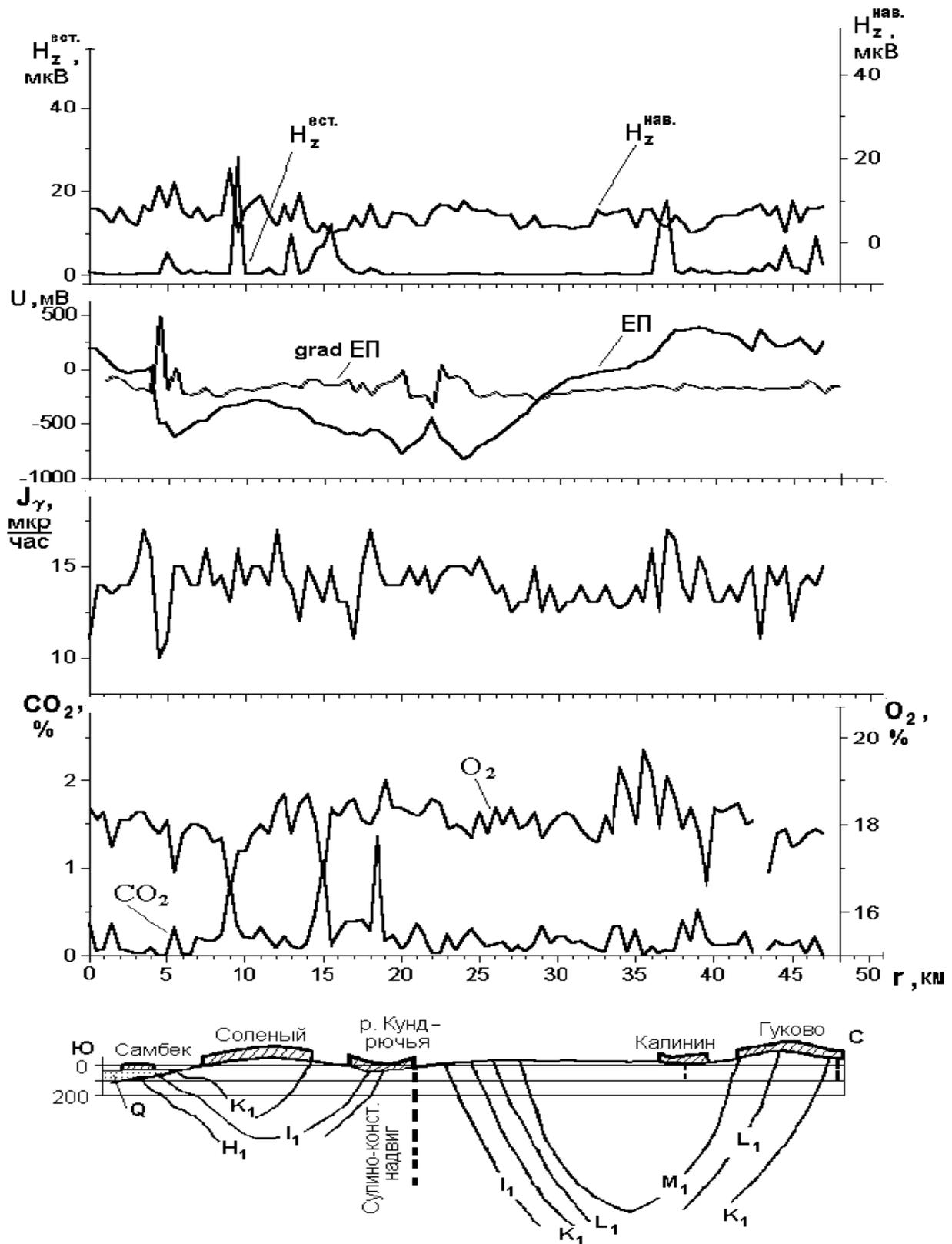


Рис. 4. Результаты геоэкологических измерений по профилю Гуково – Новошахтинск – Самбек

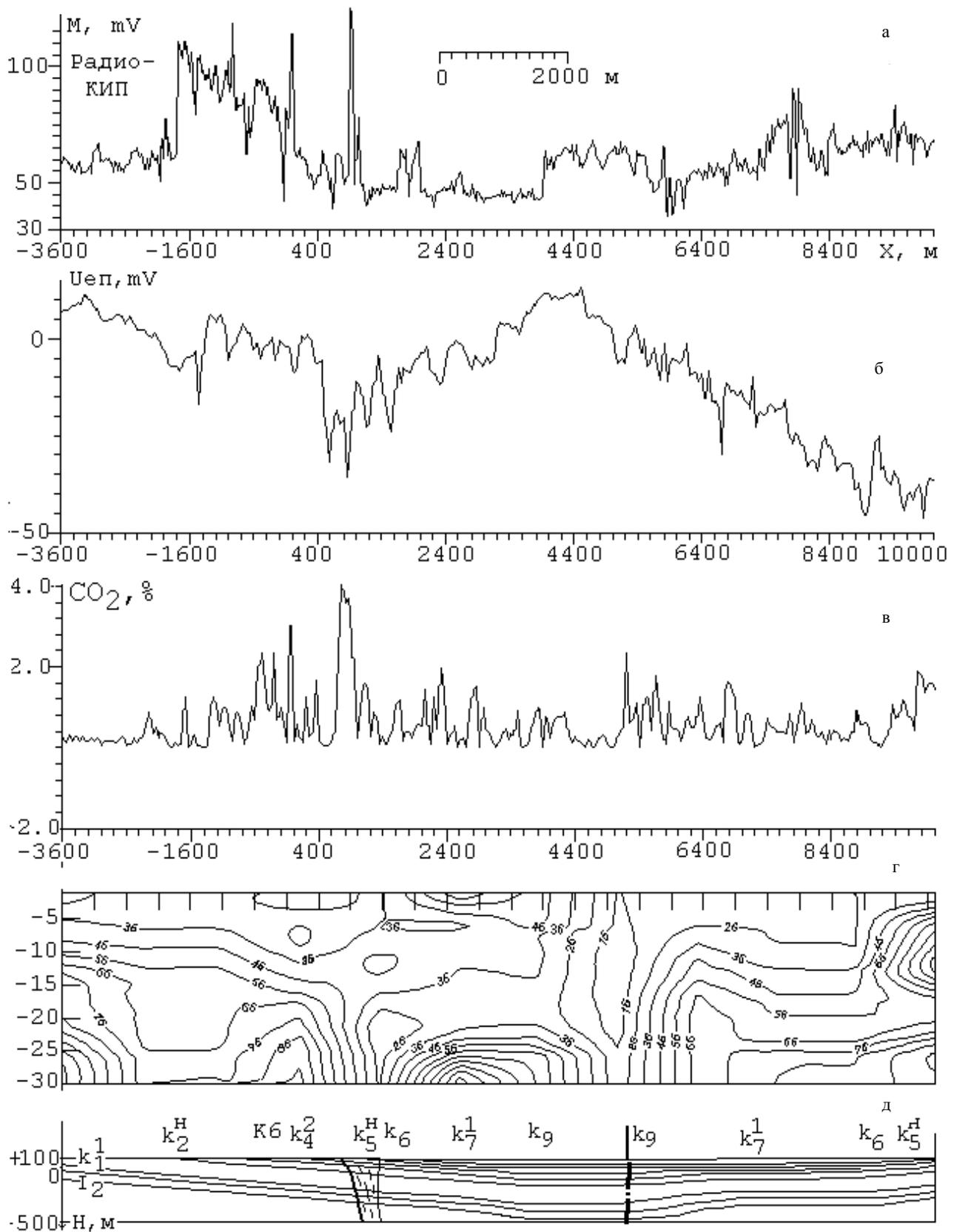


Рис. 5. Результаты геофизических исследований через Шахтинскую синклираль

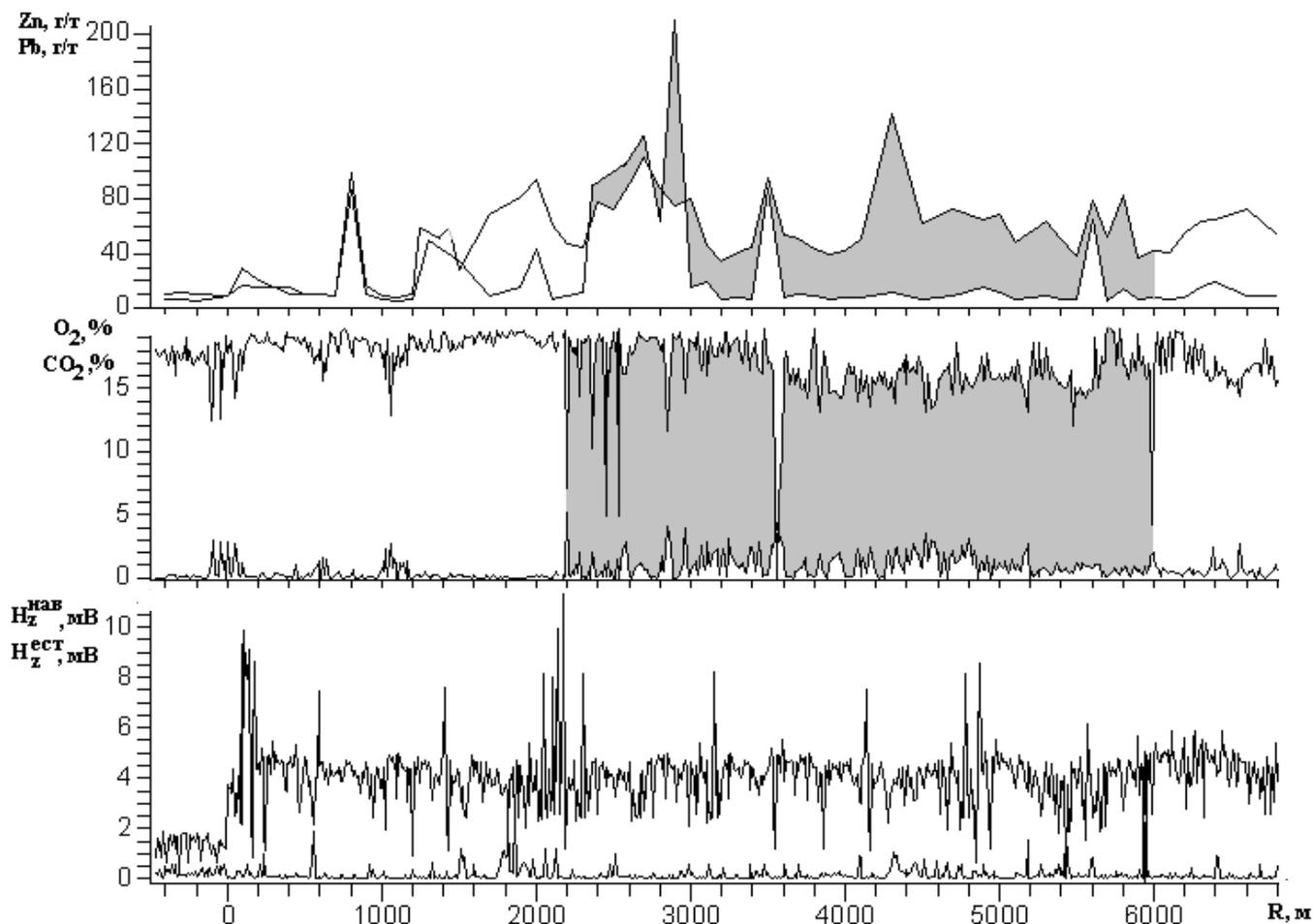


Рис. 6. Сопоставление данных электромагнитных, газовых и литохимических измерений на опорном профиле, проложенном вдоль выходов угольного пласта m_8^1 на территории горного отвода шахты «Синегорская»

Экстремумы положительных значений фиксируются в местах пересечения ЛЭП, ж/д путей, телефонных линий связи, размещения телевизионных и радиолокационных антенн. Отрицательные аномалии в основном обусловлены литологическим составом почв и имеют самые низкие значения в непосредственной близости от водоёма (интервал $0 \div (-400)$ м). На профиле следует особо выделить зону газовой и литохимической загрязнённости в интервале пикетов 2200 – 5200 м, которая обусловлена приближенностью угольного пласта m_8^1 к дневной поверхности. Пласт на этом интервале выработан с оставлением охранных целиков. Это обусловило образование дополнительной трещиноватости массива, в котором наблюдаются повышенные концентрации CO_2 .

Решение практических задач на 3-й и 4-й стадиях экогеофизических исследований (см. таблицу) целесообразно рассмотреть на примерах использования электроразведочных техно-

логий. На рис. 7 показано совмещение кривых ЭПТЗ в форме электропрофилеирования [16, 17]. Графики ЭПТЗ получены при последовательном переходе от одной точки зондирования к другой над угленосным разрезом с наклонным залеганием слоев на поле шахты «Краснодонская» в Восточном Донбассе. Отметим, что собственно зондирование в таком разрезе не вписывается в классическую теорию. Очевидно, что кривые ЭПТЗ несут о геоэлектрическом разрезе наклонно-слоистой толщи совокупную информацию, включая сведения о дифференциации выходящих под наносы или на дневную поверхность слоев угленосной толщи. Следовательно, с одной стороны, имеется возможность выделения литологической составляющей по данным ЭПТЗ в целях картирования выходов слоев угленосной толщи под покровные отложения, а с другой – для собственно изучения глубинного изменения электропроводности. На рис. 8 приведен пример разделения наблюдаемых кривых ЭПТЗ на составляющие зон-

дирования и профилирования комбинированным способом. Выделенные сигналы профилирования позволяют построить графики ρ_k вдоль профилей исследований и произвести выделение локальных электрических неоднородностей геоэлектрического разреза в горизонтальном направлении.

На рис. 9 приведены геоэлектрические разрезы, построенные по результатам количественной интерпретации ЭПТЗ при изучении подтопления горного массива на горном отводе шахты «Комиссаровская». Отработано 15 пунктов зондирования-профилирования. Исследования выполнены вдоль балки Дубовая на трех профилях, первый и третий из которых проходили по бортам, а второй – по дну балки. Первичная обработка зарегистрированных данных включала вычисление параметров кажущего удельного электрического сопротивления ρ_k и построение графиков кривых суммарных сигналов ЭПТЗ. В результате построены вертикальные разрезы изоум и выполнено их качественное истолкование.

Последующим этапом интерпретации материалов ЭПТЗ явилось разделение суммарных наблюдаемых сигналов на составляющие зондирования и профилирования. Использовался подход, в котором существенным является представление геоэлектрического разреза двумя наложенными системами объектов из горизонтально- и наклонно-слоистых сред, т.е. наклонные или же вертикальные пласты литологических разностей выступают в качестве одной системы объектов, а зоны выветривания и окисления, границы стра-

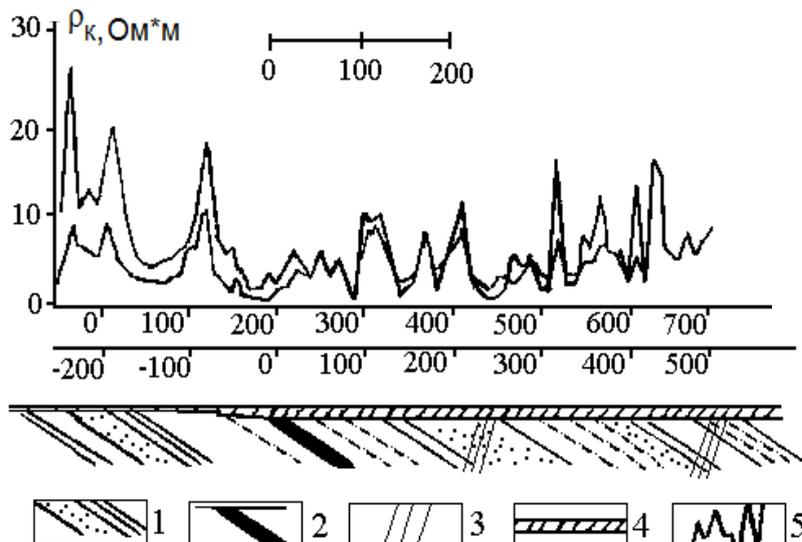


Рис. 7. Сопоставление кривых ЭПТЗ в форме электропрофилеирования с целью картирования наклонно залегающей угленосной толщи: 1 – породы угленосной толщи; 2 – угольный пласт; 3 – техногенная нарушениеность; 4 – покровные рыхлые образования; 5 – графики ρ_k

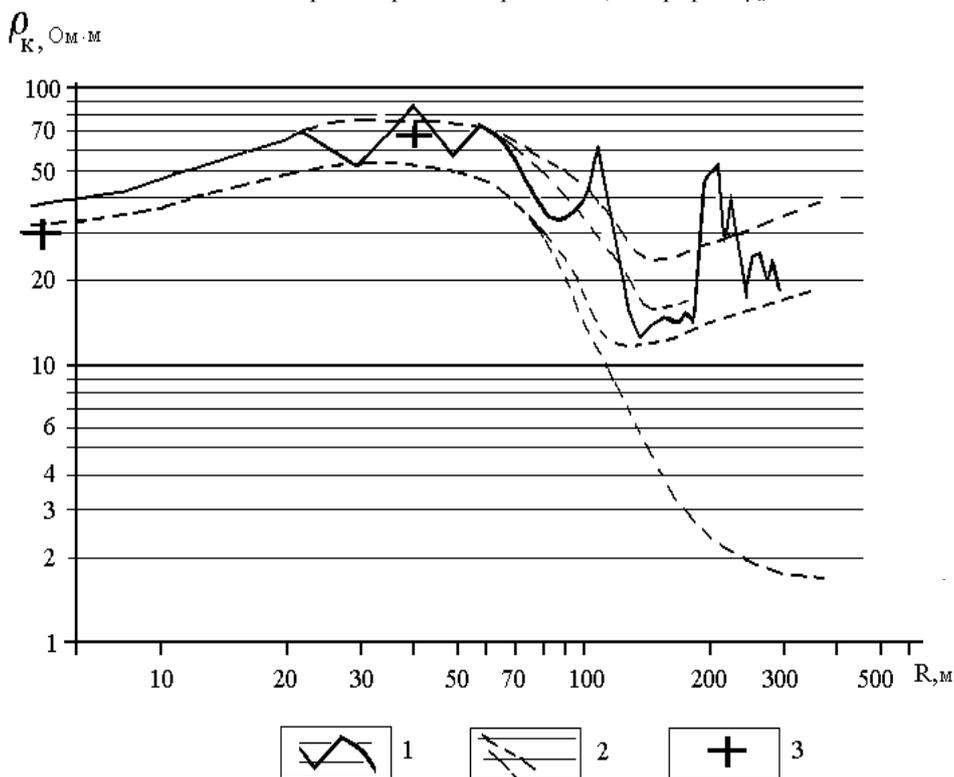


Рис. 8. Результаты количественной интерпретации (выделение зондирующих составляющих) кривых ЭПТЗ: 1 – наблюдаемая кривая ρ_k ; 2 – варианты построения кривых зондирующего сигнала; 3 – геоэлектрические координаты геологических горизонтов; интерпретационные параметры: $\mu_1=2,3$; $\mu_2=1/39$; $\nu=5,4$; $\rho_1=30$ Ом·м; $h_1=5$ м; $\rho_3=70$ Ом·м; $h_3=40$ м; $\rho_2=30 \cdot 2,3=69$ Ом·м; $h_2=5 \cdot 5,4=27$ м; $\rho_3=1,8$ Ом·м

тиграфических несогласий, водоносные горизонты и др. – в качестве другой.

Сигналы зондирования, определяемые по принципу вписывания предельных снизу наблю-

денных кривых в палеточные (см. рис. 8), позволяют выделить уровень шахтных вод в виде горизонтальной неоднородности с сопротивлением от 2 до 4,5 Ом·м по профилю I-I на глубинах от 40 до 44 м, по профилю II-II – от 58 до 96 м, по профилю III-III – от 26 до 35 м. Отличие геоэлектрического разреза II-II от разрезов I-I и III-III в том, что на профиле II-II, прошедшем по дну балки, отмечается влияние скопления мало-минерализованных вод, по всей видимости, свя-

занное с поверхностным водотоком. Глубина залегания верхней свободной поверхности скопления изменяется от 14 до 36 м, а ее удельное электрическое сопротивление – от 12 до 17 Ом·м. Следовательно, имеет место, по-видимому, линза мало-минерализованных вод, плавающих на более тяжелых шахтных. При этом влияние инфильтрации в виде затоков проявляется и на боковых профилях, в частности, на профиле III-III между пунктами зондирования 12 – 13.

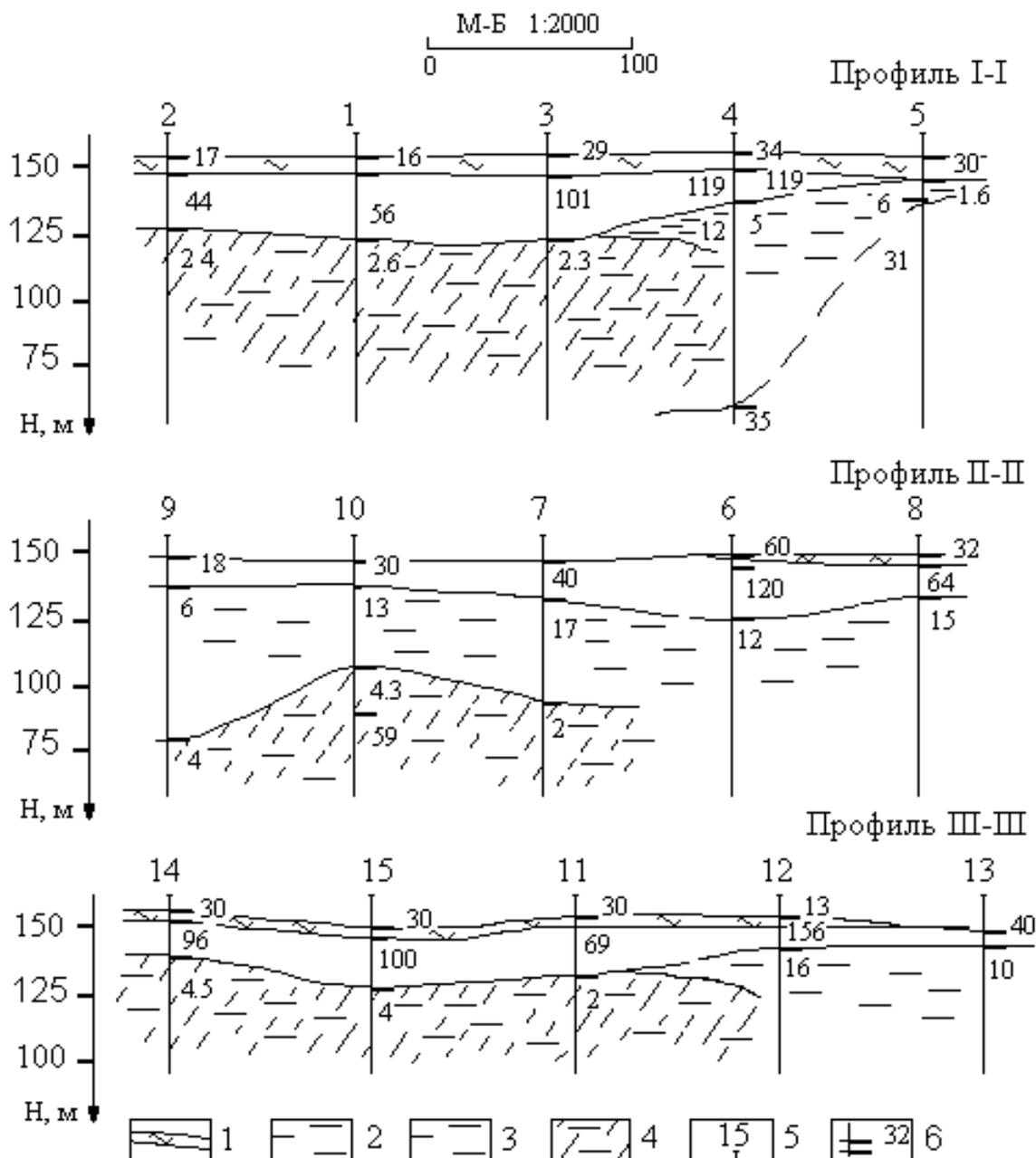


Рис. 9. Геоэлектрические разрезы по профилям I-I, II-II, III-III на участке поля шахты «Комиссаровская» (Восточный Донбасс): 1 – покровные отложения; 2, 3, 4 – коренные отложения необводненные (2) и с развитием пресных (3) и минерализованных (4) вод; 5 – номера пунктов ЭПТЗ; 6 – значения электрических сопротивлений горизонтов

На рис. 10 приведена карта изолиний потенциалов ЕП, полученных при соответствующей съемке (по профилям I–I, II–II и III–III) на поле шахты «Комиссаровская». Рассмотрение на этой карте структуры постоянного естественного электрического поля показывает, что можно выделить локальные области пониженных значений ЕП, отмечаемые на первом и втором профилях. Эти области идентифицируются с возможными устьями инфильтрации. Положи-

тельные же аномалии характеризуют зону разгрузки поверхностных водоносных горизонтов на западном склоне балки. Результаты ЕП хорошо коррелируются с данными ЭПТЗ. Комплекс этих методов дает достаточный объем информации о гидрогеологических этажах верхней части исследуемого угленосного разреза и позволяет посредством мониторинговых наблюдений изучать изменение гидрогеологических условий.

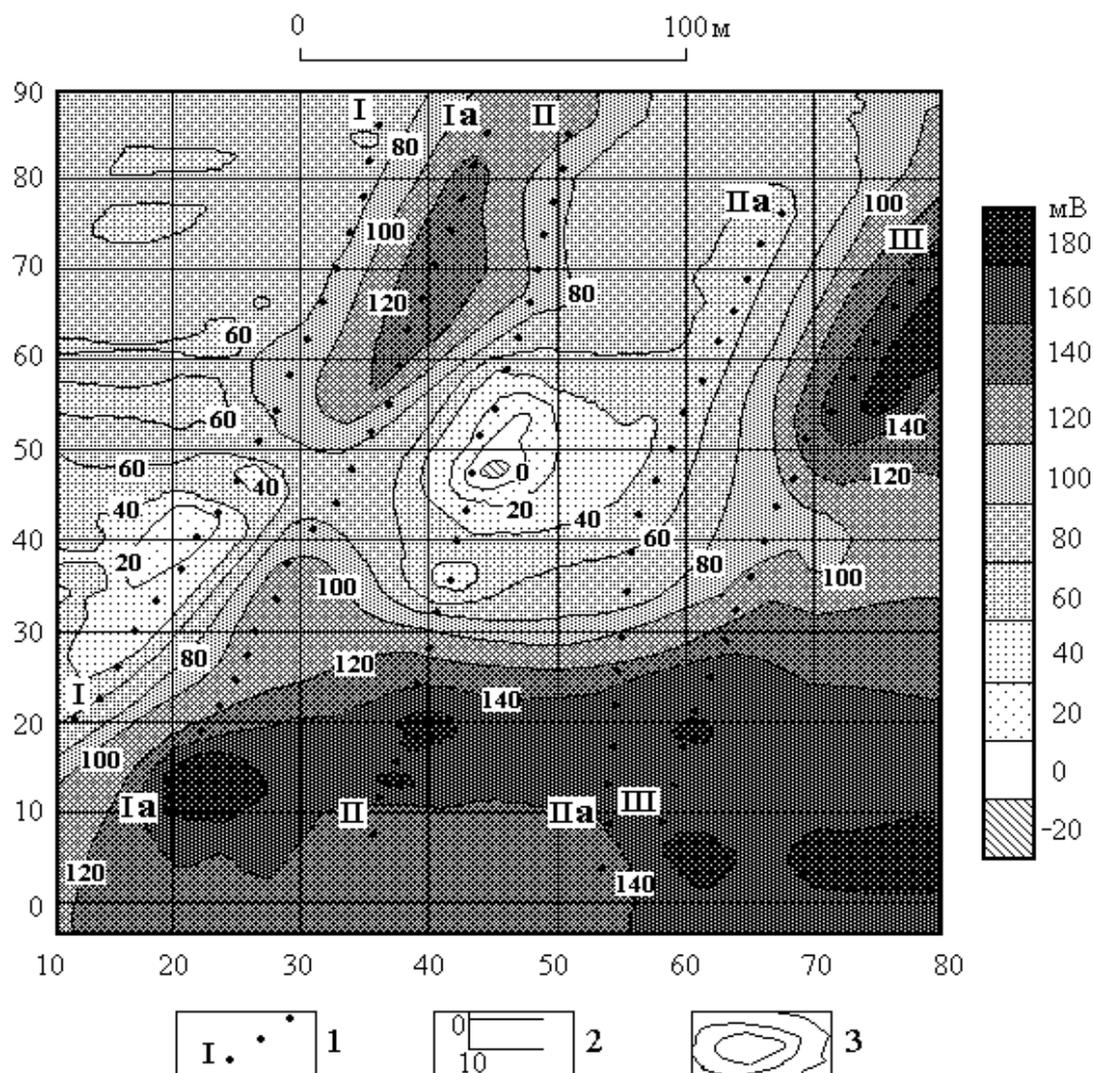


Рис. 10. Карта изменений потенциала постоянного естественного электрического поля на участке поля шахты «Комиссаровская» (Восточный Донбасс): 1 – профили и пункты комплексных геофизических исследований; 2 – координатная сетка в условных единицах длины; 3 – изолинии потенциала естественного электрического поля

Другие материалы по решению гидрогеологических задач электроразведочными методами (наблюдение за динамикой стока шахтных вод в поверхностный водоем) получены на участке поля шахты «Степная», где процесс гидродинамической релаксации после прекращения горных

работ на момент геофизических исследований прогнозировался близким к завершению. На рис. 11 приведен график ЕП по профилю, проложенному по проекции на дневную поверхность дренажной скважины [12, 18].

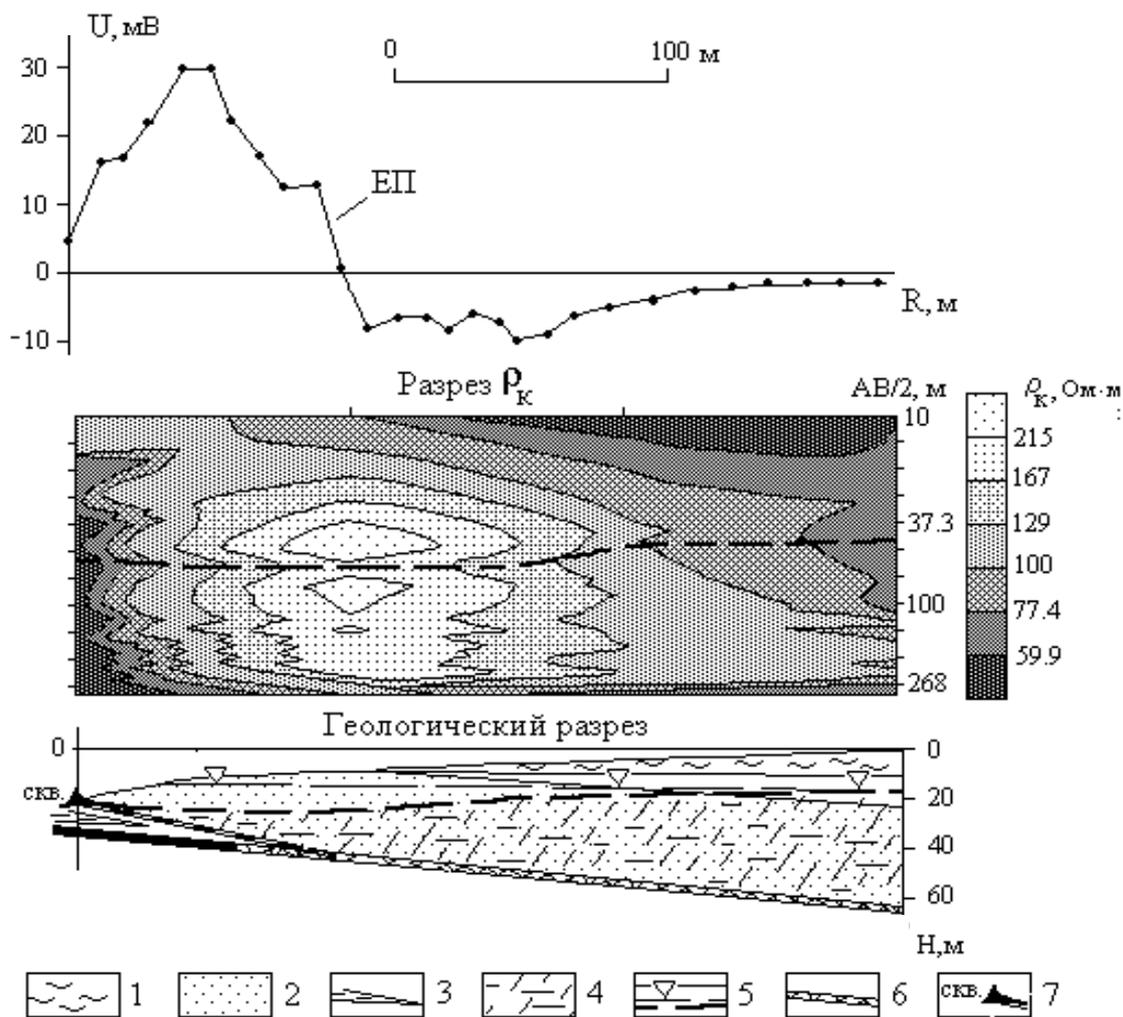


Рис. 11. Результаты электроразведочных работ методом ЕП на поле шахты «Степная» (Восточный Донбасс):
 1 – покровные отложения; 2 – песчаник; 3, 4 – области развития соответственно пресных и минерализованных вод;
 5 – пьезометрический уровень межпластовых подземных вод по геологическим и геофизическим данным;
 6 – выработанное пространство; 7 – водоотливная скважина

Скважина представляет собой пологонаклонный водовод малого диаметра (100 мм), соединяющий систему затопленных горных выработок с дневной поверхностью у основания речного склона. В этом месте в ручей стекает «техногенно преобразованная» (промытая горными выработками) шахтная вода оранжевой окраски с запахом сероводорода. Сопоставление выходных данных ЕП и ЭПТЗ показывает, что основные элементы геологического строения находят свое отражение в структуре распределения изолиний ρ_k . Повышенными значениями ρ_k от 100 до 215 Ом·м отмечается пласт песчаника, а по характерному наклону изолиний устанавливается его падение в восточном направлении. Поверхность шахт-

ных минерализованных вод проведена по специфическим, хорошо коррелируемым через все поле разреза локальным аномалиям низких значений ρ_k от 130 (на фоне 170) до 77 (на фоне 100 Ом·м). Анализируя эти факты, приходим к заключению, что в данном месте песчаник при насыщении шахтной водой снижает свое удельное электрическое сопротивление от 300 (в сухом состоянии) до 77 Ом·м, т.е. на 60%. Основной результат съемки методом ЕП представлен на графике U_{EP} положительной аномалией до 30 мВ, которая по ширине согласуется с длиной дренажной скважины, а по знаку – с направлением перемещения водных масс (с глубины массива – к береговому откосу).

Роль и место геофизических методов в гидроэкологическом мониторинге Восточного Донбасса

Основные требования к процессу и результатам гидроэкологического мониторинга следующие [8, 16, 19]:

1. Прогностическая компетентность (данные мониторинга должны обеспечивать краткосрочные и долгосрочные прогнозы поведения гидросферы и геодинамической устойчивости горного массива).

2. Комплексность и полнота данных в отношении всех экологических факторов.

3. Оперативность получения данных наблюдений.

4. Допустимая стоимость.

5. Высокая геологическая эффективность (объемность и кондиционность физико-геологических моделей исследуемых геоэкологических процессов).

На рис. 12 приведены наиболее простые и легкорезализуемые при гидромониторинговых наблюдениях различные способы скважинной электроразведки, относящиеся к методам погруженных электродов [11, 20]. Варианты (рис. 12а, б) отображают измерения величин электрического сопротивления в цепи между погруженными в шахтные стволы электродами, впоследствии засыпанными отвальными горными породами, и электродом, вбитым в почву на поверхности. При этом погруженный электрод конструктивно выполнен так, что обеспечивается его изоляция от контакта с горной породой, поэтому проводимость измеряется только при соприкосновении скважинного электрода с жидкостью. Электрическим изолятором между горной породой и металлическим телом электрода служит перфорированная полиэтиленовая трубка.

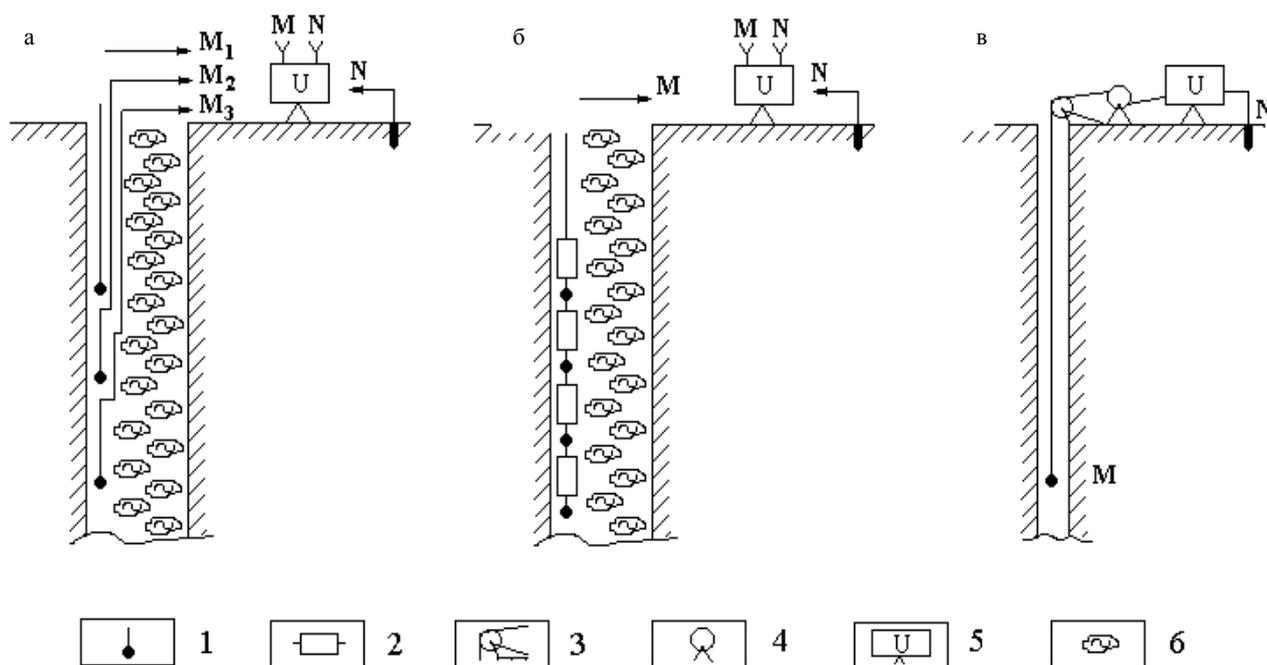


Рис. 12. Типовые схемы измерений уровня подземных вод методами погруженных электродов (а, б) и электрического коротажа (в): 1 – скважинный электрод; 2 – эталонный резистор; 3 – блок-баланс; 4 – лебедочная катушка с проводом; 5 – измерительное устройство; 6 – засыпной материал

Вариант с автономными проводами, выведенными на дневную поверхность от каждого погруженного электрода (рис. 12а), является надежным и простым в исполнении, так как разность сопротивлений в водной и безводной средах составляет более 10^5 Ом·м и легко измеряется любым мультиметром. Вариант с одножиль-

ным кабелем (рис. 1б) предусматривает расход меньшего количества проводов в сравнении с первым вариантом и представляет собой косугирлянду, электроды которой разделены эталонными сопротивлениями. Измерения удельного электрического сопротивления (УЭС) проводятся, как и в первом варианте, на дневной поверх-

ности специальными измерительными средствами. Третий вариант – это широкоизвестный токовый каротаж (рис. 1в), который очень практичен, так как позволяет проводить наблюдения за изменением уровня подземных вод в имеющихся на шахтном поле наблюдательных скважинах в любое время [11, 16]. Кроме того, широко известны способы использования погруженного токового электрода в так называемом методе заряда (МЗ). Сущность заключается в изучении составляющих постоянного электрического поля, создаваемых источником заземления. При гидрогеологических наблюдениях МЗ носит название МЗТ (метод заряженного тела) [10]. Применение МЗТ позволяет определять направление и скорость движения потока подземной воды (рис. 13). Методика исследований заключается в том, что в скважину на глубину водоносного пласта опускается токовый электрод (А). Второй токовый электрод (В) относится в бесконечность (на расстоянии в 10–15 раз больше глубины погружения электрода А). В этом случае поле электрода В практически окажется равным нулю и электрическое поле на поверхности вблизи скважины можно рассматривать как поле точечного источника.

При засолении скважины (опускают в скважину мешочек с солью) электрическое поле на поверхности вблизи скважины будет изменяться во времени за счёт «вытягивания» силовых линий поля в направлении движения подземных вод. Скорость этого движения $V = \Delta R / \Delta t$, где ΔR – смещение изолинии за время Δt .

Изучение перетоков шахтных вод в Восточном Донбассе может производиться технологией межскважинной электрической корреляции (МЭК) по схеме измерения потенциала электрического поля (U_m) [21, 22]. Схема электроинтроскопии приведена на рис. 14. На-

блюдения в скважинах преимущественно выполняются по равномерной сети. На рис. 15 приведены результаты геофизических измерений в межскважинном пространстве на квазипостоянном токе. Поскольку электроинтроскопия предусматривает сканирование, создаются условия для изучения степени ослабления или усиления сос-

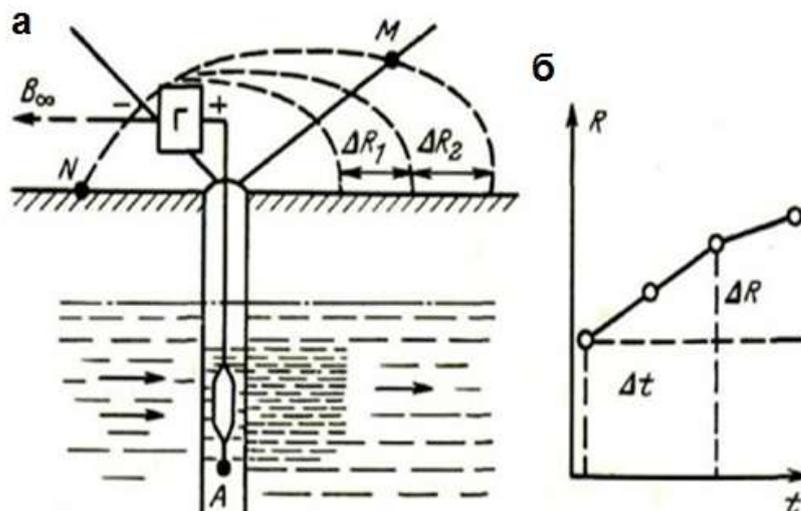


Рис. 13. Определение направления и скорости движения подземных вод методом заряда: а – схема измерений изолиний потенциала; б – результаты обработки в виде графика зависимости смещений изолиний вдоль потока от времени; Г – генератор

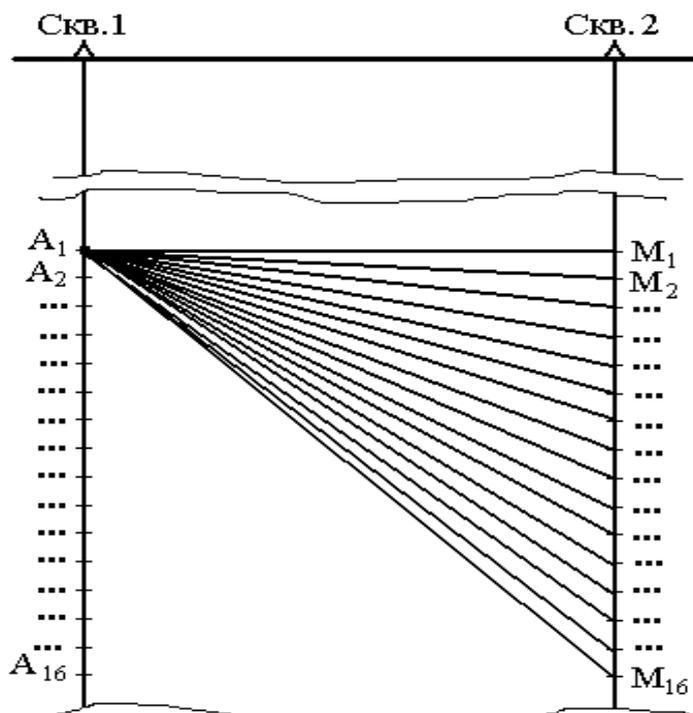


Рис. 14. Схема электроинтроскопии межскважинного пространства

тавляющих электрического поля по направлениям в межскважинном или межшахтном пространстве в зависимости от электрических свойств «просвечиваемой» среды.

Результаты электроинтроскопии способом межскважинной электрической корреляции между скважинами 9075 и 9076, пробуренными в охранном целике между горными отводами шахт «Несветаевская» и «Соколовская», в виде совокупных графиков U_m приведены на рис. 15.

Качественная оценка картины распределения электрического поля в просвечиваемом пространстве показывает, что интервал глубин 410 – 470 м характеризуется пониженными значениями U_m . Причину таких низких значений в указанном интервале можно связывать с обводненностью горного массива шахтными солеными водами, что собственно и имеет место ввиду перетока через барьерный целик подземных вод из шахты «Несветаевская» в шахту «Соколовская».

На рис. 16а сопоставлены графики ρ_k , полученные путем математического моделирования слоистой изотропной среды, в которой удельное

электрическое сопротивление (УЭС) пластов с глубиной увеличивается [11, 16]. При моделировании принималось, что среда поэтапно обводняется слабоминерализованной водой, вследствие чего УЭС каждого пласта уменьшается примерно в два раза (фрагмент б). Это уменьшение отображается на кривых ВЭЗ (фрагмент а).

В реальных условиях Восточного Донбасса минерализация шахтных вод достаточно высока. Это приводит к тому, что независимо от литологической принадлежности обводненная угленосная толща приобретает УЭС в первые Ом·м, при том что в необводненной угленосной толще породы по УЭС могут отличаться в десятки-сотни раз. Следовательно, уровни поверхности фиксируются по данным методов электрического зондирования, в частности ЭПЗ, более устойчиво, чем в условиях слабоминерализованных вод. Это иллюстрирует рис. 17, на котором показано сопоставление наблюдаемых и расчетных прогнозных кривых уровней подъема шахтных вод для разных геоэлектрических условий на примере участка поля шахты «Краснодонская» (Восточный Донбасс).

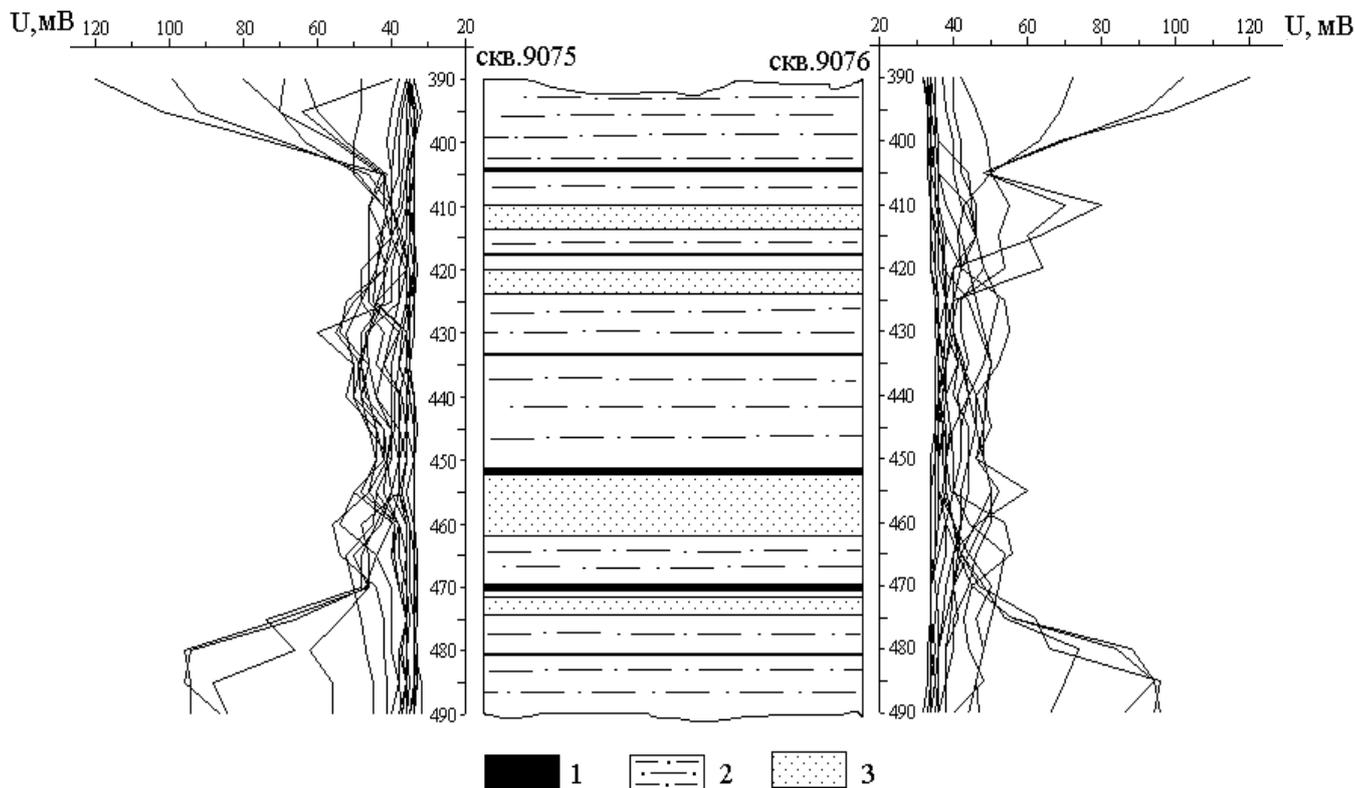


Рис. 15. Совокупные графики U_m по результатам электроинтроскопии межскважинного пространства:
1 – уголь; 2 – алевролит; 3 – песчаник

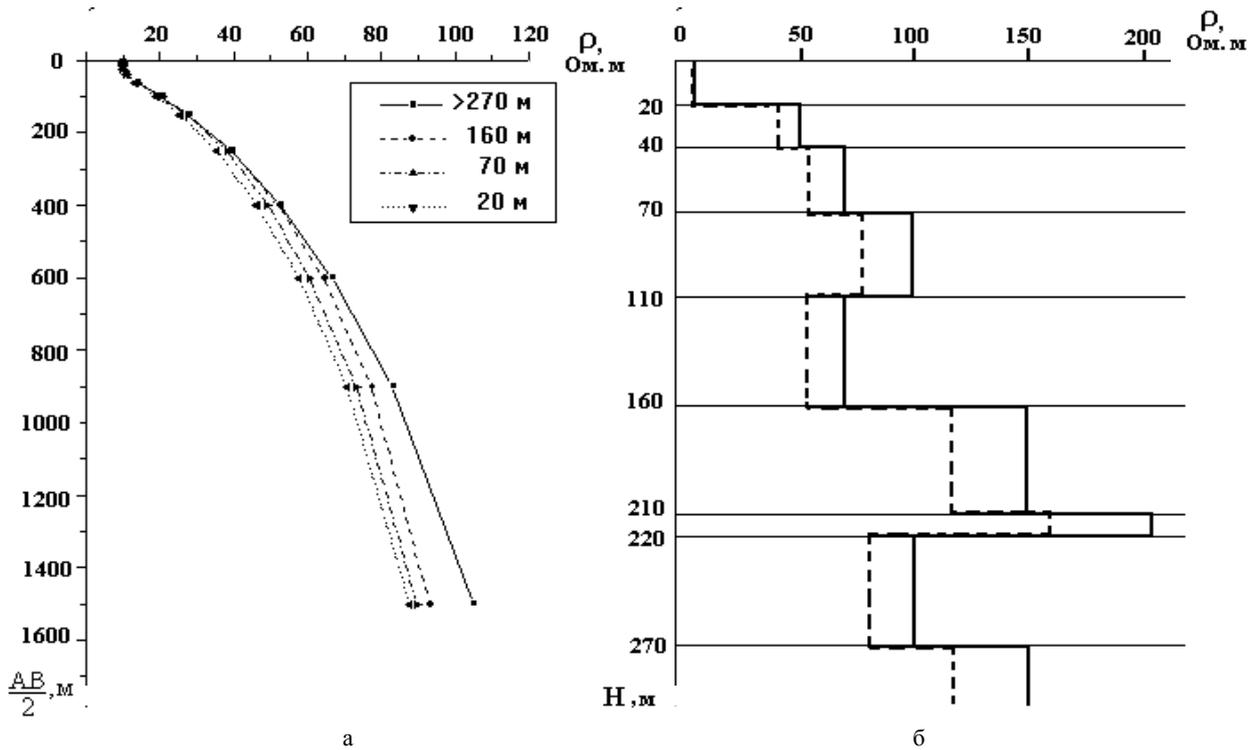


Рис. 16. Графики изменения ρ_k (а) для условий последовательного обводнения слоистой среды слабоминерализованными водами (б)

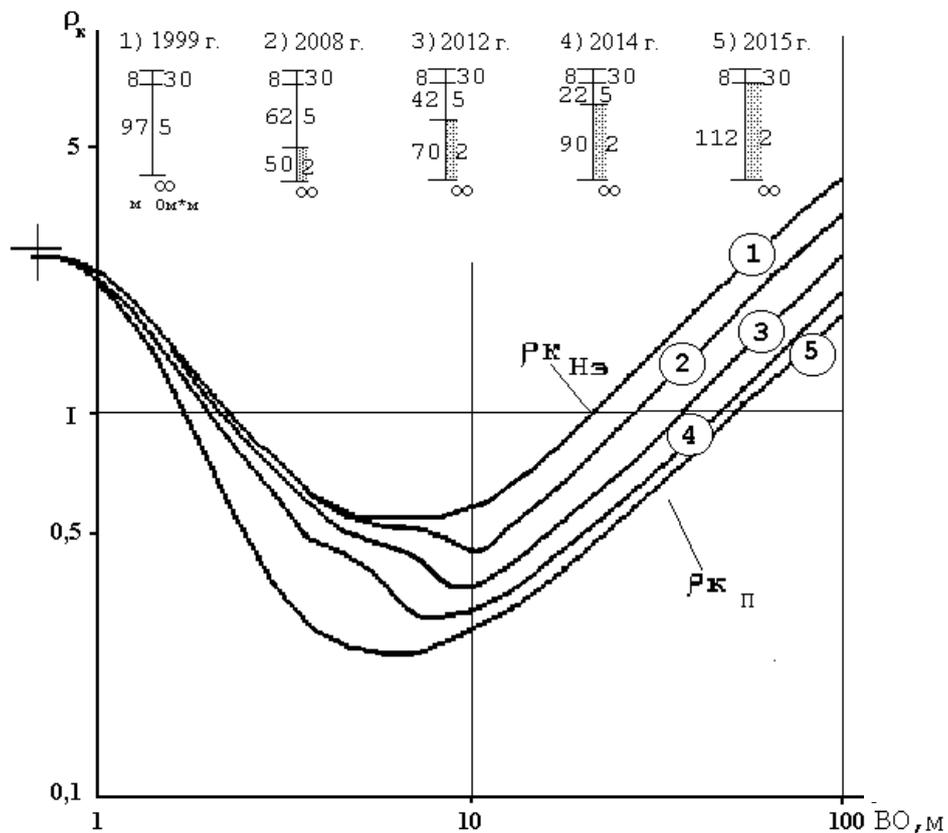


Рис. 17. Проявление на кривых ЭПТЗ эффектов заполнения водой горных выработок: 1 – 5 – графики электротомографических зондирований, полученные путем натуральных наблюдений и посредством цифрового моделирования на поле закрытой и затопляемой шахты № 17 ОАО «Ростовуголь»

Проведенный обзор литературных источников по состоянию изученности геоэкологической обстановки Восточного Донбасса геофизическими методами показывает, что к настоящему времени создан определённый научно-практический задел, включающий методологическую основу применения этих методов в рамках долгосрочного геоэкологического мониторинга. В результате анализа результатов геофизических и геохимических исследований установлено, что наибольшую значимость представляет проблема загрязнения подземных и, соответственно, поверхностных вод. Это предопределяет совершенствование существующих и разработку новых подходов к проведению гидроэкомониторинга [8, 19, 23, 24]. Система последнего и действующая на его основании гидрогеологическая модель должны включать взаимосвязанные подсистемы регионального, районного и шахтного уровней, по результатам которых должны быть построены модели целевых характеристик: а) регионального водного баланса; б) регионального гидрохимического баланса; в) баланса выноса твердых веществ; г) баланса загрязнений водозаборов и поверхностной гидросферы (реки, озера). Важным условием эффективного гидроэкологического мониторинга и моделирования является использование современных технологий сбора и обработки первичных данных, включая дистанционное зондирование, геофизические методы выявления и мониторинга динамических процессов (динамики массива, гидро- и газодинамики, динамики химизма вод и др.).

Выводы по настоящему аналитическому обзору сводятся к следующему:

1. Геофизические методы могут и должны являться неотъемлемой составляющей системы геоэкологического мониторинга на всех этапах.

2. В системе геоэкологического мониторинга с помощью геофизических методов в той или иной мере решаются основные задачи по изучению геологических разрезов, выявлению тектонической и техногенной нарушенности, сдвижений горных пород и др., что позволяет проводить обоснованное текущее и долгосрочное планирование, а также ликвидационные и постликвидационные работы на территориях горных отводов угольных шахт.

3. Условием эффективного использования геофизических методов является обеспечение полного рабочего цикла геоэкологических, гидрогеологических и инженерно-геологических работ, включая подготовку сводной геологиче-

ской и ландшафтно-топографической основы, обмен данными на этапе комплексных и специализированных работ и, наконец, комплексную завершающую интерпретацию геолого-геофизических данных.

Литература

1. Комплексирование методов разведочной геофизики : справочник геофизика / под ред. В.В. Бродового и А.А. Никитина. М., 1984. 384 с.
2. *Фоменко Н.Е., Порфилкин Э.Г.* Решение задач гидрогеологического мониторинга на горных отводах закрытых шахт Восточного Донбасса электроразведочными методами. Проблемы геоэкологии, геохимии и геофизики. Ростов н/Д., 2005. С. 342 – 351.
3. *Журбицкий Б.И.* Геоэкологические исследования на опорных профилях в углепромышленных районах Восточного Донбасса // Сб. науч. тр. Нац. горн. ун-та Украины. Днепропетровск, 2003. № 17, т. 1. С. 534 – 539.
4. *Фоменко Н.Е.* Изучение электромагнитной загрязненности населенных пунктов для решения геоэкологических задач // Экологическая безопасность и рациональное природопользование : сб. материалов межведом. науч.-практ. конф. по Югу России. Ростов н/Д., 2004. С. 92 – 97.
5. *Фоменко Н.Е., Порфилкин Э.Г., Гроссу А.Н.* Электроразведочные методы контроля состояния гидросферы в угольных регионах (требования, технологии, результаты) // Научно-методическое обеспечение мониторинга угольных бассейнов и месторождений России : сб. тр. Всерос. науч.-техн. семинара 25–27 сент. 2001 г. Ростов н/Д.; Шахты, 2001. С. 28 – 35.
6. *Бродовой В.В.* Комплексирование геофизических методов. М., 1991. 330 с.
7. *Тархов А.Г., Бондаренко В.М., Никитин А.А.* Принципы комплексирования в разведочной геофизике. М., 1977. 221 с.
8. *Журбицкий Б.И., Виницкий А.Е.* Комплексирование геологических и геофизических методов при составлении проектов углеразведочных работ // Изв. СКНЦ ВШ. 1986. № 4. С. 43 – 48.
9. *Фоменко Н.Е.* Гидроэкологический мониторинг в угольных регионах геофизическими методами // Научно-методическое обеспечение мониторинга угольных бассейнов и месторождений России : сб. тр. Всерос. науч.-техн. семинара. 25 – 27 сент. 2001 г. Ростов н/Д.; Шахты, 2001. С. 17 – 20.
10. *Фоменко Н.Е.* Области применения электроразведочных технологий на угольных месторождениях // Разведка и охрана недр. 2010. № 12. С. 72 – 77.
11. *Фоменко Н.Е.* Новые геофизические методы изучения тектонических нарушений на угольных месторождениях // Геология угольных месторождений : межвуз. науч.-темат. сб. Екатеринбург, 1996. Вып. 6. С. 100 – 108.

12. *Фоменко Н.Е.* Применение скважинной электроразведки при проведении специальных буровых работ // Уголь Украины. 1993. № 5. С. 37 – 38.

13. *Огильви А.А.* Основы инженерной геофизики : учебник для вузов. М., 1990. 501 с.

14. *Фоменко Н.Е.* Эколого-геологические исследования // Российская угольная энциклопедия : в 3 т. Т. 3 (Р–Я). М.; СПб., 2006. С. 450 – 452.

15. *Журбицкий Б.И.* Опыт проектирования и реализации рабочих проектов экологического мониторинга в Восточном Донбассе : межведом. сб. науч. тр. Днепропетровск, 2002. Вып 33. С. 87 – 90.

16. *Гроссу А.Н., Фоменко Н.Е.* Электроинтроскопия шахтных водоперетоков в Восточном Донбассе // Инженерная и рудная геофизика-2010 : тез. шестой Междунар. науч.-практ. конф. и выставки «ИНЖ-ГЕО-2010». 26–30 апреля 2010 г. Геленджик, 2010. С. 5.

17. *Журбицкий Б.И., Порфилин Э.Г., Фоменко Н.Е.* Геофизический мониторинг угольных шахтных полей Восточного Донбасса // Экологическая геофизика и геохимия : сб. материалов междунар. конф., 5–9 окт. 1998. М.; Дубна, 1998. С. 216 – 218.

18. *Журбицкий Б.И., Порфилин Э.Г., Фоменко Н.Е.* Геофизический мониторинг окружающей среды на шахтных полях в Донецком бассейне // Геоэкология. 2003. № 3. С. 268 – 276.

19. *Матвеев В.С., Горлинов Н.Н., Ерхов В.А.* Система геофизических исследований в гидрогеологии, инженерной геологии и экогеологии // Разведка и охрана недр. 2001. № 5. С. 38 – 43.

20. *Виницкий А.Е.* Рабочее проектирование экомониторинга закрывающихся угольных шахт // Научно-методическое обеспечение мониторинга угольных бассейнов и месторождений России : сб. тр. Всерос. науч.-техн. семинара. 25–27 сент. 2001 г. Ростов н/Д.; Шахты, 2001. С. 96 – 100.

21. *Никитин А.А., Хмелевской В.К.* Комплексирование геофизических методов : учебник для вузов. Тверь, 2004. 294 с.

22. *Журбицкий Б.И., Порфилин Э.Г., Фоменко Н.Е.* Геофизический мониторинг окружающей среды на шахтных полях в Донецком бассейне // Геоэкология. 2003. № 3. С. 268 – 276.

23. *Богословский В.А., Жигалин А.Д., Хмелевской В.К.* Экологическая геофизика : учеб. пособие. М., 2000. С. 35 – 37.

24. *Журбицкий Б.И., Порфилин Э.Г., Фоменко Н.Е.* Экогеофизические исследования в угольных регионах // Геолого-экологическое обеспечение реструктуризации угольной промышленности России : тр. Всерос. науч.-техн. семинара. 14–16 сентября 1997 г. Ростов н/Д., 1999. С. 33 – 38.

of exploration geophysics : directory of geophysics] / pod red. V.V. Brodovogo i A.A. Nikitina. M., 1984. 384 s.

2. *Fomenko N.E., Porfilkin E.G.* Reshenie zadach gidrogeologicheskogo monitoringa na gornyx otvodakh zakrytykh shakht Vostochnogo Donbassa elektrorazvedochnymi metodami. Problemy geoeologii, geokhimii i geofiziki [Solution of hydrogeological monitoring problems of mining leases abandoned mines of East Donbass by geoelectric methods. Geoecology, geochemistry and geophysics problems]. Rostov n/D., 2005. S. 342 – 351.

3. *Zhurbitskii B.I.* Geoeologicheskii issledovaniia na opornykh profiliakh v uglepromyshlennykh raionakh Vostochnogo Donbassa [Geoenvironmental studies supporting profiles in coal-mining areas of the Eastern Donbass] // Sb. nauch. tr. Nats. gorn. un-ta Ukrainy. Dnepropetrovsk, 2003. № 17, t. 1. S. 534 – 539.

4. *Fomenko N.E.* Izuchenie elektromagnitnoi zagriaznenosti naselennykh punktov dlia resheniia geoeologicheskikh zadach [Study of electromagnetic pollution settlements for solving geoenvironmental problems] // Ekologicheskaiia bezopasnost' i ratsional'noe prirodopol'zovanie : sb. materialov mezhdodom. nauch.-prakt. konf. po Iugu Rossii. Rostov n/D., 2004. S. 92 – 97.

5. *Fomenko N.E., Porfilkin E.G., Grossu A.N.* Elektrorazvedochnye metody kontroliia sostoiianiia gidrosfery v ugol'nykh regionakh (trebovaniia, tekhnologii, rezul'taty) [The methods of electrical control of the hydrosphere state in the coal regions (requirements, technologies, results)] // Nauchno-metodicheskoe obespechenie monitoringa ugol'nykh basseinov i mestorozhdenii Rossii : sb. tr. Vseros. nauch.-tehn. seminar 25–27 sent. 2001 g. Rostov n/D.; Shakhty, 2001. S. 28 – 35.

6. *Brodovoi V.V.* Kompleksirovanie geofizicheskikh metodov [Integration of geophysical methods]. M., 1991. 330 s.

7. *Tarkhov A.G., Bondarenko V.M., Nikitin A.A.* Printsipy kompleksirovaniia v razvedochnoi geofizike [The principles of aggregation in exploration geophysics]. M., 1977. 221 s.

8. *Zhurbitskii B.I., Vinitskii A.E.* Kompleksirovanie geologicheskikh i geofizicheskikh metodov pri sostavlenii projektov uglerazvedochnykh rabot [Integration of geological and geophysical methods in the drafting of coal exploration] // Izv. SKNTS VSH. 1986. № 4. S. 43 – 48.

9. *Fomenko N.E.* Hidroekologicheskii monitoring v ugol'nykh regionakh geofizicheskimi metodami [Hydroecological monitoring in the coal regions by geophysical methods] // Nauchno-metodicheskoe obespechenie monitoringa ugol'nykh basseinov i mestorozhdenii Rossii : sb. tr. Vseros. nauch.-tehn. seminar 25 – 27 sent. 2001 g. Rostov n/D.; Shakhty, 2001. S. 17 – 20.

10. *Fomenko N.E.* Oblasti primeniianiia elektrorazvedochnykh tekhnologii na ugol'nykh mestorozhdeniiah [The application of electro technology

References

1. Kompleksirovanie metodov razvedochnoi geofiziki : spravochnik geofizika [Integration of methods

on coal deposits] // Razvedka i okhrana neдр. 2010. № 12. S. 72 – 77.

11. *Fomenko N.E.* Novye geofizicheskie metody izucheniia tektonicheskikh narushenii na ugol'nykh mestorozhdeniiakh [New geophysical methods for studying tectonic disturbances in coal deposits] // Geologiya ugol'nykh mestorozhdenii : mezhvuz. nauch.-temat. sb. Ekaterinburg, 1996. Vyp. 6. S. 100 – 108.

12. *Fomenko N.E.* Primenenie skvazhinnoi elektrorazvedki pri provedenii spetsial'nykh burovnykh rabot [The use of borehole exploration for special drilling] // Ugol' Ukrainy. 1993. № 5. S. 37 – 38.

13. *Ogil'vi A.A.* Osnovy inzhenernoi geofiziki [Fundamentals of engineering geophysics]: uchebnik dlia vuzov. M., 1990. 501 s.

14. *Fomenko N.E.* Ekologo-geologicheskie issledovaniia [Ecological and geological research] // Rossiiskaia ugol'naia entsiklopedia : v 3 t. T. 3 (R-Ia). M.; SPb., 2006. S. 450 – 452.

15. *Zhurbitskii B.I.* Opyt proektirovaniia i realizatsii rabochikh proektov ekologicheskogo monitoringa v Vostochnom Donbasse [Experience in design and implementation of operational projects of environmental monitoring in East Donbas] : mezhvedom. sb. nauch. tr. Dnepropetrovsk, 2002. Vyp 33. S. 87 – 90.

16. *Grossu A.N., Fomenko N.E.* Elektroiintroskopiia shakhtnykh vodoperetokov v Vostochnom Donbasse [Electrointroscopy of the mine water flows in the Eastern Donbass] // Inzhenernaia i rudnaia geofizika-2010 : tez. shestoi Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. i vystavki «INZhGEO-2010». 26–30 apreliia 2010 g. Gelendzhik, 2010. S. 5.

17. *Zhurbitskii B.I., Porfilkin E.G., Fomenko N.E.* Geofizicheskii monitoring ugol'nykh shakhtnykh polei Vostochnogo Donbassa [Geophysical monitoring of the coal mine fields of the Eastern Donbass] // Ekologicheskaiia geofizika i geokhimiia : sb. materialov

mezhdunar. konf., 5–9 okt. 1998. M.; Dubna, 1998. S. 216 – 218.

18. *Zhurbitskii B.I., Porfilkin E.G., Fomenko N.E.* Geofizicheskii monitoring okruzhaiushchei sredy na shakhtnykh poliakh v Donetskom basseine [Geophysical monitoring of the environment on mine fields in the Donets Basin] // Geoekologiya. 2003. № 3. S. 268 – 276.

19. *Matveev V.S., Gorlinov N.N., Erkhov V.A.* Sistema geofizicheskikh issledovaniia v gidrogeologii, inzhenernoi geologii i ekogeologii [System geophysical studies in hydrogeology, engineering geology and ecogeology] // Razvedka i okhrana neдр. 2001. № 5. S. 38 – 43.

20. *Vinitskii A.E.* Rabochee proektirovanie ekomonitoringa zakryvaiushchikhsia ugol'nykh shakht [Detailed design of environmental monitoring of closing coal mines] // Nauchno-metodicheskoe obespechenie monitoringa ugol'nykh basseinov i mestorozhdenii Rossii : sb. tr. Vseros. nauch.-tehn. seminar. 25–27 sent. 2001 g. Rostov n/D.; Shakhty, 2001. S. 96 – 100.

21. *Nikitin A.A., Khmelevskoi V.K.* Kompleksirovanie geofizicheskikh metodov [Integration of geophysical methods] : uchebnik dlia vuzov. Tver', 2004. 294 s.

22. *Zhurbitskii B.I., Porfilkin E.G., Fomenko N.E.* Geofizicheskii monitoring okruzhaiushchei sredy na shakhtnykh poliakh v Donetskom basseine [Geophysical monitoring of the environment on mine fields in the Donets Basin] // Geoekologiya. 2003. № 3. S. 268 – 276.

23. *Bogoslovskii V.A., Zhigalin A.D., Khmelevskoi V.K.* Ekologicheskaiia geofizika : ucheb. posobie [Environmental geophysics: tutorial]. M., 2000. S. 35 – 37.

24. *Zhurbitskii B.I., Porfilkin E.G., Fomenko N.E.* Ekogeofizicheskie issledovaniia v ugol'nykh regionakh [Ecogeophysical research in the coal regions] // Geologo-ekologicheskoe obespechenie restrukturalizatsii ugol'noi promyshlennosti Rossii: tr. Vseros. nauch.-tehn. seminar. 14–16 sentiabria 1997 g. Rostov n/D., 1999. S. 33 – 38.