

О СЕЙСМИЧЕСКОМ СОБЫТИИ В КРИВБАССЕ (УКРАИНА) И МЕХАНИЗМЕ ЕГО ОЧАГА

П. И. Пигулевский*, В. К. Свистун**, С. В. Щербина*

*Институт геофизики НАН Украины, Киев

**Днепропетровская геофизическая экспедиция «Днепрогеофизика»

Поступила в редакцию 27 октября 2015 г.

Аннотация: статья посвящена анализу неординарного сейсмического события в пределах территории Кривбасса, которое состоялось 23 июня 2013 г. Для определения его природы выполнен анализ и обобщены, накопленные на протяжении 2012 – 2013 гг. Институтом геофизики НАН Украины и Днепропетровской геофизической экспедицией «Днепрогеофизика», данные с учетом информации, приведенной в опубликованных источниках, о местных сейсмических событиях в районе г. Кривой Рог.

Ключевые слова: землетрясение, сейсмичность, механизм очага

ABOUT SEISMIC EVENTS IN KRIVBASS (UKRAINE) AND THE MECHANISM OF ITS CENTER

Abstract : this article analyzes the extraordinary seismic event within the territory Krivbass, which took place June 23, 2013 to determine its nature is analyzed and summarized, accumulated during 2012 – 2013. Institute of Geophysics of NAS of Ukraine and Dnepropetrovsk geophysical expedition "Dneprogeofizika" data with information provided in the published literature about local seismic events in the area of Krivoy Rog.

Key words: earthquake, seismicity, focal mechanism

Введение

В течение двух столетий из недр Криворожского железорудного бассейна (Кривбасса) было «извлечено» около трех миллиардов тонн богатой руды и на порядок больше железистых кварцитов. Причем, в последние годы, процессы интенсивной добычи руды в Кривбассе, сопровождаются широкомасштабными экологически опасными событиями геомеханической природы, что приводит к образованию подземных техногенных пустот, провално-сдвиговых и других явлений. Кроме того, повысился уровень местной сейсмичности, связанный с геодинамическими процессами в зонах тектонических нарушений земной коры и мощными взрывами в шахтах и карьерах. Отсутствие системы мониторинговых наблюдений за этими процессами на территории Кривбасса не позволяет получить исчерпывающий ответ на вопрос относительно природы землетрясений. Не получены окончательные ответы на природу происхождения землетрясений 25 декабря 2007 г. и 14 января 2011 г. – техногенные, техногенно-тектонические или сугубо тектонические. Сомнения исследователей связаны с тем, что эти сейсмические события возникали ранним утром в то время, когда проводятся наиболее мощные взрывы в шахтах. Однако надо отметить, что данных относительно проведения взрыва в 4-м часу (время в

формате UTC) 25 декабря 2007 г. нет. Информация о взрыве 14 января 2011 г. в 5-м часу (UTC) не однозначна [1, 2]. Основанием для предположения о тектонической природе этих событий в районе г. Кривой Рог стало последнее землетрясение (рис. 1), которое состоялось ночью 23 июня 2013 г. в 21 ч. 16 мин. (UTC) [2, 3, 4], а также данные о механизме землетрясения 25 декабря 2007 г. [5, 6]. Кроме того записи сейсмических событий 25 декабря 2007 г., 14 января 2011 г. [7] и 23 июня 2013 г. [2, 3] идентичные и отличаются от записей взрывов.

Согласно работе И.П. Габсатаровой, А.В. Кендзеры, Л.И. Надежка и др. [3], зарегистрированное землетрясение 23 июня 2013 г., одно из наиболее значительных по магнитуде на юго-западе Восточно-Европейской платформы за последние десятилетия, что еще раз свидетельствует о сейсмической активизации территории Кривбасса, расположенной в центральной части асейсмичного Украинского щита.

Поэтому авторы посвящают свою статью дальнейшему изучению вопроса о возможном существовании взаимосвязи роста напряжений в зонах тектонических нарушений и деформаций геологической среды Кривбасса в связи с разработкой рудных месторождений и применением мощных взрывов [1–7].

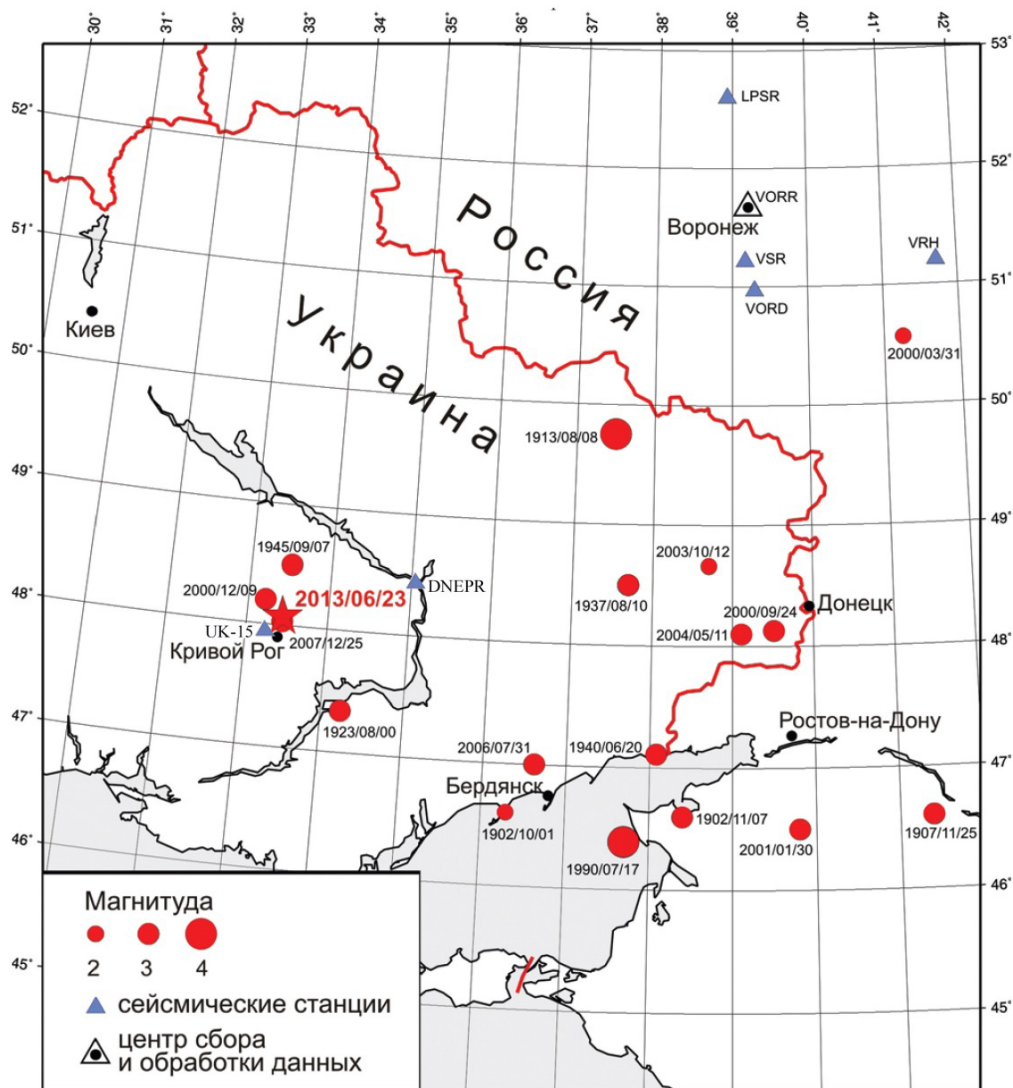


Рис. 1. Карта с эпицентрами землетрясений известных в южной части ВЕП по данным «Унифицированного каталога ...» (Уломов и др., 2012). Звездочкой показано положение эпицентра 23.06.2013 г. [3] с добавлениями авторов

Бурение Криворожской сверхглубокой скважины СГ-8 в северной части одноименной структуры выявило в верхней части земной коры зоны повышенного напряженного состояния и разгрузки, образованные разрывными тектоническими нарушениями.

Сейсмичность Кривбасса

В зоне влияния Криворожско-Кременчугского глубинного разлома (ККГР) [8, 9] и Ингулецко-Криворожско-Кременчугской шовной зоны (ЗИККШЗ) [10] в течение последних двух десятилетий было зарегистрировано ряд землетрясений [2, 5, 7] с M не превышающей значения 4,0. Это землетрясения: – 24.05.1996 г. (08 ч. 59 мин., (UTC) $M = 3,3$); – 08.12.2000 г. (03 ч. 38 мин., $M = 3,6$); – 21.05.2001 г. (01 ч. 53 мин., $M = 3,7$); – 12.02.2002 г. (12ч. 12мин., $M = 3,7$). Их эпицентры расположены, согласно координатам, приведенным в разных каталогах (EMSC, ISC), в пределах ЗИККШЗ. Очаг землетрясения, которое состоялось 9.12.2000 г. (12 ч. 20 мин., $M = 3,9$) в районе Кривого Рога, расположен в

верхней части земной коры на глубине 10 км и, согласно приведенным координатам эпицентра (данные ISC), находится на расстоянии 3 км от зоны ККГР.

Организация сейсмического мониторинга

Повторяемость сейсмических событий в данном районе поставила перед украинскими сейсмологами задачу о необходимости постоянного наблюдения за напряженно-деформационным состоянием среды территории Кривбасса. Для ее решения в октябре 2012 года на территории Криворожской геофизической партии ДГЭ «Днепрогеофизика» (г. Кривой Рог на ул. Геологическая 2-а, рис. 2) была установлена сейсмическая станция UK15 разработки Института геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины (ИГФ НАНУ) [4, 11]. Для обеспечения оптимальной и надежной системы регистрации и анализа криворожских сейсмических событий, а также для выяснения их природы, ИГФ НАНУ организовано оперативную службу сейсмических наблюдений, с помощью которой



Рис. 2. Местоположение станции UK15 (космоснимок из Интернет-ресурса)

была установлена и запущена в непрерывном онлайн режиме сейсмическая станция UK15. Благодаря высокой чувствительности станции стало возможным регистрировать слабые и сильные техногенные события в районах шахтных и карьерных полей г. Кривой Рог.

Для оценки характеристик станции был выполнен сравнительный анализ ее параметров с сейсмометром Guralp SMG-40T на классическом постаменте. Результаты исследований спектров записей этих сейсмометров показали, что полоса пропускания сейсмометра Guralp SMG-40T только немного шире, чем в станции UK15, но при этом важным отличием технических свойств этой аппаратуры является отсутствие фазового шума, имеющегося у сейсмометра Guralp SMG-40T. Выполненное сравнение амплитуды микросейсмических данных сейсмометра Guralp SMG-40T и станции UK15 с модернизированными датчиками ВЕГИК (рис. 3) показало [4], что амплитуды станции UK15 превышают амплитуды сейсмометра Guralp SMG-40T почти в шесть раз. Дальнейший визуальный анализ сравнения их общих записей свидетельствует, что они практически не отличаются по своим формам.

За период с октября 2012 г. по декабрь 2014 г. станцией UK15 «Кривой Рог» было зафиксировано 12 сейсмических событий. Среди них были местные землетрясения и ряд сильных взрывов. Наиболее существенное событие произошло 23.06.2013 г. (рис. 4). Результаты его обработки приведены в табл. 1.



Рис. 3. Модифицированные классические сейсмометры ВЕГИК повышенной чувствительности, расположенные на постаменте станции "Кривой Рог"

Землетрясение 23 июня 2013 г.

Анализ развития землетрясений в пределах Кривбасса позволяет сделать предположение, что время, в пределах которого зарегистрировано сейсмическое событие, в какой-то мере указывает и на их генезис. Что касается землетрясений 25 декабря 2007 г. и 14 января 2011 г., то до сих пор продолжается обсуждение их возможной связи с мощными взрывами в карьерах и шахтах в г. Кривой Рог. Относительно землетрясения 23 июня 2013 г. не возникает сомнений в его тектонической природе (рис. 5), на что указывают следующие факторы:

– во-первых, землетрясение состоялось ночью – в 00 ч. 16 мин. по Киевскому времени (с 23 на 24 июня 2013 г.) и в Государственном Комитете Украины по промышленной безопасности, охране труда и горного надзора отрицают факт проведения любых взрывных работ на предприятиях Кривого Рога в это время;

– во-вторых, по данным разных сейсмологических центров значения магнитуды этого землетрясения находится в пределах 4,5 – 4,7 (табл. 2), тогда как при других техногенных событиях значения m_b были значительно ниже – 3,5-4,0;

– в-третьих, при изучении волновой картины землетрясения 23 июня 2013 г. на записи станции UK-15 «Кривой Рог» (рис. 4) выделено время регистрации вступлений волн P_g и S_g , согласно которым установлено, что очаг этого события находится на глубине более 2 км [13];

– в-четвертых, он расположен в восточной части Западно-Ингулецко-Криворожской шовной зоны (ЗИКШЗ) в пределах Криворожского синклинория (рис. 5), западное крыло которого срезано Саксаганским надвигом. Сложность внутреннего строения структуры, по всей видимости, объясняется наличием здесь древней зоны субдукции, что подчеркивается большой областью протяженных сейсмических площадок, падение которых в низах земной коры направлено на восток под углами 45–40° [9, 10], а не на запад, как в ее верхней части.

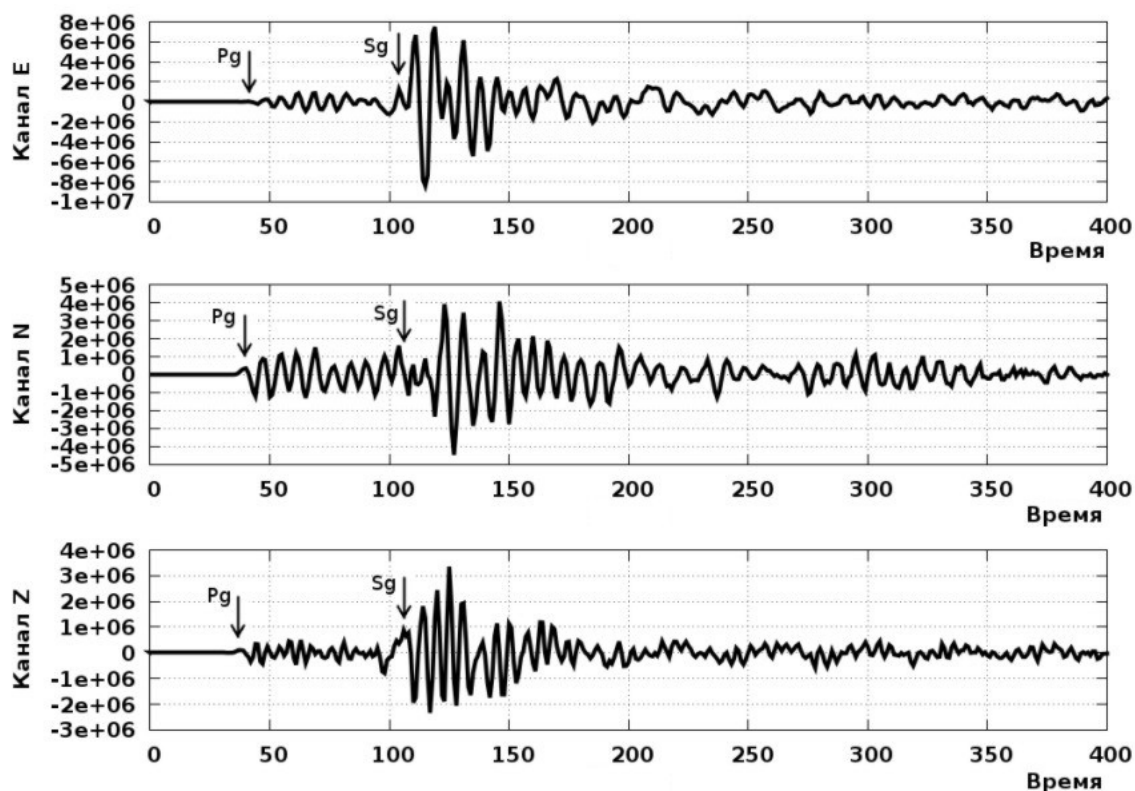


Рис. 4. Запись сейсмического события 23.06.2013 на станции «UK15»

Таблица 1

Данные UK15 [13] по сейсмическому событию в районе г. Кривой Рог

Время события	Координаты		Магнитуда	Глубина, метры
23-06-2013 21:16:33	48,04	33,42	4,6	≥ 2000

Таблица 2

Оперативные данные сейсмологических центров по землетрясению 23 июня 2013 г. [2]

t_0 , час. мин. сек.	φ° N	λ° E	h, км	Магнитуда	Центр данных
21 16 34,1	48,05	33,54	10	$ML=4,9$	BUC
21 16 35,2	48,05	33,37	14	$mb=4,5$	NEIC
21 16 34,0	48,19	33,43	10	$ML=4,5$	GFZ
21 16 33,0	48,08	33,50	10	$mb=4,5$	AKASG
21 16 33,0	48,12	33,45	2	$mb=4,6$	INFO
21 16 32,8	48,01	33,37	15	$mb=4,7$	GSRC
21 16 33,5	48,20	33,60	20	$ML=5,0$	BGSG
среднее значение: 21 16 33,67	48,10	33,47	11,6	$mb=4,6$ $ML=4,8$	

Из-за сосредоточенности сейсмических станций [2] сети Главного центра специального контроля (ГЦСК) относительно эпицентра землетрясения в узком интервале расстояний (435 – 520 км) и в небольшом диапазоне сектора азимутов (от 280 до 3150 км), авторами для окончательного решения вопроса о его природе и установлении механизма очага продолжается сбор записей землетрясения 23 июня 2013 г. по станциям, расположенным на разных расстояниях и в разных азимутах.

По результатам анализа знаков первого вступления [3] специалистами Геофизической службы РАН и

отдела сейсмической опасности Института геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины было установлено, что из 28 сейсмических станций, расположенных равномерно по азимутам относительно эпицентра землетрясения 23.06.2013 г., Р-волны на 8 станциях зарегистрированы как волны сжатия, а на 20 – растяжения. Зафиксированное по данным мировых сейсмологических центров и с места расположения сейсмической станции UK15 развитие механизма очага показало, что и это землетрясение (как и предыдущее, 25.12.2007 г.) произошло под действием близгоризонтальных сжимающих напряжений, с их

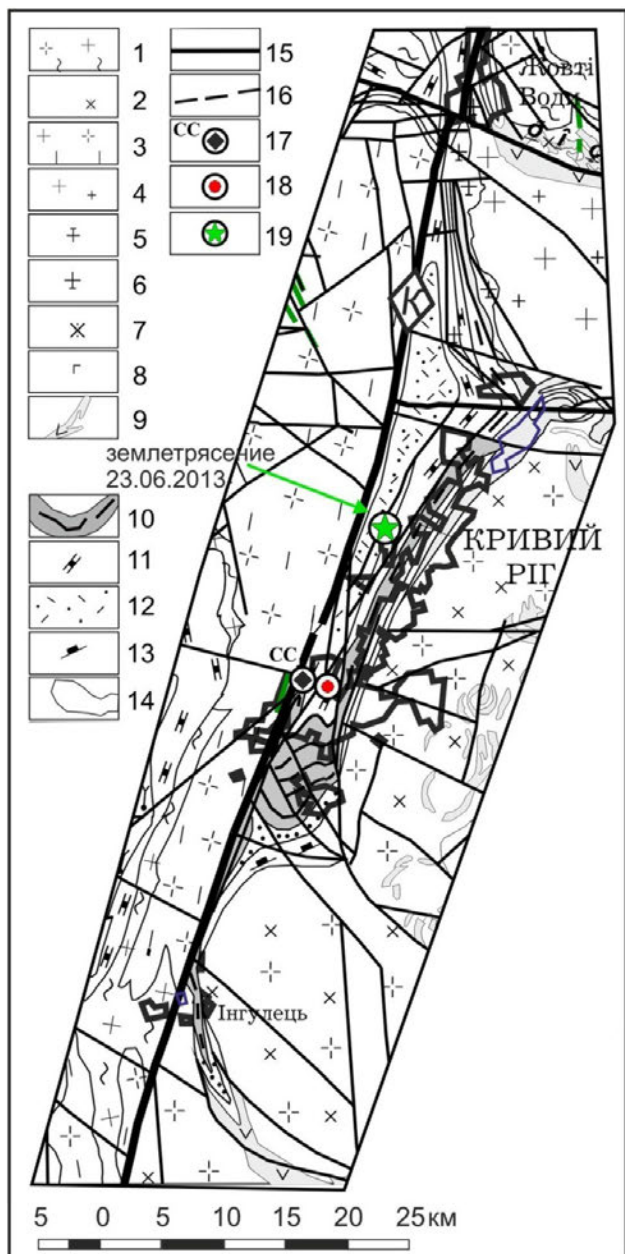


Рис. 5. Фрагмент геолого-формационной карты (по материалам Кичурчака В.М., Пигулевского П.И., 2003) строения Криворожского железорудного бассейна с эпицентром землетрясения 23.06.2013 г. К (буква в ромбе) – Криворожско-Кременчугский глубинный разлом; 1 – граниты и мигматиты биотитовые, амфибол-биотитовые порфиробластические; 2 – диафторированные гранулиты; 3 – плагиограниты и плагиомигматиты, диориты; кварцевые диориты; 4 – аплито-пегматойдные граниты, граниты биотитовые, амфибол-биотитовые порфиробластические, плагиомигматиты биотитовые, амфибол-биотитовые; 5 – граниты биотитовые порфиробластические, мезо- та меланократовые ортитвмещающие; 6 – граниты аплито-пегматойдные, граниты биотитовые, амфибол-биотитовые, равномернозернистые и порфиробластические; 7 – диориты, кварцевые диориты; 8 – габброиды; 9 – амфиболиты и сланцы плагиоклаз-амфибол-хлоритовые, плагиоклаз-амфибол-овые гранатсодержащие, актинолититы, силикатно-магнетитовые кварциты; 10 – железистые кварциты, кварциты силикатно-магнетитовые, богатые железные руды; 11 – метапесчаники, кварциты, сланцы слюдиристо-хлоритовые, мраморы, кальцифиры, офикальциты, гнейсы та сланцы биотитовые, гранат-биотитовые, слюдиристо-графитовые, линзы железистых

кварцитов; 12 – метапесчаники, метаконгломераты, метаалевролиты, сланцы слюдистые; 13 – гнейсы амфиболовые, биотитовые, гранат-биотитовые, амфиболиты, амфиболовые сланцы; 14 – литологические границы; 15 – разломы разных рангов, установленные по материалам бурения; 16 – разломы, предполагаемые по МТЗ-данным и результатам моделирования гравитационного поля; 17 – месторасположение сейсмологической станции UK-15 «Кривой Рог»; 18 – месторасположение скважины гидрогеодинамического мониторинга; 19 – расположение эпицентра Криворожского землетрясения.

ориентацией близкой до субмеридионального направления ($AZ = 28^\circ$).

Эти предположения подтверждают и данные гидрогеодинамического мониторинга, который с декабря 2007 г. проводит ДГЭ «Днепрогеофизика» [14], в расположенной в г. Кривой Рог (рис. 6, 7) скважине глубиной 815 м. Интерпретация его записей позволяет уточнить периоды времени сжатия и растяжения.

Следует отметить, что перед землетрясением 23 июня 2013 г. взрывов с $mb \geq 3,0$ [2, 7] зарегистрировано не было. Значения глубины очага по данным разных центров отвечают интервалу от 2 до 20 км, что позволило ряду исследователей сделать предположение, что на территории Кривбасса верхний слой земной коры до глубины 20 км находится в нестабильном состоянии, которое возникает в следствие мощных взрывов в шахтах, выемки и перемещения большого количества геологического материала, проводящихся здесь с XIX столетия.

Выводы

В результате выполненных первых шагов, обеспечивающих комплексный непрерывный режимный мониторинг сейсмологических событий и изменений поведения гидрогеодеформационного поля в глубокой скважине, были получены новые данные инструментальных наблюдений за сейсмическими проявлениями на территории Кривбасса.

Совместный анализ полученного механизма очага землетрясения 23.06.2013 г. [3] и гидрогеодеформационных наблюдений показывает, что он произошел под действием близгоризонтальных сжимающих напряжений субмеридиональной ориентации ($AZ = 28^\circ$).

Результаты сейсмической обработки местных землетрясений, которые за последнее десятилетие произошли в пределах Кривбасса и ЗИККШЗ в целом, показывают, что платформенная часть территории Украины стала более сейсмоактивной. В первую очередь, они участились в местах сосредоточения интенсивной добычи и переработки полезных ископаемых. В сложившихся горно-геологических условиях необходимость оборудования пунктов наблюдений за сейсмической активностью самого большого в Европе горнодобывающего центра является актуальной задачей обеспечения экологической и техногенной безопасности как города Кривой Рог, так и прилегающих регионов России.

Создание локальных пунктов для регистрации местных землетрясений с использованием специальных датчиков гидрогеодеформационных наблюдений

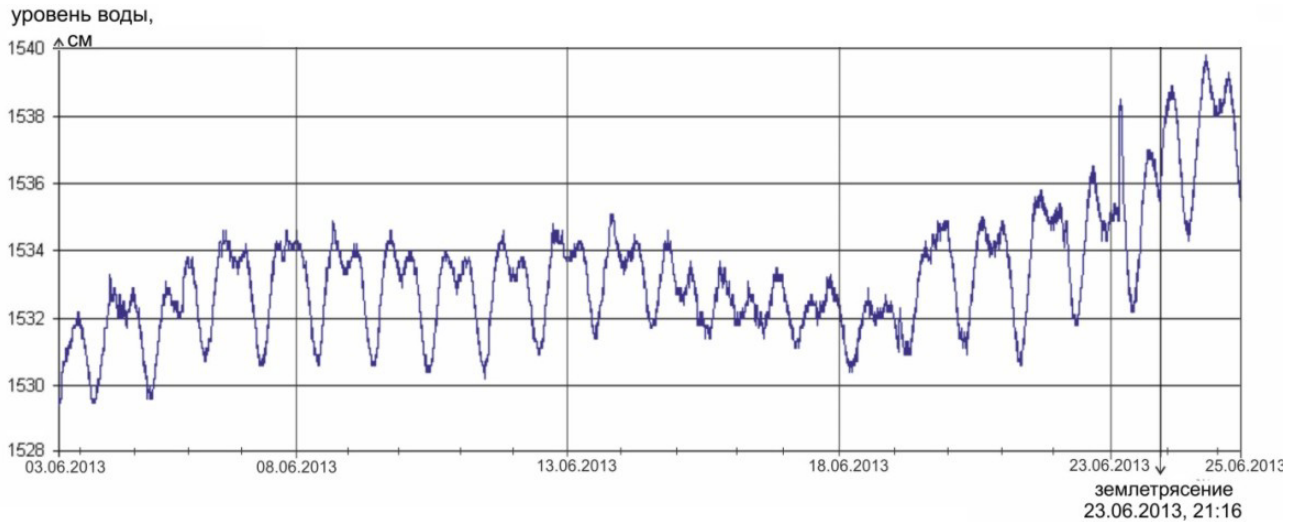


Рис. 6. Запись наблюдения вариаций гидрогеодеформационного поля в скважине Кривого Рога с 3 по 26 июня 2013 г.

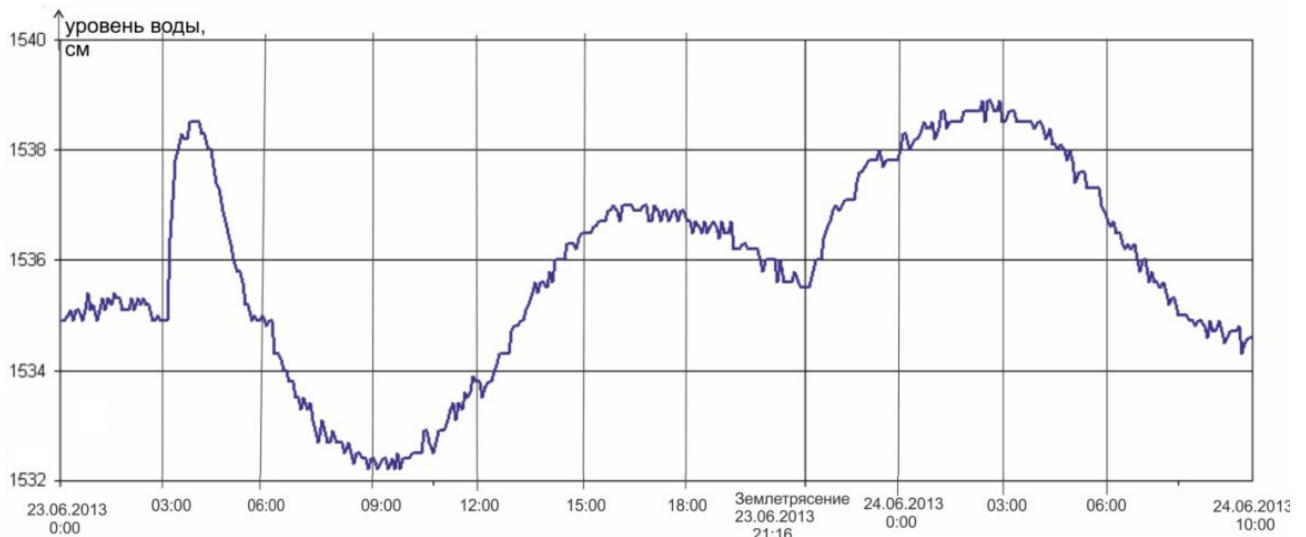


Рис. 7. Детализация записи наблюдений вариаций гидрогеодеформационного поля в скважине Кривого Рога за 23 и 24 (частично) июня 2013 г. (UTC)

и сейсмологической аппаратуры, с включением их измерений в единый межнациональный центр в режиме он-лайн, позволит в значительной мере совершенствовать кратковременный прогноз возможных катастрофических явлений естественного и техногенного характера и обеспечит необходимой информацией проектировщиков сейсмостойких сооружений для Украины и европейской части России.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андрущенко, Ю.А. Слабые землетрясения и промышленные взрывы, зарегистрированные на Восточно-Европейской платформе в пределах территории Украины 2005–2010 гг. / Ю.А. Андрущенко, В.В. Кутас, А.В. Кендзера, В.Д. Омельченко // Геофиз. журн. – 2012. – 34, № 3. – С. 49 – 60.
2. Андрущенко, Ю.А. Локальные землетрясения на Украинском щите / Ю.А. Андрущенко, В.В. Кутас, В.Д. Омельченко, И.А. Калитова // Геофиз. журн. – 2013. – 35, № 6. – С. 116 – 129.
3. Габсатарова, И.П. Новое сейсмическое событие в Криворожье и механизм его очага / И.П. Габсатарова, А.В. Кендзера, Л.И. Надежка, П.И. Пигулевский [и др.] //

Вестник Воронеж. гос. ун-та. Сер.: Геология. – 2013. – № 2. – С.134–140.

4. Пигулевский, П.И. Криворожское землетрясение 23 июня 2013 года / П.И. Пигулевский, С.В. Щербина, И.Ю. Гурова, В.К. Свистун // Геодинамика. – 2013. – 1(13). – С.283–285.
5. Кутас, В.В. Криворожское землетрясение 25 декабря 2007 г. / В.В. Кутас, В.Д. Омельченко, Г.М. Дрогичкая, И.А. Калитова // Геофиз. журн. – 2009. – 31, № 1. – С. 42–52.
6. Пустовитенко, Б. Г. Инструментальные и макросейсмические данные о процессах в очаговой зоне Криворожского землетрясения 25 декабря 2007 г. // Геофизический журнал. – 2010. – 32. – № 2. – С. 75–97.
7. Кендзера, А.В. 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 др.] // Геодинамика. – 2012. – № 1 (12). – С. 114–119.
8. Пигулевский, П. И. К вопросу геолого-геофизического изучения сейсмической активности юго-востока Украинского щита / П.И. Пигулевский, Н.А. Козарь, О.К. Тяпкин // Науковий вісник НГУ – 2000. – № 6. – С. 70–75.
9. Пигулевский, П.И. О тектоническом строении, геодинамических и сейсмологических особенностях Кривбасса / П.И. Пигулевский, В.К. Свистун, С.В. Щербина // Екологія і

природокористування: Зб. наук. праць ІППЕ НАНУ. – 2013. – вип.17. – С.37–46.
10. *Азаров, Н.Я.* Геолого-геофизическая модель Криворожско-Кременчугской шовной зоны Украинского щита / Н.Я. Азаров, А.В. Анциферов, Е.М. Шеремет [и др.] – К.: Наук. думка, 2006. – 196 с.
11. *Щербина, С.В.* Регистрация и анализ техногенных и природных сейсмических событий в г. Кривой Рог / С.В. Щербина, П.И. Пигулевский, И.Ю. Гурова, О.А. Калининченко // Геоинформатика. – 2013. – № 4(48). – С.74–84.

12. Карта техногенних землетрусів Кривого Рогу [Електронний ресурс]. URL: http://www.seismo.kiev.ua/GoogleMap/KrivoRig/GoogleMapForKrivoRigExpl2012_02b.html
13. Список техногенних землетрусів Кривого Рогу [Електронний ресурс]. URL: <http://www.seismo.kiev.ua/KrivoRig/KrivoRigExpl02b.html>
14. *Пигулевский, П.И.* Некоторые результаты автоматизированного мониторинга режима подземных вод асейсмичных территорий (на примере Днепропетровской области) / П.И. Пигулевский, В.К.Свистун // Минеральные ресурсы Украины. – 2011. – № 2. – С.42–47.

Институт геофизики НАН Украины, Киев

Пигулевский П. И., доктор геологических наук, старший научный сотрудник
E-mail: pigulev@ua.fm
Тел.: +380-444-23-81-43
Щербина С. В., кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник
E-mail: shchrbina@ukr.net
Тел.: +38-044-424-29-44

Днепропетровская геофизическая экспедиция «Днепрогеофизика», Днепропетровск, Украина,

Свистун В. К., начальник экспедиции
E-mail: dpge@ukr.net
Тел.: +380-567-63-59-68

Institute of Geophysics National Academy of Sciences of Ukraine

Pigulevskiy P. I., the Doctor of Geological Sciences, senior researcher
E-mail: pigulev@ua.fm; Tel.: +380-444-23-81-43
Shcherbina S. V., Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior Researcher
E-mail: shchrbina@ukr.net
Tel.: + 38-044-424-29-44

Dnepropetrovsk geophysical expedition «Dneprogeophysika», Dnepropetrovsk, Ukraine,

Svistun V. K., Head of expedition
E-mail: dpge@ukr.net
Tel.: +380-567-63-59-68