

А.И. Мамедов, Д.С. Пикареня, Н.Н. Максимова

## ВЛИЯНИЕ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ НА РАЗВИТИЕ ТЕХНОГЕННОЙ ТРЕЩИНОВАТОСТИ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОД В РАЙОНЕ Г. КРЕМЕНЧУГА

A.I. Mamedov, D.S. Pikarenia, N.N. Maksimova

## INFLUENCE OF MINING ENTERPRISES ON PROPAGATION OF TECHNOGENIC JOINTING OF CRYSTALLINE ROCKS AT KREMENCHUH CITY

На основании проведенного комплекса исследований показано, что при добыче полезных ископаемых развитие систем трещин происходит в первую очередь по направлениям, которые унаследованы от разломных структур данного района. Системы трещин иных простираний имеют локальное распространение и не выходят за пределы карьерных полей. Для мониторинга техногенной трещиноватости рекомендуется применение метода ЕИЭМПЗ наряду с замерами трещин в обнажениях.

**Ключевые слова:** *разрывные нарушения, техногенная трещиноватость, импульсные электромагнитные поля, добыча полезных ископаемых*

Социально-экономическое развитие Украины в большой степени зависит от современного уровня экологической безопасности и восстановления природной среды в условиях усиливающейся антропогенной нагрузки, обусловленной бурным развитием научно-технического прогресса. Анализ экологической ситуации, которая сложилась в Украине, свидетельствует о том, что несмотря на снижение объемов производства, экологическая обстановка остается неблагоприятной, а загрязнение окружающей среды – катастрофично высоким. В последние годы, по официальным данным, площадь чистых территорий составляет 7%, условно чистыми признано 8% земель, слабо загрязненными – 15%, остальные, около 70%, принадлежат к зонам с опасными для жизнедеятельности человека условиями. К последним относится и г. Кременчуг Полтавской области, в окрестностях которого сосредоточено ряд предприятий по разработке полезных ископаемых. Непосредственно в черте города открытым способом разрабатываются три месторождения мигматитов, гранитов – Песчанское, Крюковское и Мало-Кохновское, где ежегодно добывается и перерабатывается около 2,0–2,5 млн. м<sup>3</sup> горной массы на щебень (рис. 1). Разработка этих месторождений взрывным способом приводит к обновлению естественной и формированию техногенной трещиноватости и, как следствие, к раскрытию водо-

носных горизонтов, что ведет к нарушению гидродинамического режима подземных вод, созданию депрессивных воронок и зон подтоплений. Для изучения и предотвращения подобных опасных геолого-экологических явлений необходим постоянный мониторинг развития трещиноватости в пределах карьеров и прилегающих к ним территорий, особенно, если они находятся вблизи населенных пунктов.

Такой мониторинг можно проводить либо с помощью непосредственных замеров элементов трещиноватости в уступах карьера, либо использовать геофизические методы для выявления систем трещин. Первый способ эффективен для территорий открытых, имеющих маломощный осадочный чехол с выходами на поверхность кристаллических пород.

Второй применяется на закрытых территориях с достаточно мощным осадочным чехлом. И первый, и второй способы имеют как ряд достоинств, так и недостатков. В первом случае при непосредственных замерах и наблюдениях достигается высокая достоверность результатов непосредственно в карьерах на обнажениях, а вот прослеживание систем трещин на прилегающие территории при невысокой обнаженности представляет собой задачу сложную, решаемую субъективно. Геофизические методы имеют свои недостатки и основной из них – неоднозначность решения обратной задачи в условиях слабой обнаженно-

сти территорий. Таким образом, учитывая все достоинства и недостатки способов, целью исследований является выбор оптимального комплекса методов непосредственных наблюдений и геофизических исследований. При этом решались задачи выявления и прослеживания трещиноватости и зон обводненности в районе Песчанского и Крюковского карьеров.

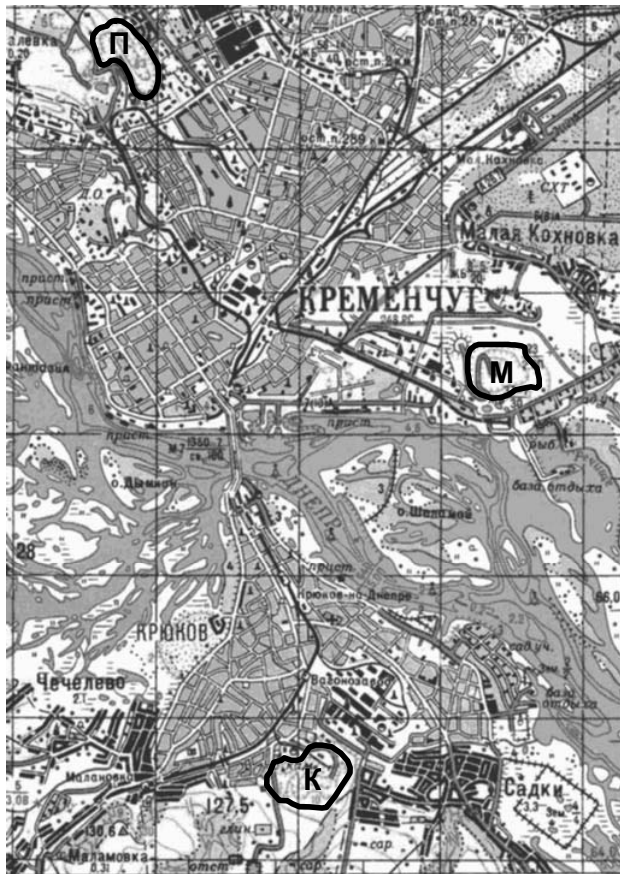


Рис. 1. Положение гранитных карьеров (черные контуры) в окрестностях г. Кременчуга: К – Крюковский; П – Песчанский; М – Мало-Кохновский

Комплексные исследования предусматривали замеры элементов залегания трещин горным компасом в доступных стенках карьера с последующим построением диаграмм трещиноватости, а также проведение геофизических работ методом естественного импульсного электромагнитного поля Земли (ЕИЭМПЗ), который хорошо зарекомендовал себя при решении подобных задач [1].

В основе метода ЕИЭМПЗ лежат исследования А.А. Воробьева и др. [2, 3], показавшие возможность существования в земных недрах высоких электрических полей, источниками которых могут быть разломы, разрывы и трещины, способные генерировать при образовании или активизации электрические заряды и поля [4]. Дальнейшие работы [5–9 и др.] показали, что основными источниками электромагнитного поля могут быть следующие явления:

1. Пьезоэлектрический эффект, заключающийся в способности твердых тел определенного типа вызывать электрические заряды в зависимости от приложенных механических напряжений или изменении линейных размеров (прямой пьезоэффект), либо изменять линейные размеры в зависимости от приложенной разности потенциалов (обратный пьезоэффект). В природе этим

свойством обладают кварц, турмалин, халькопирит, сфалерит, слюды и некоторые другие минералы.

2. Деформации горных пород в процессе одноосного сжатия или ударного воздействия. При этом электромагнитные поля возникают на первых стадиях деформации, достигая своего максимума во время нарушения сплошности пород и резко теряя интенсивность после образования трещин.

3. Электрохимические и электрокинетические явления, связанные с химическими реакциями в системе „раствор–порода“ или с движением растворов по трещинам, порам и капиллярам в породе.

4. Пирозлектрический эффект – способность некоторых веществ генерировать электрические заряды при нагревании или охлаждении. Среди минералов пирозэффектом обладают турмалин, пирротин, никелин, вюрцит, цинкит и др.

5. Трибоэлектрический эффект, вызываемый трением, которое создается при движении блоков горных пород по разломам, что приводит к возникновению электростатических зарядов.

6. Электрризация при раскалывании, характерная для некоторых минералов: кварца, турмалина, сфалерита, слюд, гипса, галита и др.

При производстве горных работ в генерации электромагнитных полей могут быть задействованы все вышеперечисленные явления и источники, однако ведущая роль принадлежит первым двум – пьезоэффекту и деформациям горных пород, поскольку именно они практически постоянно сопровождают добычу полезных ископаемых.

Теоретические предпосылки применения метода ЕИЭМПЗ, опубликованные в работе [1], подтверждены многочисленными примерами не только в районах Украинского щита, но и на территории Казахстана [10–12]. Это дает основание считать результаты ЕИЭМПЗ достоверными и привлекать его для решения задач данного исследования.

Наблюдения ЕИЭМПЗ выполнялись при помощи программно-аппаратного комплекса МИЭМП-14/1 (серия „СИМЕИЗ“), разработанного С.В. Вагиным (ООО „Славянский мост“, г. Днепропетровск). В состав комплекса входят микропроцессорный индикатор электромагнитного поля (три активные антенны, блок регистрации и первичной обработки сигнала) и программное обеспечение „GeoImpuls“, позволяющее обрабатывать и анализировать измерения.

Комплекс дает возможность фиксировать плотность потока магнитной составляющей электромагнитного поля за единицу времени. Измерения выполнялись тремя активными антеннами, расположенными по азимуту „север-юг“, „запад-восток“ и вертикально вниз на расстоянии 10–25 см от поверхности Земли, одновременно в течение 0,1 с на точке наблюдения с коэффициентом усиления сигнала  $K = 10$ , что позволило увеличить восприимчивость прибора. Применяемый аппаратный фильтр 50 Гц дал возможность „отсечь“ промышленные частоты и снизить влияние линий электропередач.

Наблюдения ЕИЭМПЗ выполнялись в профильно-площадном варианте по сети 40×10 метров (расстояние между профилями 40 м, между точками наблюдения на профиле – 10 м). Начало, конец и характерные точки на

профиле фиксировались при помощи GPS-навигатора "Garmin-72" с точностью измерения  $\pm 2-3$  метра.

По результатам полевых исследований при помощи программы "Surpher 7.0" с использованием метода линейной триангуляции по сети  $10 \times 20$  метров построены карты плотности потока магнитной составляющей ЕИЭМПЗ. На картах выделялись зоны разуплотнения пород фундамента, трещиноватости, разрывных нарушений по общепринятым методикам и при помощи известных геофизических признаков: аномалий в виде „ступеней“, локальных линейных аномалий обоих знаков, нарушения регулярного поведения изолиний, границы областей с различными рисунками поля (для более полной расшифровки тектонического строения участка привлекались материалы гравитационных и магнитных съемок масштабов  $1:10000-1:50000$ ), а также составлялись результирующие тектонические схемы.

**Песчанское месторождение** мигматитов и гранитов в тектоническом отношении приурочено к зоне Криворожско-Кременчугского глубинного разлома. К северу от месторождения проходят два разрывных нарушения северо-западного простирания, оперяющих основной глубинный разлом. В пределах месторождения наиболее развиты трещины З-СЗ и В-СВ простирания, менее распространены субмеридиональные системы трещин. Расстояние между трещинами в уступах карьера составляет от 0,2 до 2,0 м.

В геологическом строении района месторождений принимают участие граниты и мигматиты докембрия, их кора выветривания, а также осадочные породы кайнозойского возраста. Мощность коры выветривания незначительна, местами отсутствует и только в понижениях древнего рельефа может достигать 5–7 м. На различной поверхности кристаллических пород и их коры выветривания залегают палеогеновые и четвертичные отложения общей мощностью от 7 до 15 м. В составе палеогена, в пределах месторождения, выделяются киевская ( $P_2kv_2$ ) и харьковская ( $P_2hr$ ) свиты, которые представлены прибрежными и прибрежно-морскими фациями. Четвертичная система распространена повсеместно, в ее основе залегают красные суглинки и глины мощностью от 2 до 5 м, перекрывающие водоносные горизонты киевской и харьковской свит. Вверх по разрезу наблюдаются лёссовидные суглинки, супеси и мелкозернистые пески. Общий водоприток из трещиноватых пород фундамента киевской, харьковской свит и четвертичных горизонтов составляет  $1200-1500$  м<sup>3</sup>/сутки.

Работы ЕИЭМПЗ проводились в юго-западном обрамлении карьера на площади  $0,08$  км<sup>2</sup> (240 точек на 6 профилях).

На рис. 2 представлена карта плотности потока магнитной составляющей ЕИЭМПЗ, совмещенная с тектонической схемой.

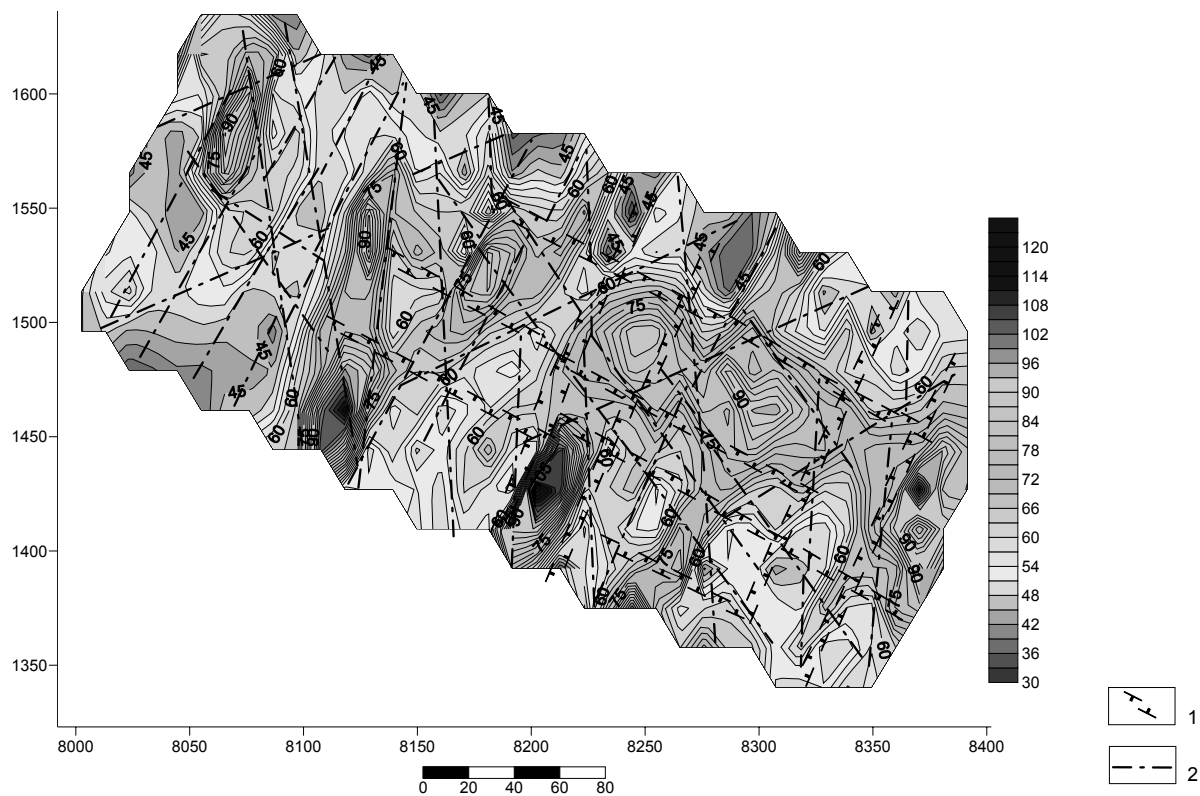


Рис. 2. Карта плотности потока магнитной составляющей естественного импульсного электромагнитного поля Земли Песчанского карьера, совмещенная с тектонической схемой: 1 – зоны трещиноватости; 2 – разрывные нарушения. Градационная шкала характеризует значения плотности потока. Система координат условная в метрах

Анализ карты позволил установить следующие особенности поля. Простирание линейных аномалий в северо-западной части района исследований преимущественно северное и северо-западное. На юго-восточном участке ориентировка линейных аномалий

северо-восточная, в центре наблюдается цепочка изометрических аномалий повышенных значений северо-западного простирания. На тектонической схеме выделяется пять систем трещин: субмеридиональная с азимутом простирания  $355^\circ$ СЗ– $5^\circ$ СВ; две северо-



ро-западной ориентировки с азимутами простирания: 290–300°СЗ, 320–330°СЗ; две северо-восточные, направленные по азимутам 15–25°СВ, 60–70°СВ.

Первая система СВ ориентировки широко представлена в пределах всего участка исследований, а в юго-восточной части образует зоны трещиноватости мощностью до 15 м. Вторая с аз. прост. 60–70°СВ выражена в поле слабее, хотя и прослеживается с интервалом 60–80 м на площади работ. Достаточно уверенно выделяется первая СЗ система трещин, образующая протяженные зоны (до 8–10 м) в юго-восточной части участка. Здесь же прослеживается и вторая северо-западная (320–325°СЗ), представленная тремя зонами, пересекающими участок исследований с юго-востока на северо-запад. Максимальную густоту имеет субмеридиональная система с аз. прост. 350°СВ–5°СЗ, которая с интервалом 30–40 м выделяется в пределах всего района.

Азимуты простирания наиболее ярко представленных систем трещин совпадают с ориентировкой разломных структур района исследований. Так, два разлома, проходящих севернее месторождения, имеют аз. прост. 285–295°СВ, первая северо-западная система трещин ориентирована по направлению 285–300°СЗ. Субмеридиональная система с максимальной густотой трещин совпадает по простиранию с двумя разломами, расположенными юго-восточнее поселка Песчаное. Изменение ориентировки разломов после пересечения их разрывом северо-западного простирания отражается в развитии систем трещин северо-восточного простирания. Система трещин с аз. прост. 60–70°СВ закладывалась, по-видимому, в соответствии с разломной структурой, проходящей через северную часть месторождения.

Таким образом, развитие систем трещин, которые фиксируются в настоящее время ЕИЭМПЗ, практически полностью контролируется разломно-блоковой тектоникой района исследований. Единственной системой, которая не находит своего отражения в региональной тектонической схеме, является система трещин с аз. прост. 320–330°СЗ. Однако обращают на себя внимание два следующих обстоятельства. На правом берегу р. Днепр в районе г. Крюков и на левом в районе п. Потоки разломы таких простираний фиксируются в геофизических полях. Кроме того, ориентировка отрезка долины р. Сухой Кагамлык от п. Вольной Терешковки до п. Великая Кохновка составляет 320–330°СЗ, что свидетельствует о возможном наличии разломов таких простираний и вблизи месторождения.

Ранее, в середине 60-х годов прошлого столетия, на начальных стадиях отработки месторождения, сотрудниками карьероуправления были выполнены исследования трещиноватости в стенках карьера. В результате выделено три системы трещин по простиранию (рис. 3): субмеридиональная; северо-западная с аз. прост. 290–300°СЗ и северо-восточная с аз. прост. 60–70°СВ. Сравнение этих данных с тектонической схемой, построенной по результатам изучения ЕИЭМПЗ, показывает, что после разработки месторождений взрывным способом произошло заложение двух новых систем трещин, которые совпадают по простиранию с разломными структурами, выявленными в этом районе при проведении региональных

геолого-съемочных работ. При этом отмечается увеличение густоты трещин субмеридионального простирания, что можно интерпретировать с позиций близкого расположения двух субмеридиональных разломов, проходящих западнее месторождения.

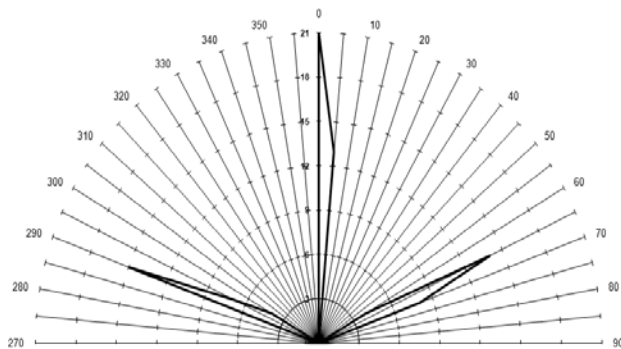


Рис. 3. Роза-диаграмма трещиноватости докембрийских пород Песчанского карьера по азимутам простирания

Приведенные выше данные ЕИЭМПЗ позволяют определить обводненные зоны в осадочном чехле и фундаменте. Опыт работ методом ЕИЭМПЗ показал, что минимальные значения плотности потока магнитной составляющей отвечают зонам разуплотнения и обводненности [1]. Опираясь на эту закономерность, в пределах участка исследований можно выделить ряд зон повышенной трещиноватости и обводненности. Максимальная водонасыщенность горных пород наблюдается в северо-западной части участка. Здесь они четко ограничиваются системой трещин с аз. прост. 15–25°СВ. В юго-восточной части аномалии пониженных значений плотности потока имеют ту же ориентировку и пространственно приурочены к этой же системе трещин. Наименее обводнена центральная зона исследуемой территории, где цепочка изометрических аномалий повышенных значений свидетельствует о наличии здесь плотных, слабообводненных, малообводненных горных пород.

**Крюковский карьер** – еще один техногенный объект, находящийся в черте города (см. рис. 1). Здесь с середины 50-х годов прошлого столетия разрабатывается месторождение гранита. В региональном отношении месторождение пространственно приурочено к зоне Криворожско-Кременчугского глубинного разлома. Оно расположено в своеобразном треугольнике, сторонами которого являются разрывные структуры, оперяющие глубинный разлом. Эти разрывы имеют субмеридиональное, субширотное и северо-западное простирания. Учитывая тектоническую обстановку, в районе месторождения следует ожидать наличия по крайней мере трех систем трещин, совпадающих по ориентировке с отмеченными разломами. Не исключено развитие еще двух систем – северо-восточной с аз. прост. 45–45°СВ и северо-западной с аз. прост. 350–355°СЗ.

В геологическом строении месторождения принимают участие породы палеоархея, которые перекрываются отложениями палеогена и четвертичной системы. Полезные ископаемые представлены серыми и розово-серыми плагиоклазово-биотитовыми гранитами. Верхний горизонт гранитного массива наряду со

свежими разностями представлен слабо- и сильно выветренными гранитами и линзами каолина. Мощность зоны выветривания в пределах месторождения колеблется от 0,5 до 22 м, в среднем составляет 8 м. Из-за наличия такой мощности зоны выветривания кровля гранитов приняла очень сложные очертания: она представляет собой чередование глубоких впадин с абсолютными отметками от 33 до 37 м и возвышенностей, отметки которых достигают 60–62 м.

Комплекс пород, которые перекрывают гранитный массив, в пределах месторождения начинается со светло-серых глауконитовых песчаников, которые относятся к среднему горизонту киевской свиты. Они залегают несогласно на кровле кристаллического фундамента в пониженных его частях, на возвышениях песчаник отсутствует. Мощность горизонта от 0,7 до 8,2–8,6 м.

Кверху песчаники переходят в серовато-зеленые или зеленовато-серые песчаные глины, которые относятся к верхнему горизонту киевской свиты. Эти глины имеют повсеместное распространение, отсутствуют лишь на отдельных повышенных участках древнего рельефа. Мощность глин колеблется от 1,2 до 10,6 м, общая мощность киевских отложений от 0,7 до 16,4 м, в среднем составляет 9,7 м.

На глинах залегают песчаная толща, представленная желтовато-серыми мелкозернистыми кварцевыми песками, которые в верхней части замещаются белыми и шоколадными глинами. Возраст песчаной толщи – средний-верхний олигоцен (полтавская свита).

Мощность отложений изменяется от 2,5 м до 11,0 м.

В последнем разрезе прослеживается мощная толща суглинков четвертичного возраста, которая перекрывает сплошным чехлом коренные породы. В верхней части суглинки легкие, лёссовидные, светло-бурого цвета, внизу переходят в тяжелые с красноватым оттенком. Общая мощность покровных суглинков составляет 16,0–37,0 м, в среднем по месторождению – 23 м.

В пределах месторождения распространены несколько водоносных горизонтов и комплексов. Первый от поверхности горизонт приурочен к толще песков, которая подстилается глинами киевской свиты палеогена. Выходы этих вод наблюдаются в подошве первого уступа, где их дебиты составляют 1,4–1,5  $\text{дм}^3/\text{час}$ . Второй водоносный горизонт приурочен к пористым песчанкам киевской свиты. Для него водонепроницаемым слоем служат зеленовато-серые глины, которые залегают на гранитах. Третий водоносный горизонт представляет собой трещинные воды фундамента, водонасыщенность гранитного массива очень неравномерна. Так, в западной части карьера за счет большей трещиноватости, водопиток выше, чем в восточной, где густота трещин ниже.

Работы ЕИЭМПЗ проводились в южном обрамлении карьера на площади 0,028  $\text{км}^2$  (80 точек на 4 профилях).

На рис. 4 представлена карта плотности потока магнитной составляющей ЕИЭМПЗ, совмещенная с тектонической схемой.

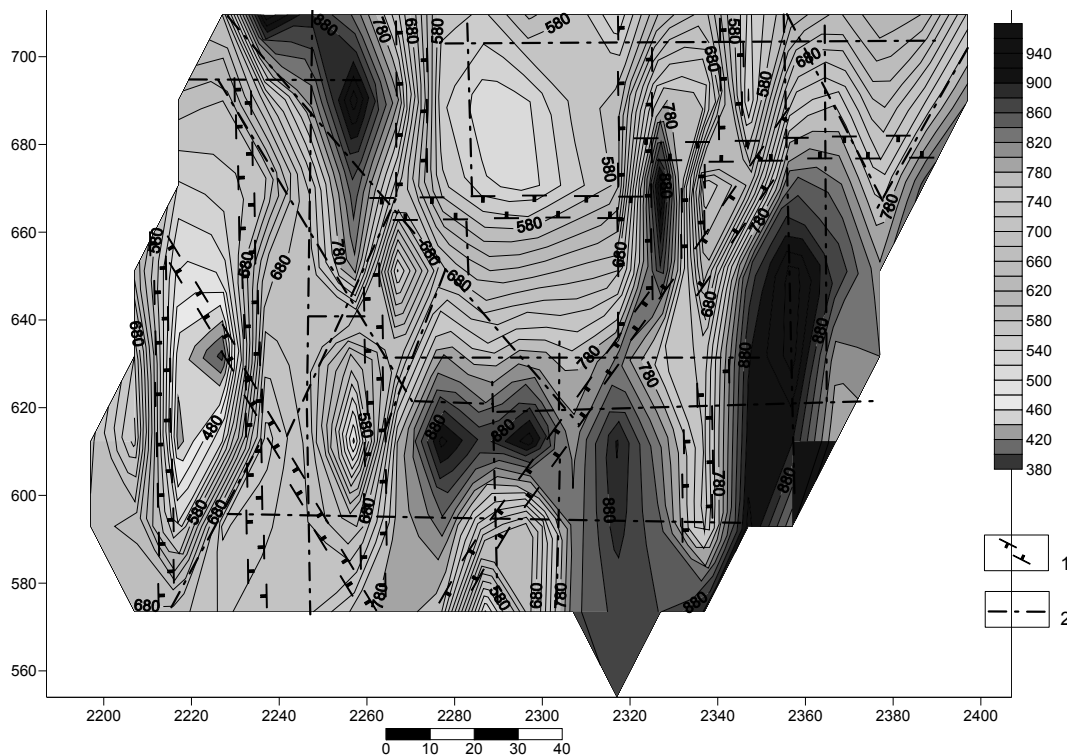


Рис. 4. Карта плотности потока магнитной составляющей естественного импульсного электромагнитного поля Земли в южной части Крюковського кар'єра, совмещенная с тектонической схемой: 1 – зоны трещиноватости; 2 – разрывные нарушения. Градационная шкала характеризует значения плотности потока. Система координат условная в метрах

На картах плотности потока наблюдается четкая субмеридиональная вытянутость аномалий как повышенных, так и пониженных значений. Зоны мак-

симальных значений сосредоточены в юго-восточной части участка работ, минимальных – в юго-западной части и у бровки карьера.

Анализ тектонической схемы показывает, что в пределах участка максимальным распространением пользуются субмеридиональная и субширотная системы трещин. Две другие системы трещин с аз. прост. 320–330°СЗ и 45–60°СВ проявляются слабее (см. рис. 4). К субширотным зонам трещиноватости приурочены проявления современных геологических процессов – суффозионные воронки и каналы, рвы глубиной до 2 метров, часто наблюдается развитие оползневых явлений в виде трещин отрыва и т.п.

**Выводы.** Проведенные исследования показывают, что в результате обработки полезных ископаемых развитие систем трещин происходит в первую очередь по направлениям, которые унаследованы от разломных структур данного района. При этом увеличивается густота и протяженность трещин, как по простиранию, так и на глубину. Это приводит к увеличению их обводнения, что в свою очередь влияет как на водоприток в карьеры, так и на изменение уровня грунтовых вод. Развитие систем трещин иных простираний за пределы карьеров незначительно и, по видимому, не является потенциально опасным техногенным явлением. Тем не менее, мониторинг трещиноватости на карьерах должен проводиться регулярно и в этом случае эффективным является комплексное применение методов полевого изучения трещиноватости и ЕИЭМПЗ.

#### Список литературы

1. Пикареня Д.С. Опыт применения метода естественного импульсного электромагнитного поля Земли (ЕИЭМПЗ) для решения инженерно-геологических и геологических задач / Д.С. Пикареня, О.В. Орлинская. – Д.: СВИДЛЕР, 2009. – 120 с.
2. Воробьев А.А. Физические условия залегания и свойства глубинного вещества. (Высокие электрические поля в земных недрах) / А.А. Воробьев. – Томск: Изд-во ТГУ, 1975. – 296 с.
3. Воробьев А.А. Равновесие и преобразование видов энергии в недрах / А.А. Воробьев. – Томск: Изд-во гос. ун-та, 1980. – 211 с.
4. Воробьев А.А. Импульсный пробой и разрушение диэлектриков и горных пород / А.А. Воробьев, Г.А. Воробьев, Г.А. Завадовская. – Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1971. – 225 с.
5. Беспалько А.А. Связь параметров электромагнитных сигналов с электрическими характеристиками горных пород при акустическом и квазистатическом воздействии / А.А. Беспалько, Л.В. Яворович, П.И. Федотов // Изв. Томского политехн. ун-та. – 2005. – Т.308, №7. – С. 94–101.
6. Волярович М.П. Пьезоэлектрический эффект пегматитовых и кварцевых жил / М.П. Волярович, Г.А. Соболев, Э.И. Пархоменко // Изв. АН СССР, сер. физ. – 1962. – №2. – С. 145–152.
7. Пархоменко Э.И. Явления электризации в горных породах / Э.И. Пархоменко. – М.: Наука, 1968. – 255 с.
8. Соболев Г.А. Механоэлектрические явления в Земле / Г.А. Соболев, В.М. Демин. – М.: Наука, 1980. – 215 с.
9. Иванов А.П. О регистрации электромагнитных полей электрокинетических источников / А.П. Иванов, Ю.В. Голиков // Физика Земли. – 1992. – №3. – С. 107–110.
10. Орлинская О.В. О влиянии электромагнитных полей на образование гидротермально-метасоматических рудных формаций / О.В. Орлинская, Д.С. Пикареня, Г.М. Стовас, М.М. Довбнич // Зб. наук. праць УкрДГРІ. – 2007. – №2. – С. 98–104.
11. Орлинская О.В. Опыт применения метода ЕИЭМПЗ в Джетыгаринском золоторудном районе (Северный Казахстан) / О.В. Орлинская, Д.С. Пикареня, В.Н. Писаренко [и др.] // Зб. наук. праць УкрДГРІ. – 2009. – №1–2. – С. 145–149.
12. Пикареня Д.С. Особенности естественного импульсного электромагнитного поля Земли над золоторудными месторождениями Украины и Казахстана / Д.С. Пикареня, О.Ф. Братчук, П.Ф. Якубенко [и др.] // Зб. наук. праць НГУ. – 2008. – №31. – С. 9–19.

На підставі проведеного комплексу досліджень показано, що при видобутку корисних копалин розвиток систем тріщин відбувається в першу чергу по напрямкам, які успадковані від розломних структур даного району. Системи тріщин інших простягань мають локальне розповсюдження і не виходять за межі кар'єрних полів. Для моніторингу техногенної тріщинуватості рекомендується застосування методу ШЕМПЗ разом з вимірами тріщин у відслоненнях.

**Ключові слова:** розривні порушення, техногенна тріщинуватість, імпульсні електромагнітні поля, видобуток корисних копалин

On the ground of the conducted battery of studies, it has been adduced that when extracting mineral product, systems of cracks propagate along the directions inherited from fractures of structures of this area. Systems of cracks propagated otherwise have local distribution and keep within the quarries field. For monitoring of technogenic jointing it was recommended to apply the NIEMFE method along with measuring of cracks in outcrops.

**Keywords:** breaks, technogenic jointing, pulsing electromagnetic fields, mining

Рекомендовано до публікації д.д.н. О.В. Орлінською 20.04.10