

# Применение геофизических методов для решения гидрогеоэкологических задач на территории Южного Кривбасса

*П. И. Пигулевский<sup>1</sup>, О. К. Тяпкин<sup>2</sup>, В. К. Свистун<sup>3</sup>, 2018*

<sup>1</sup>Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины, Киев, Украина

<sup>2</sup>ГВУЗ "Национальный горный университет", Днепр, Украина

<sup>3</sup>Днепропетровская геофизическая экспедиция "Днепрогеофизика", Днепр, Украина

Поступила 13 апреля 2018 г.

З використанням комплексу геофізичних методів (граві-, магніторозвідки, електророзвідки методом вертикального електричного зондування, а також дешифрування аеро- і космознімків) досліджено геоекологічний вплив різних техногенних об'єктів гірничого виробництва на територію Південного Кривбасу. Показано визначальну роль тектонічного фактора в оцінюванні гідрогеоекологічного стану району досліджень. За результатами детальних геолого-геофізичних спостережень встановлено, що субмеридіональна метаморфічна товща порід криворізької серії на території Південного Кривбасу розбивається діагональними і субширотними розломами високих рангів з утворенням системи дрібних блоків. Їх вертикальні зрушення "розвантажують" напруження, що періодично виникають в земній корі. В результаті взаємодії природних геодинамічних і техногенних процесів відзначається високий рівень активізації небезпечних геоекологічних (і насамперед гідрогеоекологічних) процесів. На підставі комплексного аналізу гідрогеолого-геофізичної інформації показано, що на гідрогеоекологічний стан території Південного Кривбасу спільно впливають мінералізовані шахтні та кар'єрні води як із хвостосховищ ПАТ "Південний ГЗК" і ПАТ "Арселор Міттал Кривий Ріг", так і із ставка-накопичувача шахтних вод у балці Свистунова ДП "Кривбасшахтозакриття". За результатами досліджень, підтоплення розглянутої території не є повсюдним, а відбувається з урахуванням сучасних особливостей активізації розривної тектоніки.

**Ключові слова:** Південний Кривбас, гідрогеоекологічний стан, геолого-геофізичні дослідження, геоелектричний опір, підтоплення.

**Введение.** Одним из наиболее интенсивных антропогенных преобразований окружающей среды является горнодобывающая отрасль. Ее деятельность сопровождается изменениями в состоянии и свойствах массивов пород и подземной части гидросферы, которые, в свою очередь, влияют на ландшафты, поверхностные воды, почвы, зону аэрации, атмосферу и через них (а также непосредствен-

но) на экологические системы [Шапар та ін., 2004]. В результате на территории старопромышленных горнодобывающих регионов существенно нарушается экологическое равновесие и условия жизнедеятельности населения, формируются новые устойчивые природно-техногенные геосистемы, в которых наиболее уязвимые элементы — поверхностные и подземные воды и зона аэрации, что приводит к раз-

витуию кризисной геозкологической ситуации. Последняя является сложной научно-прикладной проблемой, решение которой требует развития современных технологий диагностики как состояния экосистем, так и прогноза динамики комплексного антропогенного воздействия на окружающую среду. Технологии исследований, которые используют комплекс геофизических методов, позволяют оперативно определять ее состояние и функционирование по малому количеству параметров, а также комплексно отображать суть природно-техногенных объектов и процессов вместе с геозкологическими последствиями хозяйственной деятельности [Огильви, 1990; Савич, Куюнджич, 1990; Тяпкин та ін., 2000; Tyarkin, Soldatenko, 2001; Тяпкин, 2006; Геозкологические ..., 1999; Пигулевский и др., 2016; Tyarkin et al., 2016, 2017]. При этом геофизические методы позволяют изучать не только техногенную составляющую активизации проявлений неблагоприятных природных (геологических, гидрологических, климатических и др.) факторов, но и оценивать степень геозкологического влияния различных техногенных объектов. Именно этому вопросу на примере решения гидрогеозкологических задач, уделено основное внимание в предлагаемой статье.

Объектом исследований является территория южного Кривбасса, на которой расположен целый ряд поверхностных техногенных объектов горного производства, в том числе хвостохранилища ПАО "ЮГОК" и ПАО "Арселор Миттал Кривой Рог", а также пруд-накопитель шахтных вод в балке Свистунова ГП "Кривбассшахтозаккрытие". Нынешнюю экологическую ситуацию этой территории можно охарактеризовать как техногенную [Экологічний ..., 2009; Пигулевский и др., 2017; Тяпкин и др., 2017], характеризующуюся весьма сложной гидрогеологической обстановкой, обуславливаемой невыдержанной мощностью и фильтрационными свойствами водосодержащих пород, различными отметками залегания и степенью взаимосвязи водоносных горизонтов, на-

личием многочисленных источников питания и дренажа всех горизонтов. В этих условиях с учетом эффективности использования геофизических данных может быть обеспечена объективная оценка механизма техногенной активизации природных процессов с выработкой дальнейших рекомендаций и требований для геозкологически безопасного функционирования горнодобывающих предприятий.

**Тектонический фактор в формировании гидрогеозкологической ситуации юга Кривбасса.** Рассматриваемая территория в геолого-структурном отношении приурочена к Южному району Криворожского железорудного бассейна. Здесь, как и практически в любом другом регионе, одним из основных факторов, определяющих общую геозкологическую и в том числе гидрогеозкологическую обстановку, являются разломы земной коры [Тяпкин та ін., 2000; Тяпкин, 2006; Tyarkin et al., 2017]. Формирование гидродинамического режима и гидрохимического облика подземных вод первого от поверхности водоносного горизонта, а также почвообразовательные процессы обусловлены особенностями ландшафтных зон и геологической историей формирования верхних слоев земной коры, которые, в свою очередь, предопределяются особенностями тектонического строения.

В целом на территории Кривбасса как хвостохранилища, так и пруды-накопители размещаются в долинах рек или балок, положение которых контролируется тектоническими зонами. Учитывая широкое развитие природной и техногенной трещиноватости горных пород, находящиеся в них минерализованные воды (даже при высококачественной гидроизоляции хвостохранилищ) могут поступать в водоносные горизонты, что способствует развитию карстовых явлений и засолению почвы. Разница в скорости вертикальных перемещений соседних блоков, между которыми оборудованы хвостохранилища или пруды-накопители, может вызвать деформацию дамб и их разрушение и даже возникновение селевых явлений с прису-

щими им катастрофическими последствиями. Таким образом, в результате взаимодействия природных геодинамических и техногенных процессов на всей территории Кривбасса существует высокий уровень возникновения природных и техногенно-природных чрезвычайных ситуаций.

Многочисленные факты свидетельствуют об активном влиянии разломных зон повышенной проницаемости горных пород на динамику подземных вод, изменение фильтрационных характеристик водных коллекторов, вертикальную фильтрацию, транзитное перетекание между разноэтажными водоносными горизонтами, создание внутренних локальных участков питания и разгрузки подземных вод и т. д. [Багрий и др., 1988; Никитин, Месхи, 1991; Чебаненко та ін., 2000; Багрий та ін., 2002]. Также зоны тектонической трещиноватости определяют участки активной взаимосвязи подземных и поверхностных вод. При этом исследованиями зафиксирована прямая связь между показателями тектонической раздробленности и степенью водообильности горных пород, приуроченностью высокой водопроницаемости к раскрытым тектоническим трещинам. В речных долинах зоны тектонических нарушений связаны с аномальными зонами разгрузки или поглощения вод [Багрий и др., 1988; Никитин, Месхи, 1991].

В районе исследований детальными геолого-геофизическими исследованиями установлены диагональные и субширотные мелкие разломы, разбивающие субмеридионально простирающуюся толщу метаморфических горных пород криворожской серии на ряд блоков, движение которых уже в докембрии обусловили резкие колебания нижней границы железорудной толщи [Семенюк, 1972; Чебаненко та ін., 2000]. Причем влияние вторичных процессов в зонах разломов или современных перемещений вдоль этих зон обнаруживаются по геофизическим признакам — путем анализа косвенных связей между магнитными и электрическими аномалиями [Беланов и др., 1972]. Линейная магнитная аномалия  $\Delta Z$ , лежащая

на южном продолжении Криворожско-Кременчугского глубинного разлома, соответствует мигматитам, имеющим повышенную намагниченность в зоне разлома. Изменение величин суммарной продольной проводимости разреза  $S$  и удельного сопротивления  $\rho_{k\min}$  по данным вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) обусловлено структурными изменениями электрического сопротивления выдержанного по мощности горизонта, представленного красно-бурыми глинами. В указанных условиях наблюдающаяся на протяжении первых километров корреляция максимума кривой  $Z_a$  и минимума кривой  $\rho_{k\min}$ , связанных с разными объектами, может быть объяснена только влиянием современных подвижек вдоль зоны разлома, приводящим к рыхлению верхнего структурного этажа — осадочных пород и, следовательно, к повышенной их обводненности. При этом магнитная аномалия связана со вторичными изменениями кристаллических пород зоны разлома в докембрии, а электрическая — с проявлением его современной активизации в верхнем структурном этаже. Таким образом, разные геофизические методы, работающие на различной физической основе, при изучении разломов характеризуют всевозможные геологические особенности объектов исследования и позволяют восстановить историю их формирования.

**Влияние поверхностных объектов горного производства на подземные воды.** Основные антропогенные преобразования, вносимые хвостохранилищами в окружающую среду, связаны с фильтрационными потерями через основание и борта сооружения, а также с выбросами загрязняющих веществ с пылящих поверхностей хвостовых отложений. Инфильтрационный поток, формирующийся из утечек хвостохранилищ и пруда-накопителя, вследствие геологического строения их ложа расходуется на пополнение запасов подземных вод в неогеновом водоносном горизонте за счет вертикальной фильтрации. Вследствие этого уровень под-

земных вод в неогеновом водоносном горизонте на участке между рассматриваемыми объектами и р. Ингулец (в районе с. Новоселовка) повысился на 24—31 м.

Согласно разработанному проекту, пруд-накопитель предназначен для временной аккумуляции излишков высокоминерализованных шахтных вод (до 12,0 млн м<sup>3</sup>) в вегетационный период с последующим его полным опорожнением в осенне-зимний период (межвегетационный период) в р. Ингулец. За время эксплуатации, с 1976 г., пруд несколько раз наполнялся и в результате фильтрации самоопорожнялся, несмотря на усиление противofильтрационных мероприятий. После каждой потери воды обнаруживались значительные деформации чаши пруда в виде воронок, трещин и промоин. Их происхождение связано с суффозионным выносом грунтов в закарстованные сарматские известняки, залегающие в ложе пруда на глубине 15—20 м от поверхности и перекрытые пластом песка и суглинков. Вследствие активизации суффозионно-карстовых процессов и происходили значительные фильтрационные потери, которые неоднократно сопровождались полным аварийным опорожнением пруда, в результате чего подземные воды загрязнялись высокоминерализованными шахтными. Несмотря на осуществленные противofильтрационные мероприятия, полностью избежать проявлений карстово-суффозионных процессов не удалось. Эти явления связаны с тем, что пруд-накопитель по структурно-тектоническим и гидрогеологическим условиям расположен на живущем в современном периоде тектоническом основании [Багрий та ін., 2005]. Балка Свистунова на большей части своего простираения наследует региональное разломное нарушение с четкими признаками неотектонической активизации. Интенсивная тектоническая раздробленность пород ее ложа является причиной повышения значений фильтрационных параметров и ухудшения физико-механических свойств горных пород, что и вызывает усиление суффозионно-карстовых процес-

сов. Эти процессы приобретают опасные масштабы при увеличении техногенной нагрузки во время чрезмерного заполнения пруда-накопителя шахтными водами и сопровождаются их аварийным вытоком с загрязнением подземных вод. Негативное влияние шахтных вод усиливается их химической агрессивностью вследствие высокой минерализации. Об определяющем влиянии постоянно действующих структурно-геодинамических факторов на эксплуатационные характеристики пруда-накопителя свидетельствует низкая эффективность неоднократно примененных противofильтрационных инженерно-гидротехнических мероприятий. Расположение плотины пруда-накопителя совпадает с широкой неотектонически активной геодинамической зоной, которая четко проявляется в современном рельефе и дешифрируется на аэро- и космоснимках. Таким образом, все мероприятия по обеспечению гидротехнической устойчивости этого пруда-накопителя можно расценивать лишь как временные. Продолжение эксплуатации пруданакопителя требует не только организации системы режимных гидрологических и гидрогеологических наблюдений (мониторинга), а и прогнозирования и картирования возможных путей распространения загрязнений по зонам повышенной проницаемости.

**Применение повторных геофизических исследований для решения гидрогеологических задач.** Эффективность мероприятий, направленных на предотвращение подтопления, требует скрупулезного сбора и изучения результатов, ранее проведенных геолого-геофизических, гидрогеологических работ, их анализа для определения оптимального комплекса и методики экспресс-исследований, которые обеспечат успешное выявление современных антропогенных изменений на подтопляемых территориях [Пігулевский та ін., 2016 а—в, 2017 а—в]. Для выявления пластов горных пород с разным электрическим сопротивлением, являющихся водопроводными или водоупорными горизонтами, и определения по показателям

электрического сопротивления степени их увлажнения с размещением в них зон повышенной проницаемости, были использованы материалы электроразведочных работ Днепропетровской геофизической экспедиции (ДГЭ) "Днепрогеофизика" в модификации ВЭЗ. В районе исследований в июле—августе 2008 г. (рис. 1) было выполнено 18 отдельных профилей ВЭЗ ( $AB = 300$  м) с шагом наблюдений 200 м. Из них профили 10—14 наблюдались в

близком к субширотному и субмеридиональному направлениям с отдельными отклонениями в зависимости от условий местности (ориентации дорог, посадок и пр.).

Для расчленения верхней части геологического разреза и установления глубины капиллярного увлажнения по площади исследований на отдельных точках профилей были выполнены исследования ВЭЗ с малыми разносами, которые фиксировали значения кажущегося сопротив-

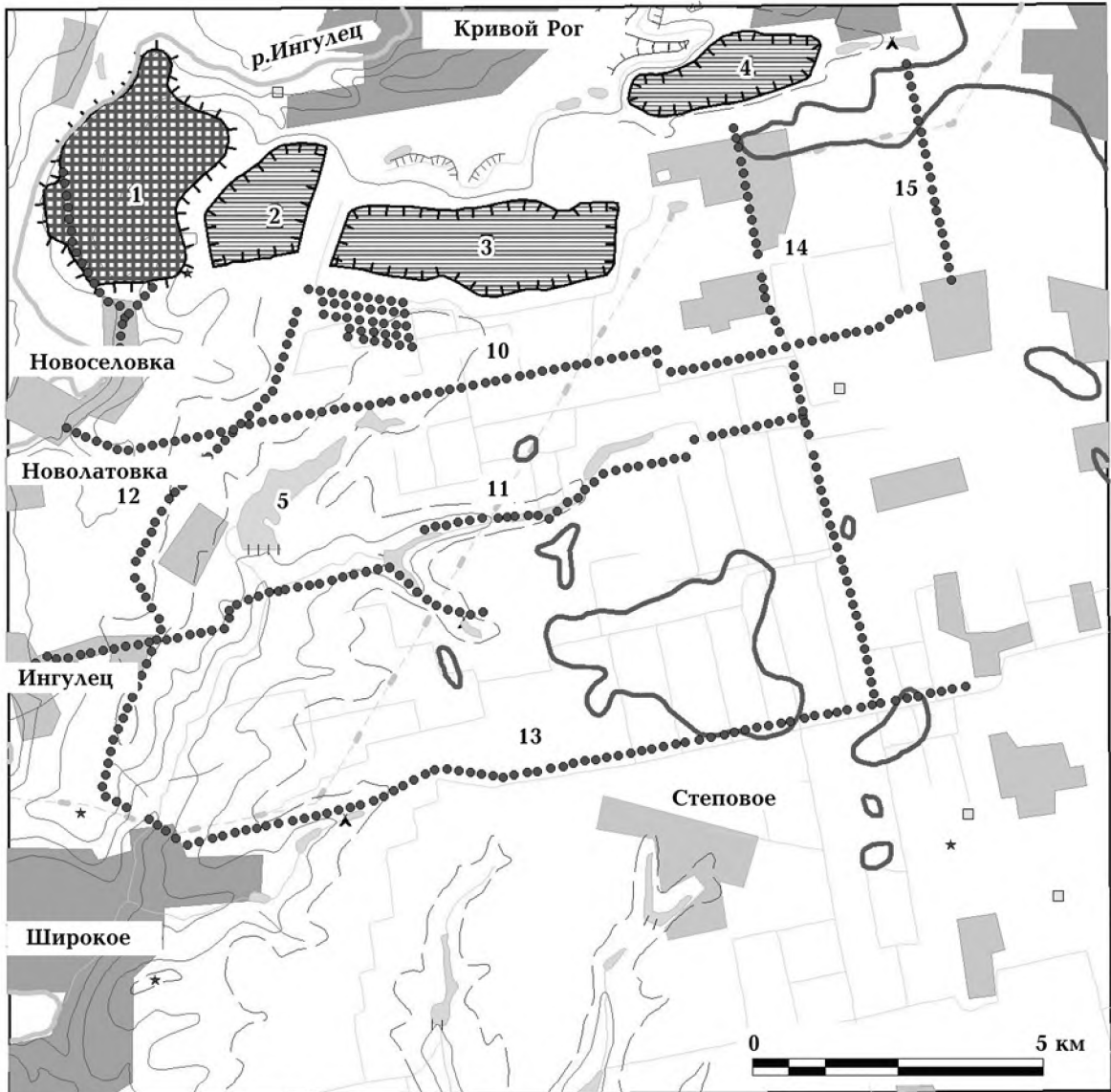


Рис. 1. Пространственное положение профилей наблюдений ВЭЗ в 2008 и 2012 гг.: отвалы "Левобережные" (1); хвостохранилища "Войково" (2); "Объединенное" (3); "Миролобовское" (4); пруд-накопитель шахтных вод в балке Свистунова (5).

ления для первых метров разреза от земной поверхности.

Для изучения влияния анизотропии пород (увязки геоэлектрических данных в разных направлениях) были выполнены 33 крестовых наблюдений ВЭЗ. Для сопоставления электрических и геологических параметров были выполнены параметрические исследования вблизи ранее пробуренных скважин, что позволило устанавливать (уточнять) границы геологических пластов, их мощности при качественной и количественной интерпретации ВЭЗ. Для определения изменений геоэлектрического сопротивления пород, связанных с пространственно-временными изменениями гидрогеологических параметров, в июле—августе 2012 г. были выполнены повторные наблюдения ВЭЗ на профилях 10—13.

По результатам интерпретации гравиметрических, магнитных и электрометрических наблюдений в пределах площади были выявлены многочисленные разрывные тектонические нарушения разной направленности и геологической природы. Наиболее четко тектонические разрывные

нарушения проявлены в центральной части площади (переходная зона от сугубо гранитоидных толщ к гранитизированным метабазитам). Над ними в гравитационном поле хорошо фиксируются многочисленные зоны повышенных горизонтальных градиентов, часто совпадающих с аномальными и градиентными зонами геоэлектрического поля. По результатам интерпретации материалов электроразведочных исследований были получены геоэлектрические свойства стратиграфического разреза осадочной толщи. Пласты горных пород с разным электрическим сопротивлением были отнесены к водоносным или водоупорным непроницаемым горизонтам. По значениям электрического сопротивления была определена степень их увлажнения с выделением зон повышенной проницаемости.

Повторные профильные ВЭЗ выполнялись с целью мониторинга поведения геоэлектрических параметров пород разреза во времени и выявления пространственно-временных изменений в гидрогеологической обстановке за промежуток времени с 2008 по 2012 г.

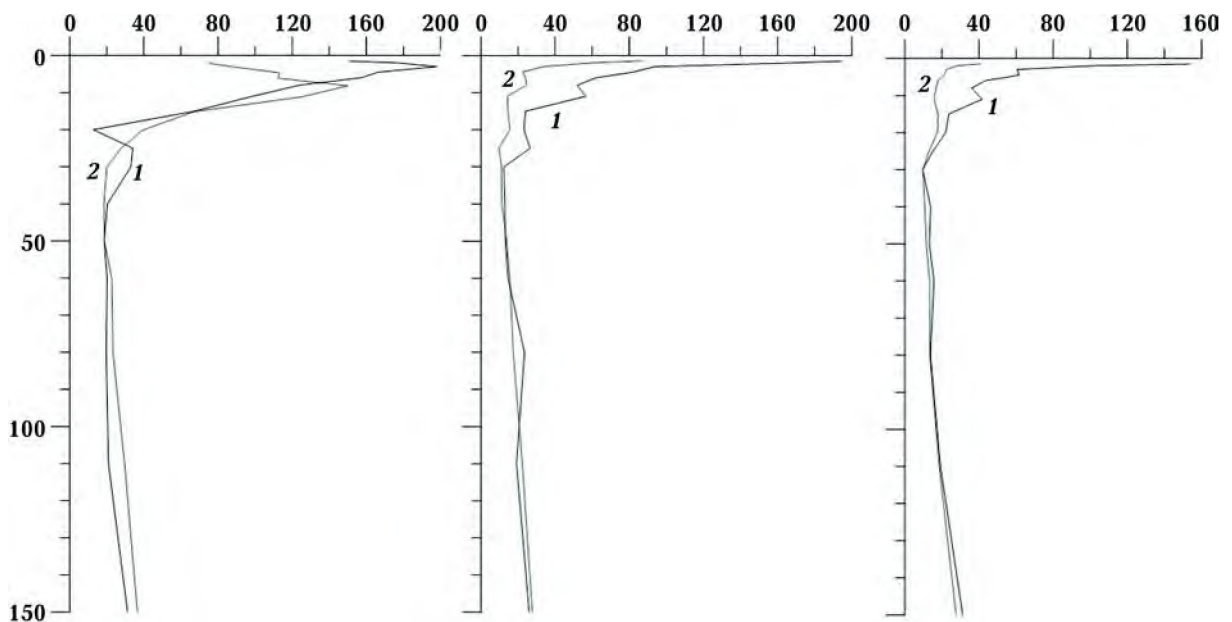


Рис. 2. Графики изменения геоэлектрического сопротивления в точках ВЭЗ 15, 18, 21 по профилю 12 (1 — значения сопротивления в 2008 г., 2 — значения сопротивления в 2012 г.).

Результаты повторных наблюдений показали, что удельное сопротивление геологического разреза в целом по разрезам уменьшилось. Снижение геоэлектрического сопротивления за четыре года преимущественно отмечается в верхней части разреза осадочного чехла, что указывает на протекание современных гидрогеологических процессов в направлении увлажнения почти всех стратиграфических горизонтов. На примере фрагмента профиля 12 показано (рис. 2), что наибольшая дифференциация геоэлектрического сопротивления отмечается до условной глубины 30 м. Ниже этой глубины значения сопротивления либо не меняются, либо имеют устойчиво пониженные (повышенные) отклонения между 2008 и 2012 гг.

Расхождение значений удельного сопротивления по разрезу позволило определить пространственные изменения этого параметра по площади исследований. Были построены карты-схемы при  $AB/2 = 2$  и 20 м его латерального изменения в пределах профилей 10—13 в 2008 и 2012 гг. [Пігулевский та ін., 2016б, в, 2017а, б]. Как показано на рис. 3, а, б и 4, а, б, картина изменения геоэлектрического сопротивления осадочных пород по своей морфологии различается.

Для мониторинговых исследований изменения геоэлектрических свойств геологической среды была рассчитана разность этого параметра за промежуток времени в 4 года (см. рис. 3, в и 4, в). Полученная геофизическая информация свидетельствует о сложном природно-техногенном влиянии на гидрогеологический режим подземных вод как особенностей тектонического строения этой территории, так и расположения в ее северной части отвалов "Левобережные" и хвостохранилищ "Войково" и "Объединенное".

Построенная карта-схема разрывной тектоники [Пігулевський та ін., 2017а] по результатам интерпретации локальной составляющей гравитационного поля (рис. 5, а, б) и ее сопоставление с картами-схемами изменения геоэлектрического сопротивления в период с 2008 по 2012 гг. пока-

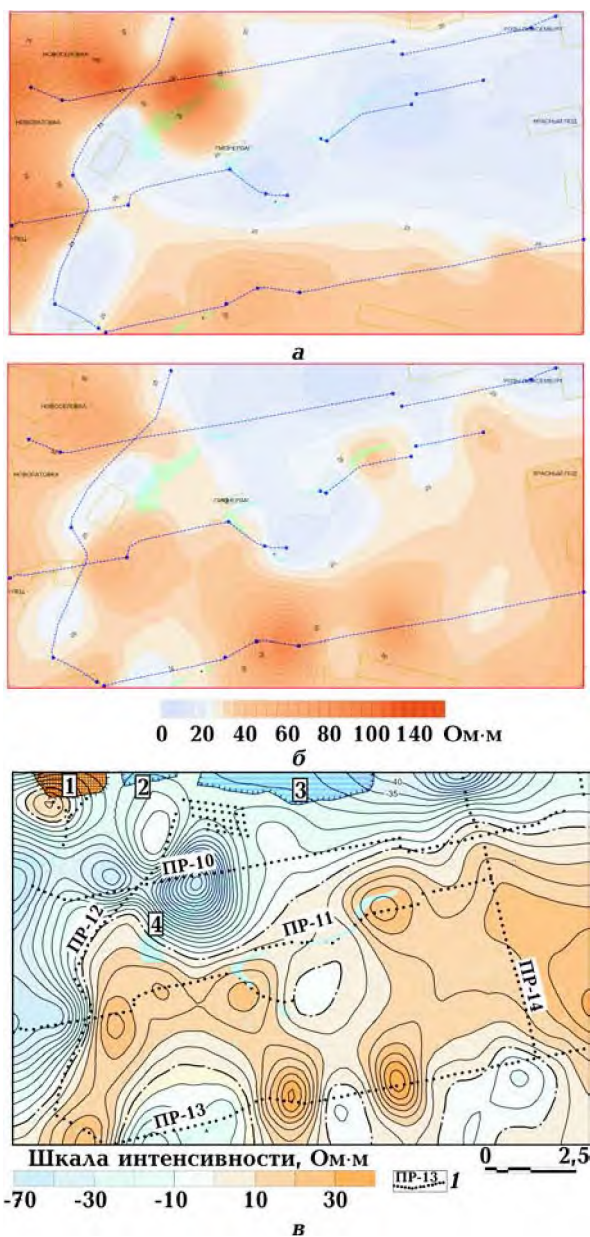


Рис. 3. Карты-схемы распределения геоэлектрического сопротивления при разnose ВЭЗ  $AB/2 = 2$  м в 2008 г. (а) и 2012 (б) и его изменения за четыре года (в): 1 — основные профили ВЭЗ и их номера. Цифрами показаны: 1 — отвалы "Левобережные"; 2 — хвостохранилище "Войково"; 3 — хвостохранилище "Объединенное"; 4 — пруд-накопитель шахтных вод в балке Сви-стунова.

зывает их достаточно хорошую совместимость (см. рис. 3, 4).

Анализ результатов замеров уровня воды в параметрических скважинах ПАО "ЮГОК" в 2008 и в 2012 гг. и изменения

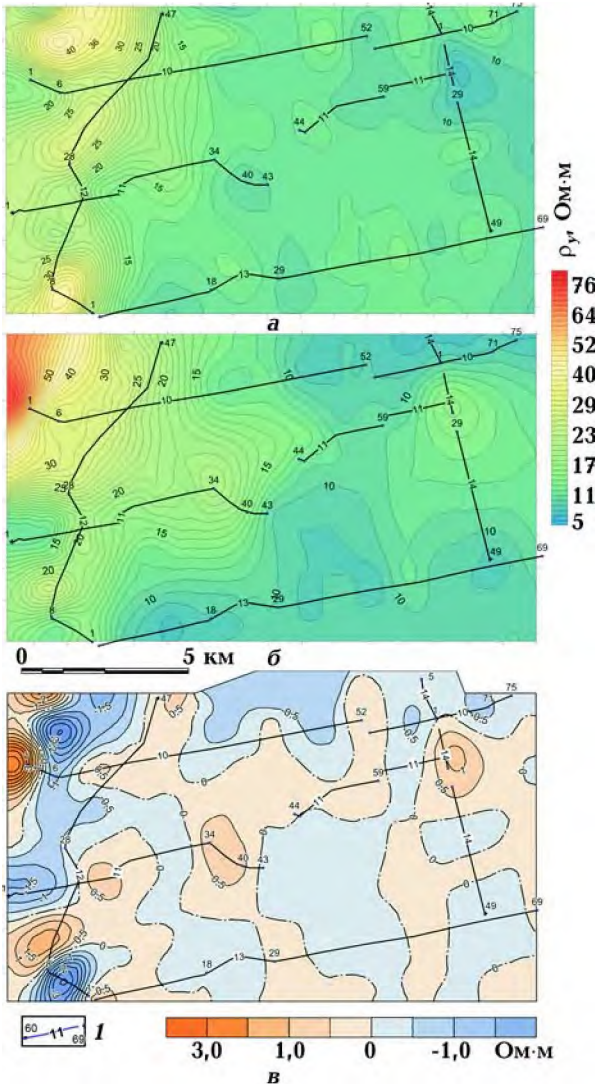


Рис. 4. Карты-схемы распределения геоэлектрического сопротивления при разnose ВЭЗ  $AB/2 = 20$  м в 2008 г. (а) и 2012 (б) и его изменения за четыре года (в): 1 — номер профиля и пикета.

геоэлектрического сопротивления за этот период времени показало, что по данным электроразведки можно прогнозировать колебания уровня подземных вод и на тех участках, где отсутствуют скважины [Пигулевский та ін., 2016в]. Трансформирование гидроизогипс первого от поверхности водоносного горизонта хорошо коррелируется с разрывной тектоникой, приведенной на рис. 5, б.

На картах-схемах гидроизогипс первого от поверхности водоносного горизон-

та южнее хвостохранилищ ПАО «ЮГОК» выделяется область понижения уровня подземных вод, имеющая западное и северо-западное простирание. Эта область, по всей видимости, образована за счет «клавишных» вертикальных перемещений мелких блоков в кристаллическом фундаменте, оказывающих влияние на гипсометрию водонасыщенных и водоустойчивых горизонтов, залегающих над фундаментом. Современную конфигурацию фильтрационных потоков на исследуемой площади могут определять системы северо-западных и субширотных разломов (см. рис. 5, а, б).

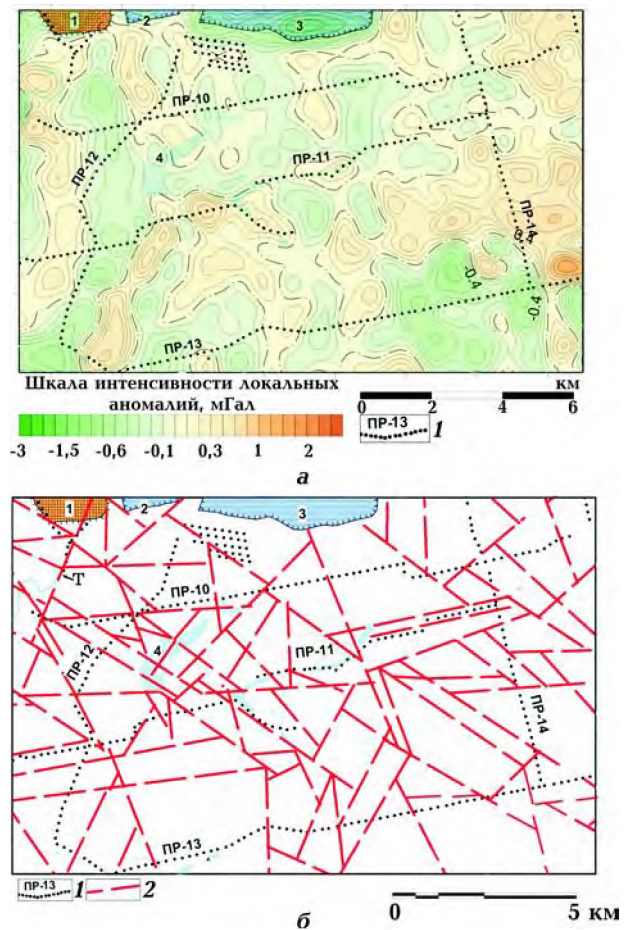


Рис. 5. Карта локальной составляющей гравитационного поля (а) и карта-схема разрывной тектоники по данным ее интерпретации (б): 1 — основные профили ВЭЗ и их номера; 2 — разрывные нарушения; Т — Тарапаковский разлом (остальные условные обозначения см. на рис. 3).



Таким образом, на гидрогеоэкологическую обстановку массива в районе сел Новоселовка, Новолатовка могут оказывать влияние как фильтрационные воды, находящиеся в непосредственной близости хвостохранилищ, так и распространяющиеся в северо-западном направлении минерализованные воды пруда-накопителя. В последнем случае фильтрация водного потока происходит по северо-западной системе разломов к р. Ингулец от верховья балки Свистунова. В пользу этого предположения свидетельствует также наличие здесь желобообразного прогиба того же простирания по поверхности водоупора — глины киевской свиты.

При анализе карты-схемы изменений геоэлектрического сопротивления самой верхней части геологического разреза (зоны аэрации) особый интерес представляет установленная южнее пруда-накопителя в балке Свистунова обширная зона повышенных сопротивлений на срезках с длиной разносов  $AB/2 = 2$  м (см. рис. 3) за период времени с 2008 по 2012 г., которая может быть объяснена обезвоживанием верхней части геологического разреза (почвенного слоя до глубины 1—2 м). Что касается более глубоких горизонтов, необходимо отметить, что начиная с глубин 15—20 м (см. рис. 4) усиливается влияние докембрийских субмеридиональных нарушений, параллельных Криворожско-Кременчугскому глубинному разлому [Пигулевский та ін., 2016 г.]. По всей видимости, эта система разломов отражает современные геодинамические особенности кристаллического основания.

**Выводы.** Формирование гидродинамического режима и гидрохимического состава подземных вод первого от поверхности водоносного горизонта, а также почвообразовательных процессов юга Кривбасса полностью обусловлено особенностями ландшафтной зоны и геологической историей формирования верхних слоев земной коры, которые, в свою очередь,

предопределяются особенностями разломно-блокового строения. В изучаемом районе детальными геолого-геофизическими исследованиями установлено преобладание диагональных и субширотных разломов более высоких рангов, разбивающих субмеридионально простирающуюся толщу метаморфических горных пород криворожской серии на систему мелких блоков. Их вертикальные подвижки "разгружают" периодически возникающие напряжения в земной коре. В результате взаимодействия природных геодинамических и техногенных процессов отмечается высокий уровень активизации опасных геоэкологических (в первую очередь, гидрогеоэкологических) процессов.

На основе комплексного анализа гидрогеологической и геофизической информации (геоэлектрических исследований методом ВЭЗ ДГЭ "Днепрогеофизика" 2008 и 2012 гг. и с учетом наблюдательных скважин ПАО "ЮГОК") установлено, что снижение геоэлектрического сопротивления на исследуемой территории за эти годы происходило преимущественно в верхней части разреза осадочного чехла, что указывает на протекание современных гидрогеологических процессов в направлении увлажнения почти всех стратиграфических горизонтов. При этом особый интерес вызывает установленная южнее пруда-накопителя в балке Свистунова обширная зона повышенных сопротивлений, которая может быть объяснена обезвоживанием верхней части геологического разреза (почвенного слоя до глубины 1—2 м). Также по геоэлектрическим данным предполагается наличие фильтрации водного потока, который связан с северо-западной системой разломов, от верховьев пруда-накопителя в балке Свистунова в сторону р. Ингулец (в районе с. Новоселовка).

Таким образом, на гидрогеоэкологическую обстановку территории южной части Кривбасса оказывают совместное влияние высокоминерализованные фильтра-

ционные воды как из хвостохранилищ ПАО "ЮГОК" и ЗАО "Арселор Миттал Кривой Рог", так и пруда-накопителя шахтных вод в балке Свистунова ГП "Кривбассшахтозаккрытие". Результаты иссле-

дований свидетельствуют, что подтопление исследуемой территории не повсеместное, а протекает с учетом современных особенностей активизации разрывной тектоники.

### Список литературы

- Багрий І.Д., Бінов П.В., Пишна Н.Г. Оптимізація системи об'єктового моніторингу підземних вод території ГЗК Криворізького залізрудного басейну. В кн.: *Інформаційний бюлетень про стан геологічного середовища України (1999—2000 рр.)*. Київ: УкрДГРІ, 2002. Вип. 18. С. 22—42.
- Багрий І.Д., Гожик П.Ф., Самоткал Е.В., Шестопалов В.М., Аксьом С.Д. Гідроекосистема Криворізького басейну — стан і напрямки поліпшення. Київ: Фенікс, 2005. 216 с.
- Багрий І.Д., Лисиченко Г.В., Шестопалов В.М. Комплексование методов при изучении взаимосвязи подземных и речных вод. В кн.: *Водобмен в гидрогеологических структурах Украины. Методы изучения водобмена*. Киев: Наук. думка, 1988. С. 223—239.
- Беланов В.М., Голиздра Г.Я., Козубская Г.Е., Тяпкин К.Ф., Харитонов В.Д., Этингоф И.М. Изучение тектоники докембрия геолого-геофизическими методами. Москва: Недра, 1972. 260 с.
- Геозкологические* обследования предприятий нефтяной промышленности. Под ред. В.А. Шевнина, И.Н. Модина. Москва: РУССО, 1999. 511 с.
- Екологічний атлас Дніпропетровської області. Під заг. ред. А.Г. Шапара. Дніпропетровськ: Моноліт, 2009. 64 с.
- Никитин В.В., Месхи Н.Ж. Инженерно-геологическое обеспечение реконструкции хвостового хозяйства на Северном горно-обогатительном комбинате. *Геология и разведка*. 1991. № 8. С. 115—117.
- Огильви А.А. Основы инженерной геофизики. Москва: Недра, 1990. 468 с.
- Пігулевський П.Г., Свистун В.К., Кирилюк О.С. Використання геоелектричних методів під час вивчення впливу техногенних споруд на гідрологічний режим південного Кривбасу. *Збірник наукових праць УкрДГРІ*. 2016а. № 2. С. 150—157.
- Пігулевський П. Г., Свистун В. К., Кирилюк О. С. Дослідження геоелектричними методами інженерно-геологічного стану південно-західного Кривбасу. Ч. 1. Фізико-геологічні передумови досліджень. *Геоінформатика*. 2016б. № 3 (59). С. 69—75.
- Пігулевський П. Г., Свистун В. К., Кирилюк О. С. Дослідження геоелектричними методами інженерно-геологічного стану південно-західного Кривбасу. Ч. 2. Результати застосування геоелектричних методів при обстеженні ділянок підтоплення. *Геоінформатика*. 2016в. № 4 (60). С. 55—63.
- Пігулевський П. Г., Свистун В. К., Кирилюк О. С. Дослідження геоелектричними методами інженерно-геологічного стану південно-західного Кривбасу. Ч. 3. Результати застосування геоелектричних методів при вирішенні інженерно-геологічних задач. *Геоінформатика*. 2017а. № 2 (62). С. 62—74.
- Пігулевський П. Г., Свистун В. К., Кирилюк О. С. Дослідження геоелектричними методами інженерно-геологічного стану південно-західного Кривбасу. Ч. 4. Використання потенціальних полів при вивченні сучасної тектоніки. *Геоінформатика*. 2017б. № 3 (63). С. 48—55.
- Пігулевський П. Г., Свистун В. К., Кирилюк О. С., Тяпкін О. К. Результати використання геоелектричних методів при спостереженнях за станом підземних вод на території південного Кривбасу. ЕКОФОРУМ-2017. *Актуальні проблеми та інновації: Праці міжна-*

- рогн. наук.-практ. конф. Івано-Франківськ, 2017в. С. 31—32.
- Пігулевський П.Г., Свистун В.К., Мечніков Ю.П., Кирилюк О.С., Лісовий Ю.В. Особливості диз'юнктивної тектоніки Криворізького залізорудного району. *Геофиз. журн.* 2016г. Т. 38. № 5. С. 154—163. doi: <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v38i5>. 2016.107829.
- Пігулевский П.И., Свистун В.К., Тяпкин О.К., Кирилюк А.С. К вопросу решения геозкологических и инженерно-геологических проблем урбанизированных территорий геофизическими методами: *Сергеевские чтения. Инженерная геология и геозкология. Фундаментальные проблемы и прикладные задачи: Материалы годичной сессии научного совета РАН по проблемам геозкологии, инженерной геологии и гидрогеологии.* Вып.18. Москва: РУДН, 2016. С. 335—340.
- Пігулевский П.И., Тяпкин О.К., Погрезенко И.Н., Остапенко Н.С., Кириченко В.А., Бондаренко Л.В. Перспективы использования жидких отходов в качестве источника минеральных соединений (на примере Криворожского железорудного бассейна): *Composite Materials, Ecology, Information Technology, Economics and Law (ELaSA-2017): Proceedings of the International Conference.* Tivat, Montenegro, 2017. С. 108—118.
- Савич А.И., Куянджич Б.Д. (ред). Комплексные инженерно-геофизические исследования при строительстве гидротехнических сооружений. Москва: Недра, 1990. С. 45—56.
- Семенюк Н.П. О современной тектонической активности блоковых структур южной части Криворожской железорудной зоны: *Современные движения земной коры: Труды VI Всесоюзн. совещ. и IV Межвед. совещ.* Таллинн, 1972. С. 97—98.
- Тяпкін К.Ф., Тяпкін О.К., Якимчук М.А. Основы геофізики. Київ: Карбон Лтд, 2000. 248 с.
- Тяпкин О.К. Геофизические методы решения геозкологических задач. Днепропетровск: Монолит, 2006. 296 с.
- Тяпкин О.К., Остапенко Н.С., Погрезенко И.Н., Бондаренко Л.В., Кириченко В.А. Снижение экологических рисков Криворожского железорудного региона путем утилизации жидких отходов горнодобывающих предприятий: *Стратегия качества в промышленности и образовании: Материалы XIII Международной конференции.* Т. 2. Днепр—Варна, 2017. С. 217—222.
- Чебаненко І.І., Шестопалов В.М., Багрій І.Д., Палій В.М. Розломні зони підвищеної проникності гірських порід та їх значення для виявлення екологонебезпечних ділянок. *Доп. НАН України.* 2000. № 10. С. 136—139.
- Шапар А.Г., Ємець М.А., Копач П.І., Тяпкін О.К., Хазан В.Б. Стратегія і тактика сталого розвитку. Дніпропетровськ: Моноліт, 2004. 320 с.
- Тяпкин О.К., Onyshchenko S.A., Mendrii I. V., 2016. Near-surface Seismic Interpretation to Reduce the Loss of Water Resources: *EAGE 78th Conference and Technical Exhibition.* Vienna, Austria, Paper Tu P3 05. 4 p.
- Тяпкин О.К., Pihulevskiy P.H., Dovbnich M. M., 2017. Taking into account of influence of Earth crust faults in solving geological and geocological tasks by geophysical methods. *Scientific Bulletin of National Mining University,* (6), 15—22.
- Тяпкин О.К., Soldatenko V.P., 2001. Application of Gravity Exploration in Evaluation of Geological and Ecological Consequences of Mining Activity. *Geophys. J.,* 20, 33—48

# Application of geophysical methods for solving hydrogeoecological problems in the Southern Kryvbas territory

*P. I. Pigulevskiy, O. K. Tyapkin, V. K. Svistun, 2018*

The geoecological impact of various man-made mining facilities in the Southern Kryvbas territory was studied using a complex of geophysical methods (gravity-magnetic prospecting, electrical exploration by the VES method and interpretation of aerospace photographs). The predetermining role of the tectonic factor in assessing the hydrogeoecological situation in the research area is shown. The prevalence of diagonal and sublatitudinal faults of high ranks (dividing the submeridional extension of metamorphic rocks of the Kryvyi Rih series into a system of small blocks) has been established by detailed geological-geophysical studies. Their vertical movements "unload" periodically arising stresses in the Earth's crust. A high level of activation of dangerous geoecological (and primarily hydrogeoecological) processes is marked as a result of the interaction of natural geodynamic and technogenic processes. It is shown (based on the complex analysis of hydro-geological and geophysical information) that the highly mineralized mine and open-pit waters of the tailing dumps of the PJSC "Yugok" and the PJSC "Arcelor Mittal Kryviy Rih" and mine water storage pond in the Svistunova ravine of State enterprise "Kryvbasshakhtozakrytiei" have a joint effect on the hydro-geoecological situation of Southern Kryvbas territory. The flooding of the study area by results of the research is not universal, it takes into account modern features of the activation of fault tectonics.

**Key words:** Southern Kryvbas, hydrogeoecological situation, geological-geophysical studies, geoelectric resistance, underflooding.

## References

- Bagriy I. D., Blinov P. V., Pyshnaya N. G., 2002. Optimization of the object monitoring system for groundwater in the territory of the Krivoy Rog iron ore basin. In: *Information Bulletin on the State of the Geological Environment of Ukraine (1999—2000)*. Kiev: UkrGGRI, is. 18, P. 22—42 (in Ukrainian).
- Bagriy I. D., Gozhik P. F., Samotkal E. V., Shestopalov V. M., Aksem S. D., 2005. Hydroecosystems of the Krivoy Rog basin — the state and directions of improvement. Kiev: Feniks, 216 p. (in Ukrainian).
- Bagriy I. D., Lisichenko G. V., Shestopalov V. M., 1988. Complexing methods in studying the interrelation of underground and river waters. In: *Water exchange in hydrogeological structures of Ukraine. Methods of studying water exchange*. Kiev: Naukova Dumka, P. 223—239 (in Russian).
- Belanov V. M., Golizdra G. Ya., Kozubskaya G. E., Tyapkin K. F., Kharitonov V. D., Etingof I. M., 1972. Study of the Precambrian tectonics by geological and geophysical methods. Moscow: Nedra, 260 p. (in Russian).
- Geoecological surveys of oil industry enterprises, 1999. Eds V. A. Shevnin, I. N. Modin. Moscow: RUSSO, 511 p. (in Russian).
- Ecological atlas of the Dnepropetrovsk region, 2009. Ed. A. G. Shapar. Dnipropetrovsk: Monolit, 64 p. (in Ukrainian).
- Nikitin V. V., Meskhi N. Zh., 1991. Engineering and geological support for tailing reconstruction at the Northern Mining and Processing Combine. *Geologiya i razvedka* (8), 115—117 (in Russian).
- Ogilvi A. A., 1990. Fundamentals of engineering

- geophysics. Moscow: Nedra, 468 p. (in Russian).
- Pigulevskiy P. G., Svistun V. K., Kirilyuk A. S., 2016 a.* Use of geoelectric methods in studying the influence of technogenic structures on the hydrogeological regime of southern Kryvbas. *Zbirnyk naukovykh prats UkrDHRI* (2), 150—157 (in Ukrainian).
- Pigulevskiy P. G., Svistun V. K., Kirilyuk A. S., 2016 b.* Geoelectric study of engineering-geological condition of southwestern Kryvbas. Part 1. Physical and geological background. *Geoinformatika*, (3), 69—75 (in Ukrainian).
- Pigulevskiy P. G., Svistun V. K., Kirilyuk A. S., 2016 c.* Geoelectric study of engineering-geological condition of southwestern Kryvbas. Part 2. Results of applications of geoelectrical methods in survey of areas of flooding. *Geoinformatika*, (3), 69—75 (in Ukrainian).
- Pigulevskiy P. G., Svistun V. K., Kirilyuk A. S., 2017 a.* Geoelectric study of engineering-geological condition of southwestern Kryvbas. Part 3. The results of the application of geoelectric methods in solving geotechnical problems. *Geoinformatika*, (2), 62—74 (in Ukrainian).
- Pigulevskiy P. G., Svistun V. K., Kirilyuk A. S., 2017 b.* Geoelectric study of engineering-geological condition of southwestern Kryvbas. Part 4. Use of potential fields in the study of modern tectonics. *Geoinformatika*, (2), 62—74 (in Ukrainian).
- Pigulevskiy P. G., Svistun V. K., Kirilyuk A. S., Tyapkin O. K., 2017 c.* Results of the use of geoelectrical methods for observations of ground-water in the territory of southern Kryvbas. *EKOFORUM-2017. Problems and innovations: Proceedings of the Int. scientific and practical conf. Ivano-Frankivsk*, P. 31—32 (in Ukrainian).
- Pigulevskiy P. G., Svistun V. K., Mechnikov Yu. P., Kirilyuk A. S., Lesnoy Yu. V., 2016 d.* Features of disjunctive tectonics of the Krivoy Rog iron ore area. *Geofizicheskiy zhurnal*, 38 (5), 154—163 (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v38i5.2016.107829>.
- Pigulevskiy P. I., Svistun V. K., Tyapkin O. K., Kirilyuk A. S., 2016.* On the solution of geoeological and engineering-geological problems of urbanized territories by geophysical methods: *Sergeevsky readings. Engineering geology and geoecology. Fundamental problems and applied problems: Materials of the annual session of the Scientific Council of the Russian Academy of Sciences on the problems of geoecology, engineering geology and hydrogeology*. Is. 18. Moscow: PFUR, P 335—340 (in Russian).
- Pigulevskiy P. I., Tyapkin O. K., Podrezenko I. N., Ostapenko N. S., Kirichenko V. A., Bondarenko L. V., 2017.* Prospects for the use of liquid wastes as a source of mineral compounds (for example, the Krivoy Rog iron ore basin): *Composite Materials, Ecology, Information Technology, Economics and Law (ELaSA-2017): Proceedings of the International Conference*. Tivat, Montenegro, P. 108—118 (in Russian).
- Savich A. I., Kuyundzhich B. D. (Eds), 1990.* Complex engineering-geophysical studies in the construction of hydraulic structures. Moscow: Nedra, P. 45—56 (in Russian).
- Semenyuk N. P., 1972.* About modern tectonic activity of block structures of the southern part of the Krivoy Rog iron ore zone: *Modern movements of the Earth's crust: Proceedings of the VI All-Union Conference and the IV Interdepartmental Meeting*. Tallinn, P. 97—98 (in Russian).
- Tyapkin K. F., Tyapkin O. K., Yakymchuk M. A., 2000.* Fundamentals of Geophysics. Kyiv: Carbon Ltd, 248 p. (in Ukrainian).
- Tyapkin O. K., 2006.* Geophysical methods for solving geoeological problems. Dnipropetrovsk: Monolith, 296 p. (in Russian).
- Tyapkin O. K., Ostapenko N. S., Podrezenko I. N., Bondarenko L. V., Kirichenko V. A., 2017.* Reduction of environmental risks of the Krivoy Rog iron ore region by utilization of liquid wastes of mining enterprises: *Quality strategy in industry and education: Materials XIII International Conference*. Vol. 2. Dnepr—Varna, P. 217—222 (in Russian).
- Chebanenko I. I., Shestopalov V. M., Bagriy I. D., Paliy V. M., 2000.* The fractured zone of in-

creased permeability of rocks and their significance for revealing eco-nebezpechtechnyh sites. Extras. *Dopovidi NANA Ukrainy*, (10), 136—139 (in Ukrainian).

*Shapar A. G., Yemets M. A., Kopach P. I., Tyapkin O. K., Khazan V. B.*, 2004. Strategies and tactics of sustainable development. Dnipropetrovsk: Monolit, 320 p. (in Ukrainian).

*Tiapkin O. K., Onyshchenko S. A., Mendrii I. V.*, 2016. Near-surface Seismic Interpretation to Reduce the Loss of Water Resources: *EAGE*

*78<sup>th</sup> Conference and Technical Exhibition*. Vienna, Austria, Paper Tu P3 05. 4 p.

*Tiapkin O. K., Pihulevskyi P. H., Dovbnich M. M.*, 2017. Taking into account of influence of Earth crust faults in solving geological and geoeological tasks by geophysical methods. Scientific Bulletin of National Mining University, (6), 15—22.

*Tiapkin O. K., Soldatenko V. P.*, 2001. Application of Gravity Exploration in Evaluation of Geological and Ecological Consequences of Mining Activity. *Geophys. J.*, 20, 33—48