

Н.И.Голярчук, инженер

Научно-исследовательский горнорудный институт ГВУЗ «КНУ»

О БИФУРКАЦИИ ГЕОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ КРИВБАССА

В статье дан краткий анализ отмеченной в Кривбассе активизации геодинамических и неотектонических процессов в увязке с горно-геологическими и антропогенными нарушениями техногенной части земной коры. Впервые предложен возможный механизм возникновения природно-техногенного землетрясения. Сделан вывод о необходимости безотлагательной разработки и реализации долгосрочной программы по организации системного мониторинга с целью недопущения возникновения техногенных катастроф и предупреждения возникновения природных катастроф.

Ключевые слова: бифуркация, геотехническая система, неотектонические и геодинамические процессы, системный мониторинг, антропогенные нарушения.

У статті приведено короткий аналіз відміченої у Кривбасі активізації геодинамічних та неотектонічних процесів у сукупності з гірничо-геологічними та антропогенними порушеннями техногенної частини земної кори. Вперше запропоновано можливий механізм виникнення природно-техногенного землетрусу. Зроблено висновок про необхідність термінової розробки та реалізації довгострокової програми організації системного моніторингу з метою недопущення виникнення техногенних катастроф та попередження виникнення природних катастроф.

Ключові слова: біфуркація, геотехнічна система, геодинамічні та неотектонічні процеси, системний моніторинг, антропогенні порушення.

The article briefly analysis of the award in Krivbass and neotectonic activation of geodynamic processes in conjunction with geological and anthropogenic violations-tions of technogenic crust. For the first time it proposed a possible mechanism of occurrence of natural and technogenic earthquake. The conclusion about the need for urgent development and implementation of long-term program for the organization of the system of monitoring in order to prevent occurrence of man-made disasters and the prevention of natural disasters.

Keywords: bifurcation, geotechnical system, geodynamic and tectonic processes sistemy monitoring anthropogenic disturbances.

Терминология. Бифуркация в обыденной речи означает развилку, или разветвление надвое (от латинского *bi* – двойной и *furca* – развилка).

Механическая бифуркация – приобретение нового качества в движениях динамической системы при малом изменении её параметров.

Точка бифуркации – критическое состояние системы, при котором система становится неустойчивой относительно флуктуаций и возникает

неопределенность: станет ли состояние системы хаотическим или она перейдет на новый, более дифференцированный и высокий уровень упорядоченности (Википедия).

Согласно [1]: *«в современной научной терминологии термин «бифуркация» служит названием фундаментальной особенности поведения сложных систем, подверженных сильным воздействиям и напряжениям. В неравновесной термодинамике (естественной науке, занимающейся изучением динамики и эволюции систем в окружающем нас мире) термин «бифуркация» относится к поведению сложных систем в сильно неравновесных состояниях и условиях. Бифуркация происходит в том случае, когда такие системы теряют устойчивость в окружающей их среде, будучи выведенными из состояний, в которых они могли бы с комфортом пребывать практически до окончания века».*

Об этом значении «бифуркации» важно знать потому, что в современной геотехнической и социально-экологической системе Кривбасса уровни и интенсивность техногенного воздействия достигли критических значений.

Знание бифуркаций может существенно облегчить исследование реальной геотехнической и социально-экологической систем Кривбасса, предсказать характер новых движений, возникающих в момент перехода системы в качественно другое состояние, оценить их устойчивость, область существования, минимизировать, а, возможно, и предупредить негативные последствия.

Активизация неотектонических, геодинамических и экзогенных геологических процессов.

1. В апреле 2001 г. на отвале №2 Ингулецкого ГОКа произошел оползень объемом больше двух миллионов кубометров. Пропал без вести один человек. Официальная причина – обводнение подошвы отвала, при этом, как оказалось, отвал размещен на тектоническом разломе, плиты которого время от времени двигаются в горизонтальном и в вертикальном направлениях. Т.е., при соответствующих условиях, в т.ч. и при обводнении, это явление будет повторяться.

2. В июне 2007 г. на ш. Юбилейная произошла авария, в результате которой погибло четыре человека и двое травмировано. Авария связана с недостаточной устойчивостью горных пород на больших глубинах.

3. 25.12.07. в 06:09 по местному времени главным центром специального контроля национального космического агентства и сейсмической станцией Крыма в Кривбассе было зарегистрировано землетрясение интенсивностью в эпицентральной зоне до пяти баллов. По данным макросейсмических исследований крымских сейсмологов [2]:

- площадь 5-и балльных сотрясений составила 14км²: п. Сухая Балка, с. Глееватка, п. Фрунзе;

- 4-5 баллов: микрорайон Заречный, п. Соколовка, п. Божедаровка;

- 4-е балла: п. Бажаново, с. Новоивановка, микрорайоны: Мировской, Солнечный, п. Красная Балка, с. Алексеевка, с. Лозоватка.

Наибольшие колебания земной коры были отмечены в районе шахт им. Фрунзе, Юбилейная, Гвардейская. На ш. Юбилейная периодические толчки земной коры отмечались в течение с 05.01.08. по 09.01.08.

Очаг землетрясения авторы [2] приурочивают к верхним слоям земной коры (глубина $h=10\pm 5$ км) сложной зоны сочленения разновозрастных и разнонаправленных разрывных нарушений Криворожско-Кременчугского и Ледекинского разломов.

В соседних областях подземных толчков зарегистрировано не было.

4. 13 июня 2010 г. на ш. им. Орджоникидзе после проведения планового взрыва на действующем горизонте произошел провал земной поверхности площадью около 16 га (объемом около семи млн.м³) глубиной от 10 до 80 м над ранее выработанной территорией. В провале погиб один человек и несколько автомашин. Частично были повреждены здания шахты и около четырех километров автомобильных дорог, было остановлено добычу руды на шахте, нарушено газоснабжение к близлежащему поселку им. Горького.

5. В августе 2010 г. провал образовался на рынке Центрально-городского района, где за короткий промежуток времени под землю ушли торговые контейнеры. По счастливой случайности обошлось без жертв, поскольку обвал произошел ранним утром, когда рынок был закрыт.

Главные особенности техногенной нагрузки и экологического состояния Кривбасса, которые сложились к 2010г. и напрямую влияют на техногенную безопасность региона, изложены в работе [3].

Обеспокоенное сложной геомеханической ситуацией и общей техногенной опасностью в Кривом Роге, правительство Украины 06.09.2010г. дало поручение №53583/1/1-10 Министерству промышленной политики разработать и представить в декабре 2010г. Кабинету Министров Украины концепцию и проект Государственной программы комплексного решения проблем Кривбасса.

Из-за реорганизации министерств концепция была одобрена распоряжением Кабмина только 06.03.2013 р.№178-р *«Про затвердження Концепції Державної програми дослідження стану Криворізького залізорудного басейну для запобігання виникненню на його території катастрофи техногенного та природного характеру на 2013 – 2016 роки»*. По одобренной Концепции разработан проект Государственной программы,

которая была утверждена Кабмином в декабре 2013г., но официально не зарегистрирована.

6. 14 января 2011г. в 07:03 по местному времени сейсмостанции украинской и международной сейсмологических сетей зарегистрировали в Кривом Роге подземные толчки с магнитудой 3,5 и интенсивностью в эпицентральной зоне до пяти баллов по шкале MSK-64, глубина очага 3-5 км [4,5,6].

Зона пяти-бальных сотрясений отмечена [4] на улицах Ногина, Содружества, Пензенская (район ж/д вокзала). 4 балла: ул. 23 февраля (р-н Божедаровки), микрорайоны 2-4-й Восточный, Заречный, Кирова.

Подземные толчки ощущались на 173-м квартале, на пл. Артема, Вечернем бульваре и др. местах. Позже сейсмологические службы Крыма сообщили о землетрясении в Черном море магнитудой 3,9, которое произошло в то же время, когда трясло Кривой Рог. По одной из версий, до Кривого Рога могли докатиться подземные волны, что, кстати, происходит ежегодно несколько раз. Однако, все исследователи [4, 5, 6] отнесли землетрясение к Криворожско-Кременчугской зоне разломов со сложным тектоническим узлом пересечения разноориентированных разрывов.

В работе [6] отмечено, что возможным спусковым механизмом землетрясения 14.01.2011 г., которое возникло под действием естественных тектонических напряжений и нарастающей антропогенной нагрузки, послужило снижения порога прочности геологической среды в связи с присутствием графитовых пленок, смазывающих твердые фазы.

Уникальные по своей значимости данные [5] были получены Днепропетровской геологической экспедицией «Днепрогеофизика» (в дальнейшем Днепрогеофизика) в результате гидрогеодинамических наблюдений в криворожской скважине №14431, оборудованной «интеллектуальными» датчиками. 07 января 2011г. в 21:45 по местному времени был зарегистрирован момент неотектонической активизации по уровню воды в этой скважине, который за 45 минут упал на 7-8 см. Авторы связывают это явление с раскрытием сети мелких разломов и повышением трещиноватости в массивах докембрийских пород. При этом подобного явления не отмечалось в скважине, расположенной в г. Днепропетровске, что говорит об активизации тектонических процессов в районе Криворожско-Кременчугского глубинного разлома **за 6 суток и 8 часов до землетрясения 14.01.2011 г.** Как следствие, существенно снижается степень сейсмостойкости территории, возникают потенциальные предпосылки вертикальных и горизонтальных перемещений отдельных блоков.

Интересен факт, что после землетрясения в Японии 11.03.2011 г. в той же криворожской скважине Днепрогеофизикой был зарегистрирован фронт волны глобального сжатия, который проявился в увеличении уровня

воды на 10 см с 08:20 до 10:15. В дальнейшем происходило поднятие уровня воды еще на 4 см с выходом на максимум в 21:00.

О возможности прогнозирования землетрясений с помощью гидрогеодинамических наблюдений сообщается и в работе [13], где отмечен факт прогнозирования китайскими сейсмологами провинции Ляонин землетрясения в 1975 г. Наблюдая изменения уровня воды в колодцах, сейсмологи определили место на карте, к которому стягивались фокусы мелких толчков, а также скорость их передвижения. Власти учли прогноз ученых и вовремя произвели эвакуацию населения, что позволило спасти около 90 тыс. человек, хотя дома были разрушены на 90%.

7. 18 января 2011г. (по материалам СМИ) была обнаружена воронка размером 50м на 70м, глубиной около 20м в отдаленном районе города (р-н кладбища "Западное"), где пролегает автодорога техбаза-кладбище «Западное». Воронка образовалась примерно в 550 м от автодороги и в 200м от воронки, которая вышла на поверхность в 1985 г. размером 220 м на 250 м.

8. 08 февраля 2011 г. около 12:00 (по сообщению ИА "Кривбасс Оп-Line" г. Кривой Рог) в Кривом Роге опять ощущались подземные толчки в районе Карачунов, о чем сообщила в редакцию одна из жительниц седьмого этажа дома №34 по улице Ньютона Центрально-Городского района и одного из домов, расположенного на улице Погребняка.

9. 28.11.2012 г. в 22:48 по местному времени сейсмической станцией «Кривой Рог» было зафиксировано к югу от Кривого Рога поверхностное землетрясение с магнитудой около 3,0 и интенсивностью сейсмических колебаний 2 балла, которые местные жители не ощутили.

Сейсмическая станция «Кривой Рог» функционирует с ноября 2012 года, благодаря усилиям Института геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины и Днепрогеофизики. Станция оснащена цифровым оборудованием отечественного производства УК-15 и модернизированными сейсмологическими датчиками «ВЕГИК».

10. 24.06.2013г. в 00:16 по местному времени сейсмические станции Украины и более 100 сейсмических станций глобальной и европейско-средиземноморской сейсмологических сетей зафиксировали сейсмическое событие интенсивностью в эпицентральной зоне четыре-пять баллов по шкале Рихтера на глубине около 10км.

По информации СМИ (из обращений граждан) подземный толчок ощутили жители многих районов города и не только на верхних этажах многоэтажек. Особенно были взволнованы жители ул. Электрозаводская, откуда через полчаса после толчка в местное отделение чрезвычайных ситуаций поступило более трехсот звонков. Весьма ощутимым был толчок в северной и северо-восточной частях города: 44 квартал, ул. Косыгина,

Северный ГОК, микрорайон Заречный, 129 квартал, КРЭС, 173 квартал, бульвар маршала Василевского, микрорайон 5-й Горняцкий.

Из-за отсутствия сети сейсмологических станций в Центральной и Восточной Украине и большого удаления от Кривого Рога имеющихся станций наблюдения координаты землетрясения из разных источников имеют значительный разброс: 0,08 градуса по долготе (до 10 км) и 0,03 градуса по широте (до трех км). Кроме большого удаления, имеющиеся сейсмические станции настроены на мощные сейсмические события и практически не регистрируют события с магнитудой менее 3,0.

Несмотря на то, что добыча железной руды с применением массовых взрывов в шахтах и карьерах в Криворожском бассейне ведется на протяжении 134 лет, в регионе нет постоянной сейсмической сети. В результате, в Кривбассе не накапливается первичная информация и не создается системная база данных о сейсмических событиях для выявления возможных очагов их возникновения, понимания механизма их возникновения и районирования территории по безопасному строительству и проживанию.

Европейско-средиземноморской сейсмологической центр оценил координаты еще более приблизительно: 18 км на северо-восток от Кривого Рога и 340 км на юго-восток от Киева.

Другие станции давали данные с разбегом координат эпицентра от с. Лозоватка до с. Новоивановка (разбег по широте около 18 км).

По инструментальным экспресс-данным Днепрогеофизики, полученным на базе сейсмостанции «Кривой Рог» (УК-15), эпицентр землетрясения был в районе села Глееватка (на север от карьера №2 ПАО «Центральный ГОК» и на северо-восток от его хвостохранилища, на глубине около двух километров.

Т.е., с большой вероятностью можно утверждать, что вектор ударной сейсмической волны, гипоцентр которой возник на глубине около **10 км**, распространялся снизу вверх в направлениях с наиболее ослабленными горными работами зонами в массивах горных пород и начал затухать где-то на глубине около **двух километров**. В недалекой перспективе на такую глубину могут опуститься горные работы в шахтах.

Наложение координат эпицентров самых сильных землетрясений, которые произошли 24.06.2013 г. (данные из интернета и оперативные данные Днепрогеофизики), 14.01.2011 г. [4,5,6], 25.12.2007 г. [2] на карту показало, что эпицентральные зоны сейсмических событий в пределах погрешности укладываются в своеобразный **Криворожский треугольник: с.Глееватка-ст.Роковатая, (с.Новоивановка) - Дубовая балка, шахты Большевик, Родина.**

В районе треугольника находятся шахты им. Фрунзе, Юбилейная, где горные работы ведутся уже на глубинах до 1500 м.

Согласно [7] *«потенциально тектонически-активными зонами, в которых могут происходить различные подвижки, являются зоны сочленения крупных структур и блоков, контрастных по плотностным параметрам. Внутри этих зон особое место занимают тектонические (разломные) узлы»*. Особое место по влиянию на сейсмическую ситуацию в Кривбассе занимает Криворожско-Кременчугский геологический разлом (ККГР). По мнению автора [7] в районе ККГР (возможно совпадая с ним) проходит граница между областями-блоками Украинского щита, характеризующимися различными скоростями поднятия: от 2-4 мм/год до более 10 мм/год.

В других источниках также отмечается о движениях в Кривбассе блоков земной коры в горизонтальном направлении 3-10мм/год и в вертикальном направлении 2-5 мм/год. О влиянии неотектонических процессов, по-видимому, свидетельствуют такие явления как утечка воды из накопителя шахтных вод балки Свистунова, развитие карстовых проявлений в районе с. Рахманово, активизация оползневых явлений на берегах р. Ингулец, в районе с. Новоселовка, на отвале Ингулецкого ГОКа.

Как показано в работе [8,рис.2], как раз в этом треугольнике с увеличенной сейсмичностью находится сочленение блоков Глееватского, Саксаганского и Первомайского, причем *«Глееватский грабен, перекрывая разные части блоков, увязывает их в одно целое»*. Здесь же, *«в зонах пересечения разновозрастных и разнотипных разрывных нарушений, т.е. в зонах с максимальным нарушением физического состояния исходных железистых пород, концентрируются рудные залежи»* [9].

Именно отсюда в 1881г. начиналась добыча железных руд в Кривбассе. Александр Поль, исследуя в 1866 году склоны Дубовой Балки с археологической целью, открыл богатое месторождение железных руд и первым получил право на их разработку на «неудобных землях» криворожской сельской громады. Он же стал инициатором создания первого в бассейне акционерного «Товарищества криворожских железных руд», которое открыло в 1881 году Саксаганский рудник. Уже к 1913 году добыча руды достигла 6,4 млн.т., а в составе 51 рудника действовало 109 шахт и 15 карьеров, где работало 22 тыс. человек [17].

За весь период в Кривбассе было построено около 125 шахт.

Именно здесь, в этом треугольнике находится пересечение Тарапакского разлома (надвига) с локальными разломами балок Глеевата, Дубовая и других локальных разломов, а также большие площади подработанных шахтами территорий с зонами возможного образования воронок и карьеры №1-2 ПАО «Центральный ГОК» с хвостохранилищем.

С большой вероятностью можно утверждать, что в этом треугольнике уже *«заработал природно-техногенный механизм продуцирования землетрясений»* в результате взаимодействия природных неотектонических процессов с ослабленными горными выработками зонами в массивах горных пород. Очевидно, активно способствует этому процессу подтопление территорий и другие, природные и антропогенные факторы, ведущие к ослаблению грунтов.

Проведение взрывных работ в шахтах и карьерах, возможно, служит своеобразным спусковым механизмом запуска землетрясений и наоборот.

Как отмечено в работе [4]: *«Единственный взрыв общей массой взрывчатых веществ 64 000 кг, по данным компетентных органов (см.: <http://kri.com.ua/6311-v-krivom-roge-proizoshlo-4-ballnoe-zemletrasenie.html> и др.), произведенный 14.01.2011 г. на шахте им. С. Орджоникидзе, не мог привести к наблюдавшемуся макросейсмическому эффекту, так как его эпицентр располагался вне зоны максимальных сотрясений. В то же время воздействия, вызванные взрывом, могли служить своеобразным «спусковым механизмом» землетрясения».*

О связи сейсмотектонических и техногенных процессов отмечается и в работе [5]: *«Возникновение огромных по общему объему пустот в тектонически сложном районе Кривого Рога, даже в условиях стабильного состояния геологической среды, может привести к активизации сейсмотектонических процессов и увеличения сейсмичности. Отметим, что локальные поля напряжений накладываются на напряжения, вызываемые глобальными геодинамическими процессами. Для изучаемого района, в первую очередь, таким фактором является влияние мощного сейсмоактивного пояса планеты, образовавшегося в результате продолжающихся процессов встречного движения Африканской и Евразийской плит. Глобальные деформационные тектонические процессы, циклически изменяющие свою интенсивность, в настоящее время находятся в стадии активизации».*

Регулярное, на протяжении длительного времени, проведение взрывных работ в шахтах и карьерах, по-видимому, инициирует более ранние наступления относительно слабых сейсмических событий, чем это могло произойти только под влиянием природных факторов.

Как отмечено в работах [10-12], проведенные полевые эксперименты в зоне Ангарского разлома и масштабные эксперименты на горнодобывающих предприятиях России доказали *«возможность плавного увеличения скорости деформирования разломной зоны техногенными воздействиями, что приводит к высвобождению некоторой части энергии, накопленной в породном массиве».* В 2006 г. в России был выдан патент на *«Способ управления режимом смещений во фрагментах сейсмоактивных*

тектонических разломов» [10]. В работе [12] отмечено, что техногенные сейсмические явления появляются через 10-20 лет после начала разработки месторождений. А наиболее сильные их проявления возникали через 20-30 лет. При чем, частота появления сейсмических событий имеет тенденцию увеличиваться при увеличении глубины разработки. В Кривбассе эти процессы начались гораздо позже, по-видимому, потому, что до 1932г. горные работы велись в основном с закладкой выработанных пространств, а также в силу исключительной крепости горных пород.

Учитывая техногенные события [15,16], происходившие во многих горнодобывающих регионах бывшего СССР, для безопасного ведения горных работ коллективом российских ученых [12] была разработана и реализована новая технология взрывной подготовки горного массива к выемке. *Множokратное уменьшение количества массовых взрывов* снизило риск возникновения опасных геодинамических явлений на горных предприятиях.

Механизм природно-техногенной бифуркации геотехнической системы Кривбасса можно упрощенно представить в виде следующих фаз.

Состояние равновесия: накопленная в системе (и постоянно накапливающаяся) в результате активизации глобальных тектонических процессов энергия (Эт) уравнивается энергией (силами) сцепления между блоками техногенной части земной коры (Эсц):

$$\text{Эт}=\text{Эсц} \quad (1)$$

Геомеханическое равновесие длилось и могло бы длиться достаточно долго без вмешательства извне.

Накопление энергии. В результате действия различных природных факторов (Эпр) и все увеличивающейся техногенной нагрузки (Этех) происходит «подкачка» системы некой дополнительной энергией, т.е. энергия системы увеличивается на величину $\Delta\text{Эт}$:

$$\Delta\text{Эт}=\text{Эпр}+\text{Этех} \quad (2)$$

Энергия, которая может привноситься действием природных факторов (Эпр):

- остаточные сейсмические волны, доходящие из других сейсмоопасных районов. Особенно опасно южное направление из Турции и Крыма, поскольку сейсмические волны проходят соосно ККГР, а также зона Вранча в Карпатах;

-земные приливы, лунная и солнечная составляющие[11];

- различные физические явления: гравитация, электромеханизм, акустика, деформация горных пород, фазовые переходы и др. [13].

Энергия, которая может привноситься действием техногенных факторов (Этех):

- регулярные взрывы на карьерах и шахтах. Суммарная годовая мощность производимых в Кривбассе взрывов составляет около 100 тыс.т взрывчатых веществ, а их количество только на карьерах доходит до 280 взрывов в год. За весь период (2012 г. включительно) эксплуатации месторождений Кривбасса было взорвано оценочно около **5,1 млн.т взрывчатых веществ, в т.ч. на шахтах около 1,2 млн.т.**

С учетом информации [10-12] можно предположить, что проведение взрывных работ в шахтах и карьерах Кривбасса играет двоякую роль. С одной стороны инициирует более ранние наступления относительно слабых (не разрушительных) сейсмических событий, чем это могло произойти только под влиянием природных факторов.

С другой стороны, все чаще возникающие и с все большей интенсивностью колебания земной коры пагубно сказываются на несущей способности как промышленных зданий и сооружений, особенно гидротехнических, так и объектов инфраструктуры города.

Поскольку строительство в Кривбассе велось с учетом сейсмостойкости не более шести баллов, особую опасность повышение сейсмичности представляет для населения, проживающего в устаревшем жилом фонде, находящемся на подтопленных территориях (площадь свыше 9,0 тыс.га) или ослабленных грунтах другими природными и техногенными факторами (балки, овраги, карстовые проявления, подземные водные источники, подработанные территории, чрезмерно дождливые периоды года и др.). На отдельных участках уровень грунтовых вод поднялся ближе к поверхности на 20-35 м и уже наблюдается на глубинах 0,4-1,2 м.

Особого внимания и специальных наблюдений требуют участки пассажирской железной дороги и скоростного трамвая, проходящие в сейсмоопасном треугольнике;

- карьерные и шахтные выемки горных пород, антропогенные нарушения. Пересчет произведенной в Кривбассе за период 1881-2012 годов товарной железной руды массой 4,75 млрд.т (2,16 млрд.т богатой руды +2,59 млрд.т концентрата) косвенно дает объем вынутой из недр горной массы 6,3-6,9 млрд.м³ (18-20 млрд.т), в т.ч. подземными работами 0,6-0,8 млрд.м³, из которых, по разным, оценкам 40-50 млн.м³ не погашенных подземных пустот.

Общий объем антропогенных нарушений (с учетом селитебной и промышленных зон) оценивается в **16,0-17,0 млрд.м³** (возможно до 20 млрд. м³) массой около **50,0 млрд.т**, которые имеют специфическую

вытянутую в меридиональном направлении форму [3]. Направление техногенных нарушений совпадает с направлением природного Криворожско-Кременчугского геологического разлома.

Карьерные и шахтные выемки формируют зоны значительного ослабления массивов горных пород, имеющих блочную структуру с площадью блоков от нескольких квадратных километров до десятков, и накапливают ничем не уравновешенную потенциальную упругую энергию. При этом некоторые блоки земной коры были облегчены на массу произведенной товарной железной руды.

Другие блоки, наоборот, были дополнительно нагружены произведенными отходами массой более 12 млрд.т (вскрышные породы и хвосты обогащения). Горная масса, вынутая из недр, сопоставима с массой мелких блоков и вполне может привести к нарушению их геомеханического равновесия.

Можно предполагать, что мелкие блоки или их края, *облегченные* вынудой из недр значительной массой горных пород, будут двигаться вверх («всплывать»), создавая напряжения на стыках с другими блоками. И наоборот, *перегруженные* отвалами, хвостохранилищами и другими объектами мелкие блоки или их края будут двигаться вниз, также создавая напряжения на стыках с другими блоками. Чрезмерная антропогенная нагрузка на ограниченной территории отдельных блоков и зон трещиноватости, по-видимому, также может служить спусковым механизмом землетрясений.

С другой стороны, техногенная нагрузка может значительно снижать энергию (силу) сцепления между блоками техногенной части земной коры, т.е. создает ослабляющую составляющую $-\Delta E_{сц}$. Изъятие в больших количествах плотных и крепких горных пород в виде рудных залежей приводит к обнажению естественных *разрывных нарушений*, что можно *образно сравнить с изъятием связующего из кирпичной кладки*.

Масштабная фильтрация и миграция оборотных и дренажных вод, а также наличие тальк содержащих сланцевых и возможно графитовых прослоек в породах неминуемо приводит к снижению коэффициентов трения-скольжения между блоками.

Ежегодный общий объем отвода (сброса) оборотных вод в реки Саксагань и Ингулец составляли около 200,0 млн.м³, в т.ч. сбросы шахтных высоко минерализованных вод (минерализация около 40 г/л) в количестве 11-12 млн.м³ ежегодно. При этом, дренажные воды шахт, карьеров и коммунальных предприятий города, имея кислую среду и, проникая в горные породы карбонатного состава, приводят к образованию локальных карстовых воронок, расположение которых не известно и они никем не учитываются.

По некоторой, приблизительной, оценке геологов карстовое поражение геологической среды Кривбасса занимает около 10-15% территории.

Кислая среда приводит к коррозии несущих конструкций и фундаментов. Подтопление, обводнение территорий приводит к снижению несущей способности грунтов и проседанию фундаментов зданий и сооружений, в т.ч. жилых домов, срок эксплуатации многих из которых уже исчерпан и они не выдержат значительных колебаний земной коры.

Из-за многолетнего откачивания больших объемов воды с подземных горных выработок нарушен природный гидрогеологический режим региона на глубину больше 1,0 км. Образовалась, по разным оценкам, почти сплошная депрессионная воронка длиной около 80 км, шириной 3-6 км при глубине от 400 до 1300 м. Наиболее глубокая ее часть также находится в районе треугольника (шахты Родина, им. Фрунзе, Юбилейная).

Точка бифуркации. Система становится неустойчивой и возможно возникновение природно-техногенного события:

$$\text{Эт} + \Delta\text{Эт} = (\text{Эпр} + \text{Этех}) > \text{Эсц} - \Delta\text{Эсц} \quad (3)$$

или:

$$\text{Эт} + \text{Эпр} + \text{Этех} + \Delta\text{Эсц} > \text{Эсц} \quad (4)$$

В точке бифуркации у системы появляется «выбор», в котором присутствуют элементы случайности, приводящие к невозможности предсказать дальнейшее развитие системы.

Выбор, вероятно, заключается в следующем: техногенное землетрясение или может быть спровоцировано естественным землетрясением и усилит его (особенно опасная зона в Крыму, поскольку оттуда идет тектонический разлом через Кривбасс и зона Вранча в Карпатах), или его могут спровоцировать плановые взрывы на карьерах или шахтах (особенно большой мощности) при дальнейшем, не контролируемом нарушении земной коры и достижении определенного объема таких нарушений.

Исходом бифуркации, которая уже началась и совершается, необходимо управлять: он отнюдь не предопределен [1]. На основании анализа имеющегося мирового опыта, можно предполагать, что геотехническая система Кривбасса еще не достигла «**точки не возврата**», т.е. еще есть теоретическая возможность не допустить возникновения масштабного техногенного землетрясения.

Согласно [14] мощные техногенные землетрясения возникали при сплошных объемах нарушений земной коры 10-11 млрд.м³. Объем вынудой из недр Кривбасса горной массы оценивается в 6,3-6,9 млрд.м³. Т.е. вероятность такого события на сегодня можно оценить в 60-63% . Ежегодная интенсивность нарушений составляет 110,0-118,0 млн.м³ (один млрд.м³ каждые 8-9 лет) и, по мере углубления горных работ, будет неустанно возрастать. Т.е., если следовать аналогии [14] через 28-30 лет вероятность чисто техногенного землетрясения возрастет до 90-95%. С учетом активизации природных факторов это событие может произойти значительно раньше, особенно если будут отработаны целики без твердеющей закладки.

Единственным инженерным решением, позволяющим минимизировать или даже избежать негативных последствий, является изменение технологий ведения горных работ, а также инженерные работы по укреплению грунтов и объектов инфраструктуры города.

Для реализации такой концепции необходимо на законодательном и нормативно-техническом уровнях изменить технологию ведения горных работ в направлениях поэтапной или опережающей отработки карьеров для складирования в них вскрышных пород и отходов обогащения (в т.ч. сухого складирования хвостов) с возможным последующим переходом на подземную доработку запасов, перевести шахты на работу с твердеющей закладкой и выполнить принцип сбалансированности производства руды и складирования отходов: **"где и сколько добыто руды, туда же и столько же нужно положить отходов"**[3]. Перевод шахт на работу с твердеющей закладкой даст значительный технологический эффект: уменьшит потери руды в целиках, повысит ее качество и уменьшит притоки шахтных вод. Причем, отработку месторождений подземным способом, по-видимому, целесообразно вести с самого нижнего проектного горизонта, складировав в него после отработки, отходы добычи и переработки руды.

Выводы

1. В Кривбассе сосредоточены огромные запасы железной руды, что при рациональном использовании хватит еще более чем на сто лет.

Но, чрезвычайно сложная геомеханическая обстановка в сочетании со значительным повышением сейсмической активности в Криворожском железорудном бассейне и все большая ее интенсивность представляют реальную угрозу населению и горно-металлургическому бизнесу региона.

Один день простоя только предприятий ГК Кривбасса оценивался в 2012г. в **194,8 млн.грн.** реализованной продукции. Остановка предприятий даже на 2-3 дня может нанести ущерб в сумме 400-600 млн.грн. и уменьшит доходы в бюджеты всех уровней на 80-100 млн.грн.

2. Геотехническая система Кривбасса вышла из равновесия и достигла точки бифуркации, масштабные количественные изменения геологической

среды привели к новым негативным качественным изменениям. Стремление геотехнической системы к новому равновесному состоянию постоянно будет сопровождаться высвобождением накопленной энергии, что в сочетании с активизацией неотектонических процессов уже создало все предпосылки для возникновения природно-техногенных бедственных явлений.

3. Количественная оценка выявленных связей, с учетом техногенной перегруженности, для Кривбасса давно является чрезвычайно актуальной и требует установления различных видов системного мониторинга: геологического, гидрогеологического, маркшейдерского, геофизического, в т.ч. обязательно сейсмического. Необходимо срочно создать региональную сеть комплексных мониторинговых станций (не меньше четырех), в т.ч. в их составе д.б. высокочувствительные сейсмические станции, которые бы регистрировали толчки с магнитудой от 1-2.

4. Системное изучение и знание отмеченных в неравенстве (4) составляющих и выявление новых факторов воздействия на геотехническую систему Кривбасса **позволит осознанно управлять этими процессами.**

Знание бифуркаций может существенно облегчить исследование реальной геотехнической и социально-экологической систем Кривбасса, предсказать характер новых движений, возникающих в момент перехода системы в качественно иное состояние, оценить их устойчивость, область существования и минимизировать негативные последствия, а, возможно, и предупредить их возникновение.

5. Необходимо как можно быстрее профинансировать в полном объеме и приступить к реализации **«Державної програми дослідження стану Криворізького залізорудного басейну для запобігання виникненню на його території катастрофи техногенного та природного характеру на 2013-2016 роки»**, одобренной Кабинетом Министров Украины в декабре 2013г., скорректировав ее на последующие годы.

Учитывая ограниченность утвержденной программы во времени и по содержанию, необходимо безотлагательно разработать **«Концепцію довгострокової Програми комплексного вирішення проблем техногенної безпеки Кривбасу на період 2017-2030 рр.»**, с обязательным привлечением к ее разработке и выполнению предприятий ГМК Кривбасса.

Список использованных источников

1. Век бифуркации/ Эрвин Ласло Laszlo Ervin// Journal of General Evolution. Перевод Ю. А. Данилова. – 80с.

2. Инструментальные и макросейсмические данные о процессах в очаговой зоне Криворожского землетрясения 2007 г. /Б.Г.Пустовитенко, В.Е. Кульчицкий, А.А.Пустовитенко и др. Крымский экспертный совет по оценке

сейсмической опасности и прогнозу землетрясений г. Симферополь// Геофизический журнал. – 2010.- №2. – Т.32. – С.75-95.

3. Проблемы техногенной безопасности в горнодобывающих регионах (на примере Кривбасса)/ Г.В.Губин, Н.И.Голярчук// Горная промышленность. – М.: – 25.02.2011. – Специальный выпуск. – С.50-54.

4. Макросейсмические данные Криворожского землетрясения 14 января 2011 г. /А.М. Складар, В.С. Князева. Отдел сейсмологии Института геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины.// Сейсмологический бюллетень Украины 2011 г. Севастополь. – 2012. – С.59-62.

5. Криворожское землетрясение 14 января 2011 года как локальное следствие сеймотектонических и техногенных процессов /А.В. Кендзера, П.И. Пигулевский, С.В. Щербина, В.К. Свистун, И.Ю. Гурова, Ю.В. Лесовой. // Геодинамика. – 2012. – 1(12) – С.114-119.

6. Криворожское землетрясение 14 января 2011 г. /А.Н.Кушнир// Геодинамика. – 2011. – 1(10) – С.110-115.

7. О сейсмической активности Криворожско-Кременчугской и Орехово-Павлоградской шовных зон Украинского щита / П. И. Пигулевский // Науч. труды УкрНИМИ НАН Украины. – 2011. – Вып. 9, ч. 2. – С. 392-405.

8. Разломно-блоковая тектоника Криворожской структуры /И.С.Паранько, В.К.Бутырин //Геолого-минералогический вестник. – 2004. – №1. – С.5-12.

9. Основные тектонические элементы Криворожской структуры и их роль в формировании залежей богатых железных руд/ Худур Дж. по представлению И.С.Паранько // Геолого-минералогический вестник. – 2005. – №2. – С.58-66.

10. Исследования по влиянию малых возмущений напряженно-деформированного состояния земной коры на эволюцию деформационных процессов/ Г.Г.Кочарян // Национальный отчет Международной ассоциации сейсмологии и физики недр Земли Международного геодезического и геофизического Союза 2003-2006. М. – 2007. – С.73-77.

11. Исследования наведенной сейсмичности / А.В.Николаев // Национальный отчет Международной ассоциации сейсмологии и физики недр Земли Международного геодезического и геофизического Союза 2003-2006. М. – 2007. – С.78-85.

12. Техногенно-индуцированные процессы в земной коре / В.В.Адушкин, С.Б.Турунтаев // Национальный отчет Международной ассоциации сейсмологии и физики недр Земли Международного геодезического и геофизического Союза 2003-2006. М. – 2007. – С.96-100.

13. О возможном механизме землетрясений/ Л.И. Уруцкоев // “РЭКОМ” РНЦ “Курчатowski институт”.– Россия. Прикладная физика. –М. – 2000. – № 4. – С. 55-61.

14. Техногенные землетрясения / Царев В.П., Повилейко Р.П. // Международный ежегодник "Наука и человечество", – М.: Знание, – 1990. – 398 с.

15. Меры по снижению ущерба от землетрясений / Аптикаев Ф. Ф.// Природные опасности России. – М.: Крук, 2000. – Глава 7. – С. 165-195

16. Сильнейшее техногенное землетрясение на руднике «Умбозеро»: горнотехнические аспекты/ Козырев А.А., Ловчиков. В., Пернацкий С.И., Шершеневич В.А.// Горный журнал. – 2002. – №1. – С.43-49.

17. Криворожский железорудный бассейн / Ю.Г.Вилкул, Н.И.Дядечкин, А.С.Колодезнев и др. // Изд. центр Криворожского технического университета. – 2006. – С.582.

Рукопись поступила 05.10.2015

УДК 622. 834. 52,53

Б.И. Рыбалко, к.т.н., доцент, ведущий научный сотрудник,

В.М. Здециц, д.т.н., доцент, старший научный сотрудник,

Д.Е. Чистяков, старший научный сотрудник,

А.И. Федоренко, старший научный сотрудник,

Т.В. Милейко, инженер I категории

Научно-исследовательский горнорудный институт ДВНЗ «КНУ»,

О.А. Калиниченко, к.г.н., преподаватель КПИ ДВНЗ «КНУ»

ЭКСПЕРТНАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ ПО СИГНАЛАМ ЗАПИСЕЙ ГИС

Статья посвящена обработке сигналов сейсмической активности по результатам непрерывного мониторинга геомеханического состояния массива пород в зонах влияния подземных пустот на стыке полей шахт «Артем-1» ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог» и «Родина» ПАО «Кривбасжелезрудком».

Ключевые слова: мониторинг, экспертная идентификация, значимое событие, геомеханическое явление.

Стаття присвячена обробці сигналів сейсмічної активності за результатами безперервного моніторингу геомеханічного стану масиву гірських порід в зонах впливу підземних пустот та стику полів шахт «Артем-1» ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» і «Батьківщина» ПАТ «Кривбасзалізрудком».

Ключові слова: моніторинг, експерта ідентифікація, значуща подія, геомеханічне явище.

The article is dedicated signal processing seismic activity as a result of continuous monitoring of geomechanical condition of rock massif in zones of influence of underground voids at the interface of the fields of mines, "Artem-1" of PJSC "ArcelorMittal Kryviy Rih" and mine "Rodina" PJSC "Krivoj Rog's Iron-Ore Combine"