Экологический мониторинг

DOI: 10.35634/UdSU.2025.82.89.011

УДК 550.83.04

А.С. Коваленко

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ГЕОФИЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ НА УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ВОСТОЧНОГО ДОНБАССА

Аннотация. Приведена текущая ситуация в районах закрытых и закрывающихся шахт Восточного Донбасса, выявленная в рамках проводимого экологического мониторинга и отраженная в ежегодном Экологическом вестнике Дона. Озвучена необходимость более широкого мониторинга с помощью геофизических и смежных методов, на основе разработок, сделанных ведущими институтами в самом начале процесса массового закрытия шахт в регионе. Предложен комплекс первого уровня с перспективой его дальнейшего расширения на основе выполненных ранее разработок и с учётом текущего состояния отрасли, а также научных, инженерных и программных разработок.

Ключевые слова: экологический мониторинг, комплекс геофизических методов, гидромониторинг, рациональный комплекс, электроразведочные методы, перспективы применения.

Для цитирования: Коваленко А.С. Экологический мониторинг геофизическими методами на угольных месторождениях восточного Донбасса // Управление техносферой: электрон. журнал, 2025. Т.8. Вып.4. С. 722–734. DOI: 10.35634/UdSU.2025.82.89.011

Введение

В пределах Ростовской области имеет место быть значительное количество угольных шахт Восточного Донбасса. Их подавляющее большинство либо уже не эксплуатируется, либо проходит стадию ликвидации. Естественно, данный процесс, так или иначе, напрямую либо косвенно является источником целого ряда как экологических, так и техногенных проблем, которые, свою очередь, могут оказать крайне негативное влияние как на безопасность, так и на здоровье населения. Данная ситуация требует разработку и внедрение эффективных методов мониторинга.

Основные проблемы в плане закрытых и закрывающихся шахт

В процессе ликвидации шахт образуется реальная опасность в плане выделения различных газов, таких как метан и углекислый газ. Также имеет место быть такое явление, которое получило название «мертвый воздух», а именно, ситуация, когда в воздухе пониженное содержание кислорода (менее 17%) и он перестаёт быть пригодным для дыхания.

Выход газов на поверхность вызывается подъёмом уровня шахтных вод, которые также стремятся на дневную поверхность, задевая при этом, в том числе, и подземные водоносные горизонты. Таким образом, эти шахтные воды, будучи крайне высокоминерализованными, напрямую приводят к ощутимому отрицательному воздействию на экологическую обстановку, а также угрожают питьевым источникам водоснабжения.

Третьим значимым воздействием является провал грунта с соответствующими опасными последствиями.

На сегодняшний день в Восточном Донбассе (Ростовская область) закрыто 47 шахт и два участка горных отводов. На 41 объекте имело место быть полное затопление, при этом на 17-ти шахтные воды на сегодняшний день выходят на дневную поверхность. И, как следствие, возникает реальный риск для окружающей среды и населения.

Данная ситуация отражена в «Экологическом вестнике Дона» [1], который регулярно издаётся региональным министерством экологии. В частности, на его страницах отмечается тот момент, что порядка 95% пространства ликвидированных шахт Восточного Донбасса уже заполнены подземными водами. И, как ни странно, при этом не прекратилось выделение опасных газов на поверхность, причём в непосредственной близости от различных населённых пунктов.

В 2024 году были непосредственно зафиксированы опасные концентрации рудничных газов на 11 шахтах, в частности: шахта «Глубокая»

и шахта имени Октябрьской революции. При этом стоит отметить, что метан обнаружен не был. Тем не менее, другие вредные газы также представляют угрозу. Их выявляли в подвалах жилых домов, которые, в свою очередь, находятся в непосредственной близости от закрытых шахт, в таких городах как Шахты, Новошахтинск, а также Донецк. За последнее время концентрация газов несколько уменьшилась, но по-прежнему ситуация крайне тревожна.

Помимо этого, непосредственно на территории шахт было выявлено восемь провалов грунта. Семь были признаны временно стабильными с последующим наблюдением, а вот провал на шахте «Юбилейная» сразу был признан опасным. Причём, в первую очередь, из-за большой вероятности скопления рудничного газа, с большим риском взрыва, а также отравления.

Разработка методик мониторинга закрытых и закрывающихся шахт Восточного Донбасса геофизическими методами

Исходя из вышесказанного, есть все предпосылки несколько расширить и в чём-то улучшить проводимый мониторинг за счёт применения геофизических методов.

В своё время, когда началось массовое сокращение и закрытие угольных шахт в регионе, был поставлен вопрос о последствиях данного процесса, в том числе и в экологическом плане. Этим занимались несколько организаций, в частности Центр мониторинга социально-экологических последствий ликвидации шахт Восточного Донбасса (ЦСЭМ ВД), Шахтинский филиал Всероссийского научно-исследовательского маркшейдерского института (ШФ ВНИМИ), Всероссийский научно-исследовательский геологоразведочный институт угольных месторождений (ВНИГРИуголь).

Исследования проводились разные, широкого спектра, в разных областях: геология, геофизика, геохимия, горная механика [2, 3]. В силу сложного финансово-экономического положения в те времена многие идеи и технологии,

к сожалению, так и остались в виде разработок и опытных образцов. Вполне вероятно, что на данный момент следует вернуться к этим исследованиям.

В результате их работы как аналитической, так и экспериментальной, опытной и практической, было предложено на угольных шахтных полях Восточного Донбасса проводить следующий набор исследований: гидромониторинг, газовый мониторинг, геодинамический мониторинг и мониторинг загрязнения (табл. 1).

Таблица 1

Геофизические методы для экологического мониторинга угольных шахт Восточного Донбасса (Фоменко Н.Е., ВНИГРИуголь)

Виды мониторинга	Задачи мониторинга недр	Методы геофизического мониторинга недр
1. Гидромониторинг	1.1. Уровень шахтных и подземных вод	Электрические, сейсмические зондирования, каротаж
	1.2. Подтопление грунтов и почв	Геофизическое профилирование (ЭП, ЕП, ЭМП), зондирование – ЭПТЗ
	1.3. Динамика подземных и поверхностных вод	Методы естественных электромагнитных полей, ЭПТЗ
	1.4. Гидрохимический состав подземных и поверхностных вод	Многочастотная экспресс-резистивиметрия в фазовом варианте
2. Газовый мониторинг	2.1. Токсичные газы и метан в помещениях	Методы спектрально – лазерного компонентного газоанализа
	2.2. Загазованность покровных отложений	Экспрессное газовое профилирование
3. Геодинамический мониторинг	3.1. Сдвижения пород и микроземлетрясения	Сейсмометрия, микрогравиметрия
	3.2. Просадки, провалы, деформации покровных отложений, оснований сооружений, оползни	Контактные, наземные и дистанционные геофизические методы
4.Мониторинг загрязнения	4.1. Геофизические поля (тепловое, сейсмическое, электромагнитное, др.)	Контактные, наземные, дистанционные геофизические съемки
	4.2. Ландшафтное загрязнение	Комплекс геолого-геофизических методов
	4.3. Радиохимическое загрязнение	Радиометрия, эманометрия
	4.4. Химическое загрязнение вод, почв, грунтов, строений	Спектральный, химический анализ проб, контактные методы геофизического анализа

Предлагаемый минимальный рациональный комплекс с перспективой его развития и расширения

Исходя из проведённых раннее научно-исследовательских и опытно-производственных работ, а также из текущей достаточно острой необходимости наиболее необходимым выступает гидромониторинг, выполняемый с помощью геофизических методов, позволяющих достигнуть следующих целей:

1. результаты проведённого мониторинга позволяют сделать прогноз по гидросфере в плане устойчивой геодинамики;

2. важнейшим параметром проводимого мониторинга является оперативность;

3. мониторинг должен быть экономически обоснованным;

4. геоэкологическая эффективность должна быть достаточной.

В этом ключе наиболее приемлемыми выступают геофизические наблюдения в основном методами электроразведки.

В первую очередь хотелось бы отметить применение скважинной электроразведки в качестве инструмента для определения наличия, а также уровня подземных вод, причём как в скважинах, так и в шахтных стволах [4].

Для работы в этом направлении есть целый ряд вариантов (рис. 1).

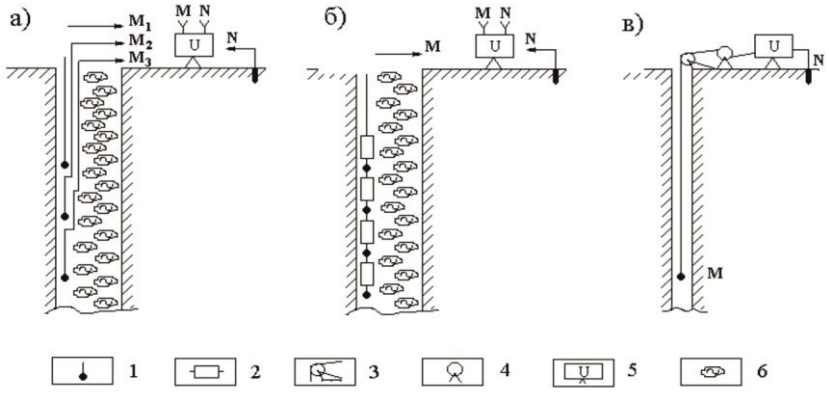


Рис.1. Схемы для определения уровня грунтовых вод электроды погруженные (а, б) и каротаж ПС (в)

1 – скважинный электрод, 2 – эталонный резистор, 3 – блок-баланс, 4 – катушка с проводом, 5 – измерительное устройство, 6 – засыпной материал.

Вариант первый (рис. 1а). Производится измерение удельного электрического сопротивления (УЭС), которое имеет место быть в электрической цепи, состоящей из электродов, которые, в свою очередь, расположены непосредственно в шахтном стволе, который, уже в свою очередь, засыпан горными породами. Само же измерение производится между ними и электродом, который расположен на поверхности. Следует отметить один важный момент. Данные электроды обладают весьма своеобразной конструкцией. Они располагаются внутри перфорированной пластиковой трубки, что делает возможным, с одной стороны, иметь изоляцию, перекрывающую контакт электрода с твердой средой, в тоже время происходит контакт с буровым раствором. Сама схема состоит из проводов, выведенных на дневную поверхность. Отличительной особенностью является то, что провода выведены от каждого электрода. Несмотря на простоту, метод сравнительно эффективен. Причина заключается в том, что различие УЭС в водной и воздушной средах составляет более чем 10^5 Ом·м. Следовательно, легко и эффективно можно разделять, контролировать, и, само собой, непосредственно измерять.

Второй вариант (рис. 1б). Он незначительно отличается от первого другой схемой. А именно, задействован лишь один кабель. В какой-то мере он несколько выгоднее, ввиду явно меньшего расхода проводов. Представляет из себя своеобразную «гирлянду» из электродов на одном кабеле. В остальном вариант таков же, как и первый.

Третий вариант (рис. 1в). Это классический электрический каротаж, в рамках которого определяется изменение естественного электрического поля (ПС). Он весьма и весьма практичен, что ярко проявляется в возможности исследования и контроля уровня подземных вод, которые имеют место быть в скважинах, причём в любое время.

Что же в плане картирования угленосных разрезов, которые содержат в своем составе те или иные водоносные горизонты, с помощью геофизических методов. Исходя из приведённых выше требований и ряда работ в этом и смежных направлениях, следует заострить внимание на методе электропотенциального томографического зондирования (ЭПТЗ)[5].

Вкратце, ЭПТЗ представляет собой четырёхэлектродную дипольную установку (АВ – питающий диполь, MN – измерительный). Основными схемами взаимного расположения диполей являются осевая и ортогональная (рис. 2). Расстояние между А и В варьируется в пределах 100-300м, а между электродами М и N – 2-10м. Сам процесс зондирования производится с помощью перемещения измерительных электродов MN, которые направлены от электродов А и В, причём, как вдоль этого направления, так и ему ортогонально. При этом шаг перемещения традиционно равен размеру MN.

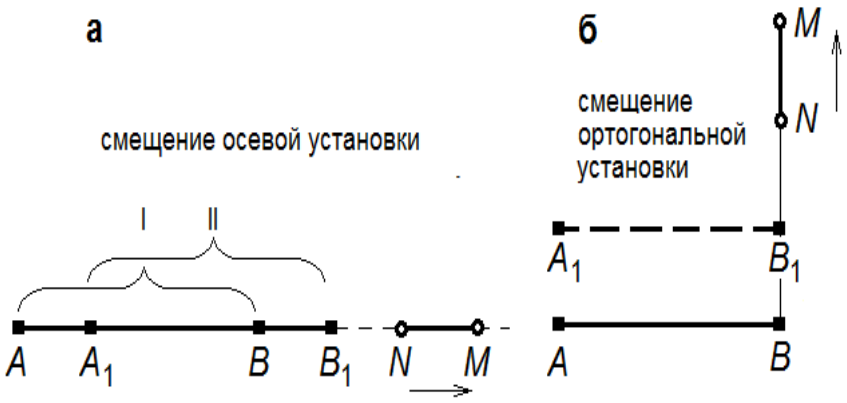


Рис. 2. Схема электропотенциального зондирования ЭПТЗ

а – осевая схема; б – ортогональная

Пример интерпретации результатов исследований методом ЭПТЗ. Полевые измерения были проведены в районе шахты «Красина» (В.Донбасс). По полученным полевым результатам с помощью программы IPI построен разрез электрического сопротивления ρ_k (рис.3). В свою очередь, геологический разрез представлен угленосными отложениями с пологонаклонным (до $10\text{-}15^0$)

залеганием слоев. Что касается мощности покровных отложений, то они составляли от нескольких сантиметров до первых метров.

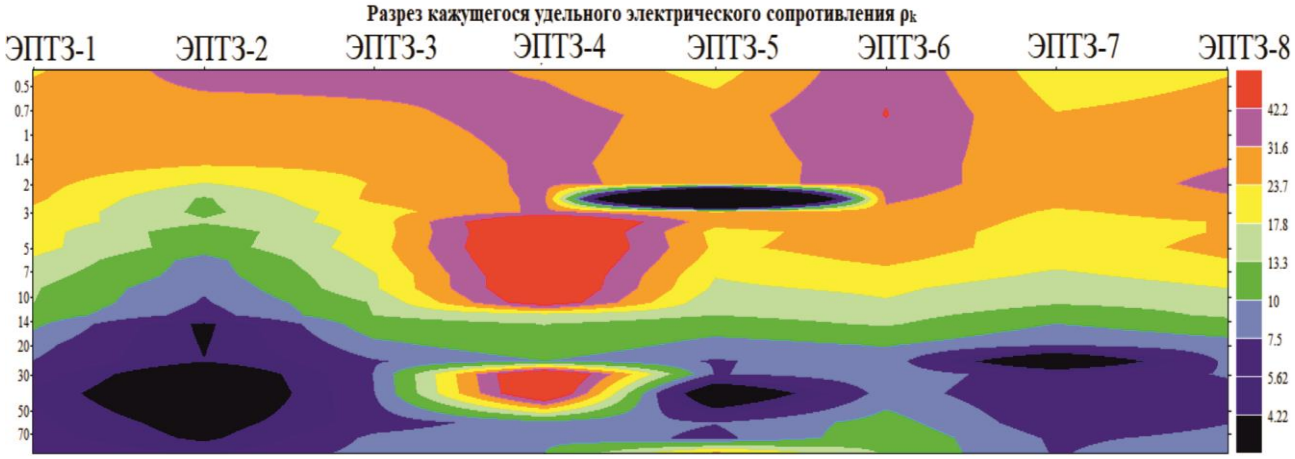


Рис.3. Интерпретация IPI результатов ЭПТЗ, ш. «Красина», профиль I – I

Более сложным, но, тем не менее, весьма значимым для выявления водоносных горизонтов за счёт пониженного УЭС, а также для решения геоэкологических задач при создании гидрозавес от перетоков шахтных вод, является геофизическое исследование методами скважинной электроразведки, в том числе и с активным привлечением данных по бурению. В качестве примера можно привести работы, проведенные в Восточном Донбассе. В частности, электроинтроскопия угленосного разреза между скважинами методом заряда [6, 7]. Основным при этом является метод межскважинной электрической корреляции (МЭК). Он активно применяется на рудных месторождениях [8]. Однако на угольных было некоторое отличие. Оно заключалось в том, что измерения происходили по равномерной сети. И это, в свою очередь, позволило на основе полученных данных измерения U_M, с помощью расчетов, дополнительно получить значения градиента потенциала (ΔU_{MN}).

Электроинтроскопия, по сути, представляет собой сканирование. Вследствие этого имеют место быть условия, позволяющие определить степень ослабления либо, возможно, усиления тех или иных составляющих

электрического поля. В целом ситуация зависит от УЭС и других электрических свойств изучаемого пространства.

1. Пример результата электроинтроскопии приведён на рис. 4.

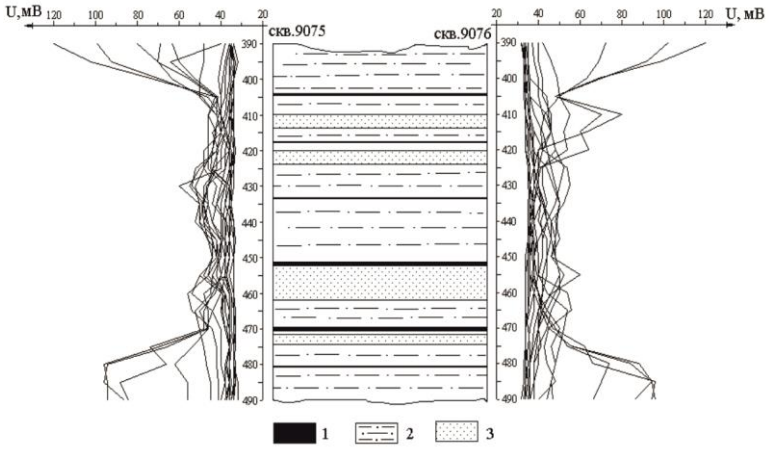


Рис. 4. Графики электроинтроскопии межскважинного пространства $U_м$ участок полей шахт «Несветаевская» и «Соколовская»

1 – уголь, 2- алевролит, 3 – песчаник

Исследования проходили на участках полей шахт «Несветаевская» и «Соколовская» (В. Донбасс) между скважинами 9075 и 9076. Распределение электрического поля в просвечиваемом пространстве указывает на то, что, ориентировочно, на глубинах 410-470 м имеет место быть пониженное значение U_M. Помимо этого, показания практически не дифференцируются с показателем ΔU_{MN}. Основной причиной таких малых УЭС, вероятнее всего является обводнённость, которая, в свою очередь, связана с перетоком подземных вод из шахты «Несветаевская» в шахту «Соколовская» сквозь барьерный целик.

Заключение

В целом, исходя из большого ряда научно-исследовательских и опытно-методических работ по использованию геофизических методов для решения геоэкологических задач в угольных регионах, можно весьма и весьма обоснованно говорить о том, что с помощью геофизических исследований можно получить определенный объем данных об экологической обстановке

изучаемых территорий. Наиболее информативным является этап геофизического картирования экологически опасных зон, в частности техногенно и тектонически нарушенных участков земной коры, которые служат каналами энерго- и массопереноса и являются участками повышенной флюидопроницаемости и выходов на поверхность подземных шахтных вод, а также токсичных и горючих газов из горных выработок.

Оперативность и эффективность технологий электроразведочных методов являются обоснованными и весьма востребованными. Что, в свою очередь, выступает основанием для разработки новых, как аппаратурных, так и методических решений. Таких как оптимизация измерительных установок, использование современного вычислительного и программного потенциала, комбинирование гальванического возбуждения с индукционным приемом и многие другие.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Экологический вестник Дона «О состоянии окружающей среды и природных ресурсов Ростовской области в 2024 году» // Ростов-на-Дону. «Альтаир». 2025. 372 с.
2. Фоменко Н.Е., Журбицкий Б.И., Порфилкин Э.Г. Геофизический мониторинг окружающей среды на шахтных полях в Донецком бассейне // Геоэкология. 2003. № 3. С. 268 – 276.
3. Коваленко А.С., Тарасов А.Б. Применение газового мониторинга для оценки негативных экологических последствий угледобычи на окружающую природную среду // Всероссийская научн.-практ. конференция Геолого-геохимические проблемы экологии 26-27 апреля 2012 г. Тезисы докладов. Москва, ИМГРЭ. 2012. С. 94 – 95
4. Фоменко Н. Е., Закруткин В. Е., Гапонов Д. А., Холодков Ю. И. Геофизические методы решения экологических задач в Восточном Донбассе (аналитич. обзор) // Изв. вузов. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2014. № 6. С. 75 – 93
5. Фоменко Н.Е., Порфилкин Э.Г., Гапонов Д.А. Исследование геологической среды методом электропотенциального томографического зондирования с целью выбора мест безопасного размещения промышленных и бытовых отходов // Геофизика. 2017. № 1. С. 63 – 71.

6. 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., г. Ростов-на-Дону. Шахты: Изд.-во ЮРОАГН, 2001. С. 17 – 20.
7. 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 «ИНЖГЕО-2010». 26–30 апреля 2010г. Геленджик, 2010.
8. Козырин А.К. Электрическая корреляция разрезов скважин // Москва: Недра, 1985. 136 с.

Поступила в редакцию: 30.10.2025

Сведения об авторе
Коваленко Андрей Сергеевич
Кандидат технических наук, доцент кафедры геоэкологии и прикладной геохимии, ФГАОУ ВО Южный федеральный университет, Институт наук о Земле, 344090, ул. Зорге 40, г. Ростов-на-Дону, Ростовская область, Россия.
E-mail: akova@sfedu.ru

A. S. Kovalenko

ENVIRONMENTAL MONITORING BY GEOPHYSICAL METHODS IN THE COAL FIELDS OF EASTERN DONBASS

Annotation. The current situation in the areas of closed and closing mines in Eastern Donbass, identified as part of ongoing environmental monitoring and reflected in the annual Environmental Bulletin of the Don, is presented. The need for broader monitoring using geophysical and related methods based on developments made by leading institutions at the very beginning of the process of mass closure of mines in the region was voiced. The first-level complex is proposed with the prospect of its further expansion based on previously completed developments and taking into account the current state of the industry, as well as scientific, engineering and software developments.
Keywords: environmental monitoring, complex of geophysical methods, hydromonitoring, rational complex, electrical exploration methods, application prospects.

For citation: Kovalenko A. S. [Environmental monitoring by geophysical methods in the coal fields of eastern Donbass]. *Upravlenie tekhnosferoi,* 2025, vol. 8, issue 4, pp. 722–734. DOI: 10.35634/UdSU.2025.82.89.011. (In Russ.).

REFERENCES

1. *Ekologicheskii vestnik Dona «O sostoyanii okruzhayushchei sredy i prirodnykh resursov Rostovskoi oblasti v 2024 godu»* [Ecological Bulletin of the Don "On the State of the Environment and Natural Resources of the Rostov Region in 2024"]. Rostov-on-Don, Al'tair, 2025, 372 p. (In Russ).
2. Fomenko N.E., Zhurbickij B.I., Porfilkin Je.G. *Geofizicheskij monitoring okruzhajushhej sredy na shahtnyh poljah v Doneckom bassejne* [Geophysical environmental monitoring in mine fields in the Donetsk basin]. *Geojekologija* [geoecology]. no. 3, pp. 268 – 276 (in Russ.).
3. Kovalenko A.S., Tarasov A.B. *Primenenie gazovogo monitoringa dlja ocenki negativnyh jekologicheskih posledstvij ugledobychi na okruzhajushhuju prirodnuju sredu* [The use of gas monitoring to assess the negative environmental effects of coal mining on the environment.]*Vserossijskaja nauchno-prakticheskaja konferencija Geologo-geohimicheskie problemy jekologii 26-27 aprelja 2012 g. Tezisy dokladov.*[All-Russian scientific-practical. Conference "Geological and Geochemical Problems of Ecology" April 26-27, 2012. Abstracts.] Moscow, 2012, pp 94 – 95 (in Russ.).
4. Fomenko N. E., Zakrutkin V. E., Gaponov D. A., Holodkov Ju. I. *Geofizicheskie metody reshenija jekologicheskih zadach v Vostochnom Donbasse (analitich. obzor)* [Geophysical

methods for solving environmental problems in the Eastern Donbass (analytical. review)] *Izvestija vuzov. Severo-Kavkazskij region. Serija: Estestvennye nauki* [News of universities. North Caucasus region. Series: Natural Sciences]. 2014, no 6, pp. 75 – 93 (in Russ.).

5. Fomenko N.E., Porfilkin Je.G., Gaponov D.A. *Issledovanie geologicheskoj sredy metodom jelektropotencial'nogo tomograficheskogo zondirovanija s cel'ju vybora mest bezopasnogo razmeshhenija promyshlennyh i bytovyh othodov* [Investigation of the geological environment by electropotential tomographic sounding in order to select locations for safe disposal of industrial and domestic waste]. *Geofizika* [geophysics]. 2017, no. 1, pp. 63 – 71 (in Russ.).
6. Fomenko N.E., Porfilkin Je.G., Grossu A.N. J*elektrorazvedochnye metody kontrolja sostojanija gidrosfery v ugol'nyh regionah (trebovanija, tehnologii, rezul'taty). Nauchno-metodicheskoe obespechenie monitoringa ugol'nyh bassejnov i mestorozhdenij Rossii: Sbornik trudov Vserossijskogo nauchno-tehnicheskogo seminara 25-27 sentjabrja 2001.* [Scientific and methodological support for monitoring coal basins and deposits of Russia: Collection of works of the All-Russian Scientific and Technical Seminar September 25-27, 2001] Rostov-on-Don, 2001, pp. 17 – 20 (in Russ.).
7. Grossu A.N., Fomenko N.E. *Jelektrointroskopija shahtnyh vodoperetokov v Vostochnom Donbasse Inzhenernaja i rudnaja geofizika-2010: tezisy shestoj Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii i vystavki «INZhGEO-2010». 26–30 aprelja 2010* [Engineering and ore geophysics-2010: theses of the sixth International scientific-practical conference and exhibition "INZHGEO-2010." April 26-30, 2010] Gelendzhik, 2010, pp. 5 – 6. (In Russ).
8. Kozyrin A.K. *Jelektricheskaja korreljacija razrezov skvazhin* [Electrical correlation of well sections]. Moscow, Nedra, 1985, 136 p. (In Russ).

Received: 30.10.2025

About the Author

Kovalenko Andrey Sergeevich
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Geoecology and Applied Geochemistry, Southern Federal State Educational Institution of Higher Education, Institute of Earth Sciences, 344090, Sorge 40, Rostov-on-Don, Rostov Region, Russia.
E-mail: akova@sfedu.ru