



А. Ф. Булат /д. т. н./, М. С. Четверик /д. т. н./,
Е. А. Бубнова /к. т. н./, Е. С. Левченко

Институт геотехнической механики
им. Н. С. Полякова НАН Украины,
г. Днепро, Украина

Проблемы и перспективы использования нарушенных открытыми и подземными разработками геологических сред

A. F. Bulat /Dr. Sci. (Tech.)/,
M. S. Chetverik /Dr. Sci. (Tech.)/,
Ye. A. Bubnova /Cand. Sci. (Tech.)/,
Ye. S. Levchenko

N. S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics
under the NAS of Ukraine, Dnipro, Ukraine

Problems and prospects of use of geological environment, which disturbed by mining

Целью. Обоснование направлений использования техногенных и нарушенных геологических сред при окончании добычи полезных ископаемых с открытой и подземной разработкой месторождений.

Методика. Путем установления взаимосвязи социальных, климатических и геомеханических факторов региона с параметрами, свойствами техногенных и нарушенных открытой и подземной разработкой геологических сред при окончании добычи полезных ископаемых определены направления их использования.

Результаты. Выполнен анализ проектов создания жилых, туристических, оздоровительных комплексов в отработанных карьерах за рубежом. Рассмотрены социальные, геомеханические, климатические проблемы при создании в пространствах отработанных карьеров населенных пунктов и городов. Изложены результаты работ ИГТМ НАН Украины по использованию нарушенных горнодобывающей деятельностью массивов.

Научная новизна. Впервые показана необходимость использования техногенных и нарушенных геологических сред при открытой и подземной разработке месторождений во взаимосвязи с социальными, геомеханическими, климатическими факторами региона и техногенных и нарушенных геологических сред.

Практическая значимость. Приведены краткие результаты разработанных проектов по рекультивации нарушенных горнодобывающей деятельностью массивов, которые могут служить основой для проектирования в других карьерах. (Ил. 6. Библиогр: 5 назв.)

Ключевые слова: открытая разработка, микроклимат карьера, техногенные и нарушенные геологические среды, рекультивация, восстановление свойств.

Введение. В процессе добычи полезных ископаемых открытым способом на поверхности земли образуются выемки различных размеров: длиной от 1,5 до 8 км, шириной от 0,4 до 1,5–2,0 км. В то же время под гражданское строительство, а также для создания промышленных объектов используют земли очень часто сельскохозяйственного назначения. Это приводит к сокращению земель для производства продовольствия. Особенно остро стоит эта проблема в странах с быстро растущим количеством населения (например, Китай) или с развитой горнодобывающей отраслью, где существенно нарушены земли с образованием техногенных и нарушенных геологических сред (Украина). В этой связи в мире широко развивается направление по использованию пространств отрабо-

ванных карьеров для создания в них городов, промышленно-хозяйственных, туристических, оздоровительных комплексов.

В Институте геотехнической механики им. Н. С. Полякова НАН Украины на протяжении длительного периода выполняются исследования по созданию различных объектов в пространствах отработанных карьеров, на нарушенных и техногенных геологических средах. Особенностью этих разработок является то, что *сооружение объектов предусматривается осуществляться в период доработки карьера*, выполняя в период добычи необходимые горнокапитальные работы. Использование мощной горной техники и создание объектов одновременно с добычей полезного ископаемого, позволяет существенно снизить стоимость их сооружения.

1. Проекты создания жилых, туристических, оздоровительных комплексов в отработанных карьерах за рубежом

Ниже приведены проекты создания жилых, туристических, оздоровительных комплексов в отработанных карьерах за рубежом, приведенные на интернет-сайтах свободного доступа (рис. 1).

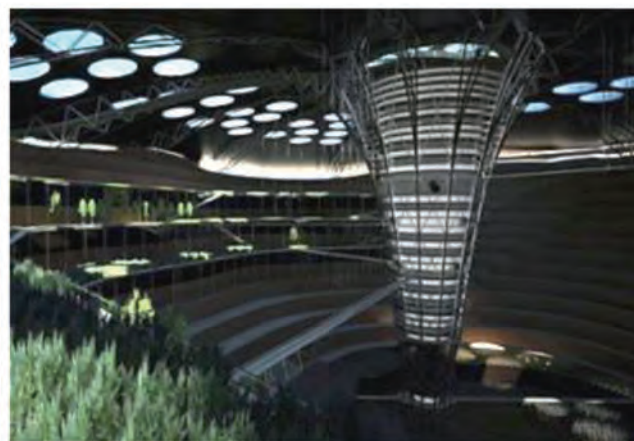
Строительство отеля Songjiang Beauty Spot Hotel в Китае (рис. 1а). Для строительства отеля принят отработанный частично затопленный гранитный карьер глубиной 100 м, расположенный у подножия горы Тяньменьшань. Проектом, выполненным британской компанией Atkins, предусмотрено строительство отеля (из 19 этажей отеля два будут расположены ниже уровня воды, крыша – озеленена), спортивно-досугового комплекса и искусственного 60-метрового застекленного водопада, который расположится по центру комплекса и вода с которого, падая с вершины карьера вниз, будет поступать в озеро. Для обогрева и питания электричеством будет использоваться геотермальное тепло карьера.

Подземный город Above Below в отработанном карьере в США (рис. 1б). Для строительства принят заброшенный карьер *Lavender Pit Mine* глубиной 275 м, расположенный около г. Бисби (США, штат Аризона). Проект разработан архитектором Мэтью Фромболути. По проекту карьер накрыт крышей с большим количеством прозрачных элементов для лучшего натурального освещения внутренней части подземного города. Уступы карьера и их поверхность служат стенами для жилых и офисных помещений комплекса. Внутри карьера также предусматривается расположить сады, парки, огороды, озеро. Электроэнергию этот подземный комплекс будет получать от солнечных батарей и ветряных турбин, установленных над поверхностью земли.

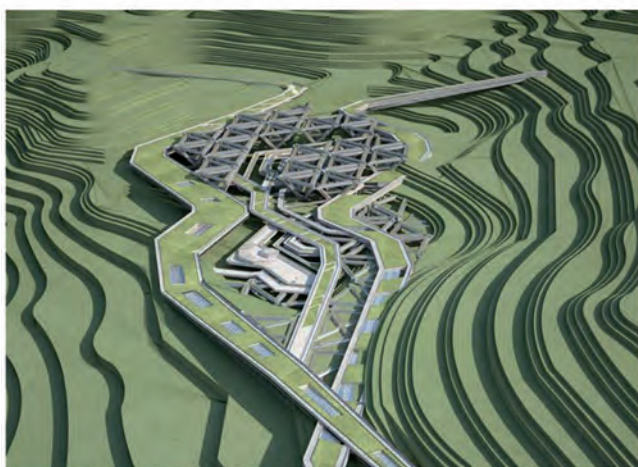
Экогород в отработанном карьере Зангезурского комбината в городе Ереване (рис. 1в). Город запроектирован на месте отработанного карьера одного из крупнейших медно-либденовых месторождений в мире с целью предотвращения миграции населения из-за за-



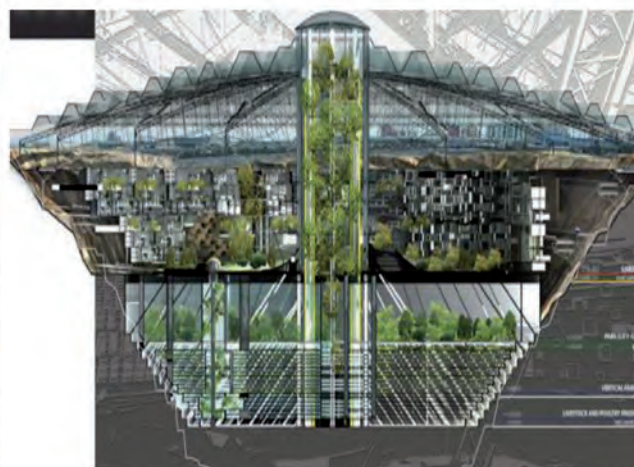
а)



б)



в)



г)

Рис. 1. Наиболее известные проекты использования пространств отработанных карьеров:

- а) проект отеля в отработанном гранитном карьере в Китае; б) проект создания жилого комплекса Above Below в США; в) экогород в отработанном карьере Зангезурского комбината в Армении; г) «Экогород 2020» в карьерах «Удачный» и «Мир»

грязнения окружающей среды. Внутри карьера предусмотрено создать селитебную, общественную, промышленную, сельскохозяйственную, научно-исследовательскую и зеленую зоны. Жилые кварталы запроектированы в виде тэтраэдров, объекты приподняты над землей для максимального озеленения территории.

«Экогород 2020» в карьерах «Удачный» и «Мир» (рис. 1г). Месторождение алмазов – кимберлитовая трубка и карьер «Удачный» расположены на севере Якутии в 20 километрах от северного полярного круга. Алмазную руду добывают открытым способом с 1982 г. Карьер достиг отметки 585 м (диаметр около 1000 м) и стал одним из крупнейших карьеров в мире. Кимберлитовая трубка «Мир» обрабатывалась 44 года (с 1957 г.). Карьер достиг параметров: диаметр около километра и глубина 550 м. После окончания разработок население стало уезжать из города.

Цель проекта – создать центр притяжения населения, а также международных туристов в Восточную Сибирь. Проект разработан архитектурным бюро «АБ Элис». Проектом предлагается перекрыть карьер светопрозрачным куполом с вмонтированными в него солнечными панелями. За счёт положительной температуры земли в образовавшемся объёме климат будет мягче, чем вне купола. Внутри карьер предлагается разделить на три уровня: нижний – для выращивания сельхозпродукции; средний – зона озеленения для насыщения города кислородом; верхний – селитебная и культурно-досуговая зоны.

2. Социальные, геомеханические, климатические проблемы при создании в пространствах отработанных карьеров населенных пунктов и городов

При разработке крутопадающих месторождений открытым способом образуются, главным образом, три объекта в виде нарушенных и техногенных геологических сред: карьер, внешние отвалы вскрышных пород и хвостохранилища (при применении обогащения). Причем отвалы вскрышных пород и хвостохранилища, как правило, занимают большие площади, чем непосредственно карьер.

Несмотря на привлекательность и инженерную оригинальность проектов создания в карьерах городов, следует отметить некоторые недостатки этого направления.

1. Для получения конечного продукта из добытого полезного ископаемого на крупных горнодобывающих предприятиях заняты тысячи, а иногда и десятки тысяч трудящихся. При этом они обеспечены жильем, созданы поселки и города, сооружена соответствующая инфра-

структура вокруг предприятия. При закрытии горнодобывающего предприятия ликвидируются рабочие места, люди лишаются работы и высокого заработка, из-за которого они приехали, например, в Сибирь. Поэтому главной целью создания объекта в карьере должно быть не обеспечение жильем (которое есть), создание развлекательных центров (что целесообразно делать в курортной зоне), а создание производств (желательно требующих труда высокой квалификации), *обеспечивающих высокую занятость освобождающегося трудоспособного населения.*

2. С точки зрения геомеханики, карьер большой глубины и протяженности, представляет сложнейшую неуравновешенную систему, в которой присутствуют различные виды природных сил. Эти силы проявляются в деформационных процессах в массиве, которые развиваются во времени с различной скоростью. Особенно это опасно для карьеров Якутии, где верхний слой почвы представлен вечной мерзлотой. Наличие города в карьере неизбежно приведет к повышению температуры окружающего массива, таянию вечной мерзлоты, а следовательно, и к *оползневым процессам.* На устойчивое состояние бортов и уступов карьера влияют подземные и поверхностные воды, направление их движения.

3. При создании объекта в карьере необходимо учитывать, что ему присущ особый микроклимат: отсутствие ветра, неравномерный нагрев бортов карьера солнцем, из-за чего они имеют различную температуру, неодинаковое выветривание в связи с различными типами обнаженных горных пород в бортах карьера. С нашей точки зрения, недопустимо сооружать «крышу» над карьером: отсутствие взаимосвязи атмосферы карьера, прекрытого крышей, с природной атмосферой не изучено, к тому же накопление различного вида атмосферных осадков на крыше будет непрерывно подвергать ее деформациям и разрушениям.

4. Следует остановиться на таком важном природном факторе, как подземные воды, которые в изобилии поступают в карьеры. Их минерализация колеблется от 30 до 90 г/л. В большинстве случаев они имеют различный состав не только по месторождениям, но и по водоносным горизонтам в карьере. Так, в условиях железорудных месторождений Кривого Рога на отдельных шахтах и карьерах присутствуют радоновые воды, с наличием газа радона. Их можно было бы использовать в лечебных целях. На месторождениях алмазов в Якутии в подземных водах присутствует большое количество сернистых соединений.

Приведенные замечания не направлены на полное отрицание рассмотренных проектов, а только показывают необходимость более глубокого изучения природных процессов и социальных аспектов при сооружении того или иного объекта в карьере.

3. Проекты создания промышленных, туристических и оздоровительных комплексов на нарушенных геологических средах, выполненные в Институте геотехнической механики им. Н. С. Полякова НАН Украины

Требования к хозяйственным комплексам, размещаемым в техногенных и нарушенных геологических средах. Техногенные и нарушенные горнодобывающей деятельностью геологические среды могут быть использованы в различных направлениях. Наиболее целесообразно использовать их для создания производств, что, с одной стороны, обеспечит высокую занятость высвобождающегося трудоспособного населения, с другой – решит проблемы с производством продовольствия, обеспечения пресной водой, энергетического обеспечения и пр.

Разработан ряд классификаций объектов, которые могут быть размещены на нарушенных горнодобывающей деятельностью массивах [1–2]. Одним из важнейших вопросов, который необходимо учитывать при создании хозяйственных комплексов на техногенных и нарушенных геологических массивах, является их глубокое инженерно-геологическое и геологическое обоснование. Особенно это касается Криворожско-Кременчугского разлома (рис. 2), а также техногенных сред Криворожского бассейна, в котором за последние 20 лет произошло 9 техногенных землетрясений, магнитуда которых каждый раз увеличивается.

Проект рекультивации Кадыковского карьера (Крым, Балаклава). В ИГТМ НАНУ выполнена НИР по рекультивации Кадыковского карьера (автор проекта – инженер Е. А. Ворон), в рамках которой определен срок эксплуатации карьера, изучены физико-механические свойства и особенности горного массива и вмещающих пород, микроклимат в карьере, система разработки и технология ведения горных работ. На основе проведенного анализа комплекса эскизных и рабочих чертежей, действующих нормативов и требований Государственных стандартов и строительных норм Украины принято в пространстве Кадыковского карье-

ра создать туристическо-оздоровительную зону «Феодора» с размещением объектов-комплексов по климатическим зонам с учетом микроклимата карьера (рис. 3).

Особенность проекта заключается в том, что сооружение промышленно-хозяйственных комплексов производится в процессе доработки карьера, что при наличии мощной горной техники существенно снижает затраты на их создание.

Использование пространств отработанных карьеров для создания гидроаккумулирующих электростанций. Одним из направлений использования пространств отработанных карьеров является создание в них гидроаккумулирующих электростанций [3]. При этом разделяют карьер на участки с обеспечением максимальных перепадов по высоте (рис. 4). Участки разделяют перемычкой, на которой сооружают гидротурбину и водоотливную установку. После полного заполнения в ночное время водой верхнего участка карьера водоотливной установкой, в дневное время в час пик включают в работу гидротурбину для выработки электроэнергии.

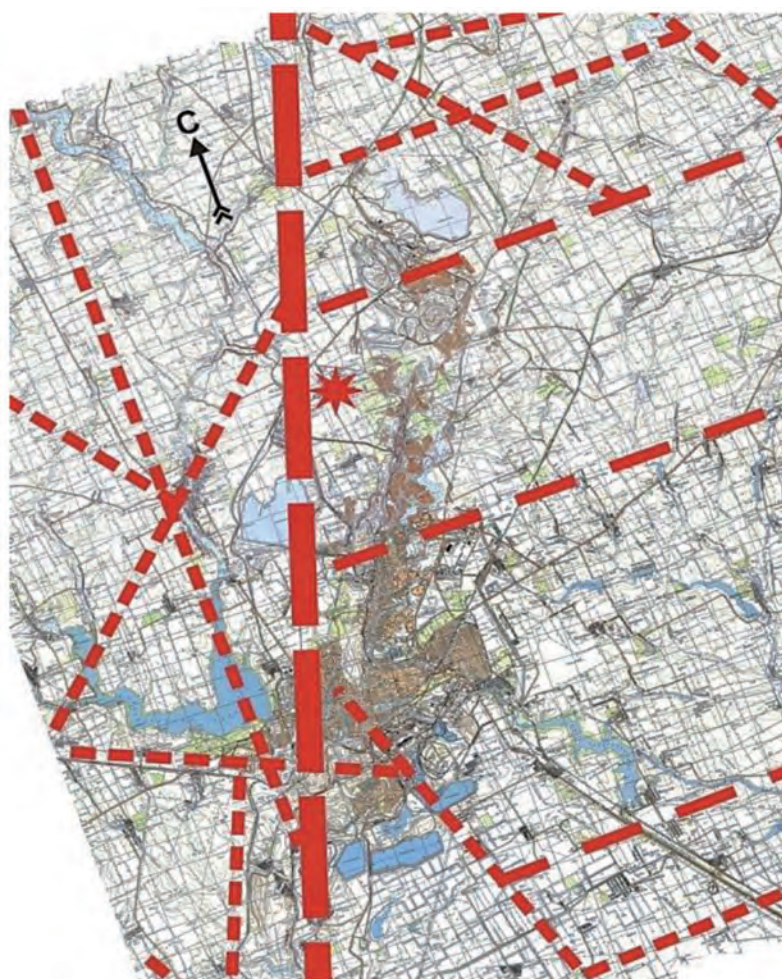


Рис. 2. Криворожско-Кременчугский глубинный разлом и геологические нарушения второго рода (по Л. В. Феськовой)

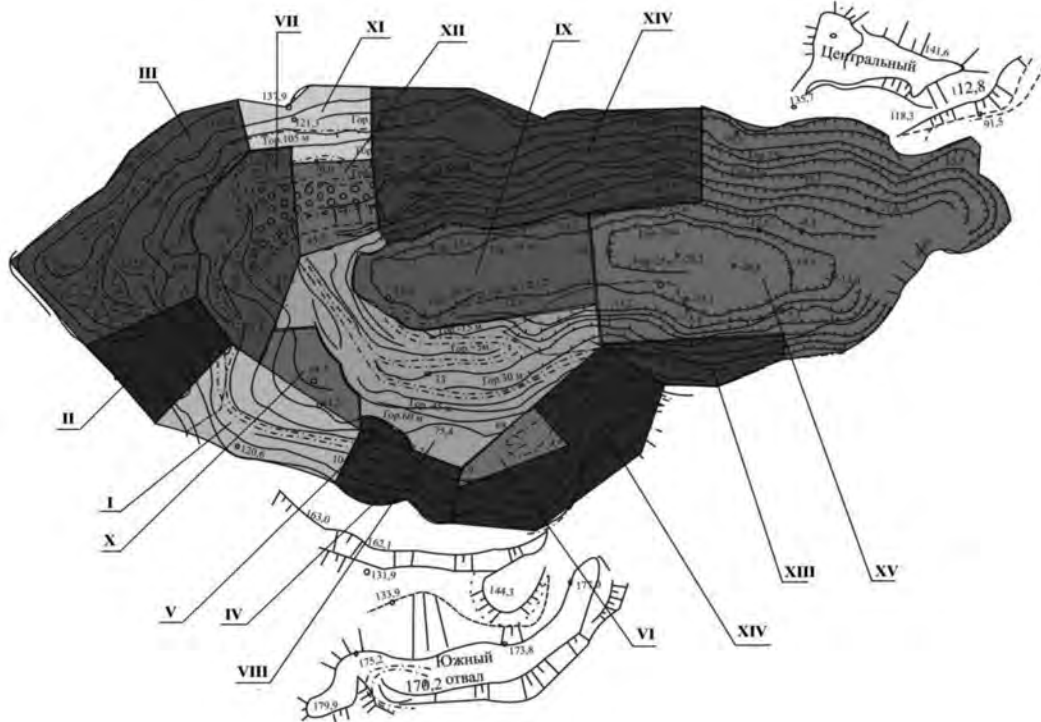


Рис. 3. План размещения объектов туристическо-оздоровительной зоны «Феодора» в выработанном пространстве Кадыковского карьера ЗАО «Балаклавское рудоуправление»:

I – гостиничный комплекс «Балаклавские зори»; II – комплекс помещений административного назначения; III – территория автостоянки; IV – фитнес-клуб «Феодора»; V – павильоны с минеральной водой; VI – музей виноделия Крыма и Молдавии; VII – спортивный комплекс; VIII – парковая зона с велотреками; IX – водоем пресной воды; X – аттракционы с игровыми автоматами; XI – территория расположения энергетических солнечно-ветровых установок; XII – тепличный комплекс; XIII – территория размещения биогазовой установки; XIV – территория проведения биологической рекультивации; XV – территория шламохранилища с дальнейшей ее горнотехнической и биологической рекультивацией

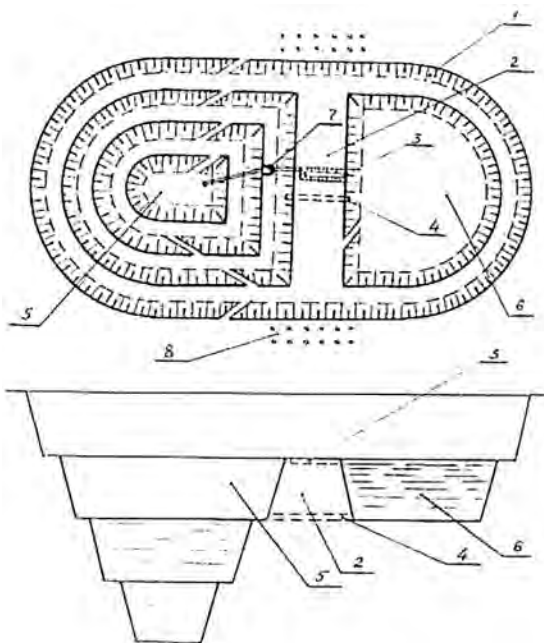


Рис. 4. Гидроаккумулирующая электростанция в карьере:

1 – карьер; 2 – перемычка; 3 – тупиковая траншея – канал; 4 – сквозной тоннель; 5,6 – нижний и верхний участки карьера с водоемами; 7 – водоотливная установка; 8 – блок со скважинами для вышоплаживания уступа

Для создания гидроаккумулирующей электростанции по горнотехническим условиям наиболее соответствует Анновский карьер Сев-ГОК, отрабатывающий вытянутую (около 8 км) крутопадающую залежь неокисленных железистых кварцитов сложного строения и качества руды. На карьере применяют комплекс циклично-поточной технологии (ЦПТ). Конвейерный тракт расположен на временно нерабочем борту карьера. При понижении горных работ под конвейерным подъемником и перегрузочными пунктами образовался целик. Он законсервировал часть запасов руды и разделил карьер на два участка: северный и южный. На южном участке залежь руды большей мощности. Горные работы производят при глубине карьера 350–380 м, а граничная может быть около 450–500 м, которой достигнут через 10–15 лет. Глубина карьера северного участка будет составлять около 200 м. Таким образом, будет создан перепад высот около 180 м. Такой перепад высот может обеспечить высокую мощность электростанции.

Возможность размещения в Артемовском карьере отходов при опреснении минерализованных шахтных и карьерных вод. Одним из направлений использования пространств отра-

ботанных карьеров является создание водоемов пресной воды или захоронения в них рассолов, образованных при очистке высокоминерализованных шахтных вод.

При добыче железных руд в Кривом Роге из недр ежегодно извлекают около 41 млн м³ минерализованной воды, с минерализацией в среднем до 30 г/л. При деминерализации этой воды необходимо расходовать, в зависимости от минерализации, 0,15–0,25 кВт/м³ энергии и закладеировать от 1,5 до 2,0 млн т солей.

Для этих целей может быть использован Артемовский карьер (рис. 5).

Проект рекультивации провальной воронки в городе Желтые Воды и создания на ее площади рекреационной территории «Спортивно-оздоровительный комплекс “Казацкая слава”». Разработка Желтореченского месторождения осуществлялась открытым и подземным способом. В результате сдвижения массива, обусловленного подземной разработкой, произошло обрушение горных пород на месте погашенного Михайловского карьера с образованием на земной поверхности воронки обрушения значительных размеров. Воронка обрушения расположена в пределах долины реки Желтая на расстоянии 0,3–0,5 км, территория которой до обрушения являлась областью питания реки. Глубина воронки – 120 м, площадь – 25,7 га. Минимальная абсолютная отметка дна – минус 10,0 м, а поверхности – 110 м. Воронка представляет большую опасность, поскольку находится в пределах городской черты Желтых Вод. Зона сдвижения массива горных пород охватила часть улиц. Отсутствие воды в воронке свидетельствует о ее гидравлической связи с подземными выработками.

Необходимость рекультивации провальной воронки обусловлена катастрофическими последствиями, которые могут произойти при окончании добычи руды в связи со следующими факторами:

а) породы, залегающие вблизи воронки и прилегающей территории, подвергаются процессам выщелачивания. В результате выщелачивания карбонатной составляющей указанных пород происходит карстообразование. Поэтому нельзя допускать заполнения воронки водой, а существующий огромный сток в воронку может привести к таким же негативным результатам;

б) открытая гидравлическая связь между поверхностными водами, которые поступают в воронку, и подземными шахтными водами окажет существенные негативные экологические последствия в будущем – после закрытия шахты она будет затоплена, что приведет к ликвидации существующей депрессионной воронки, под-



Рис. 5. Фото состояния Артемовского карьера

нятию уровня подземных вод и образованию поверхностного водоема в пределах провальной воронки (на площади 25,7 га глубиной свыше 100 м провальная воронка будет заполнена водой). Движение вод от провальной воронки будет направлено в сторону реки Желтая. Это приведет к подтоплению большой близлежащей к городу территории. Насыщение суглинков, (которые распространены повсеместно под застройками), водой приведет к просадкам грунта под сооружениями. Такое экологическое бедствие происходит при закрытии некоторых шахт в Донбассе.

Учитывая сложность объекта, по согласованию с ООО «Восток-Руда» в Институте геотехнической механики им. Н. С. Полякова НАН Украины выполнена научно-исследовательская работа по обоснованию необходимости рекультивации провальной воронки, разработки технических решений ее безопасной засыпки, создания техногенной геологической среды со свойствами, близкими к естественной. Суть технических решений заключается в следующем. Рекультивацию воронки рекомендуется осуществить в три этапа: первый – до отметки +95 м; второй и третий – до существующей поверхности с учетом рельефа местности. На восстановленной площади, на третьем этапе рекультивации предусматривается создать рекреационную территорию «Спортивно-оздоровительный комплекс “Казацкая слава”».

В работе предложена технология засыпки воронки отходами, которая обеспечивает экологическую безопасность работ. Кроме того, в процессе складирования предусматривается создание техногенной геологической среды со свойствами, близкими к естественной, в том числе создание искусственного водоносного горизонта [4] для питания реки Желтая; создание



Рис. 6. План размещения функциональных зон рекреационной территории «Спортивно-оздоровительный комплекс "Казацкая слава"»

в нарушенных породах корнями растений пористости, обеспечивающей накопление осенне-зимней влаги [5].

Выводы. Приведенные проекты свидетельствуют о возможности создания новых рабочих мест, обеспечения занятости населения при постепенной замене горнодобывающих предприятий, которые выбывают из эксплуатации, новыми видами производств. Это обеспечивается созданием на их месте промышленно-хозяйственных комплексов; восстановлением нарушенных земель не только путем рекультивации поверхности, а и воссозданием свойств в нарушенной среде, близких к природной инженерно-геологической.

Большая глубина карьеров, усложнение технологических комплексов, ухудшение экологической обстановки в регионах страны вызывает необходимость упорядочения и переработки существующих нормативных актов, действующих в системе управления природоохранной деятельности горнодобывающей отрасли, усовершенствования норм технологического проектирования горнодобывающих предприятий с внесением требований по проектированию, использованию пространств карьеров еще на стадии эксплуатации и доработки.

Библиографический список / References

1. Четверик М. С. Создание промышленно-хозяйственных комплексов в пространствах отработанных карьеров / М. С. Четверик, Е. А. Ворон // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2005. – № 1. – С. 89-92.
Chetverik, M. S. and Voron, Ye. A. (2005), "Creation of industrial and commercial complexes in the spaces of the waste pits", *Metallurgical and Mining Industry*, no.1, pp. 89-92.
2. Бубнова Е. А. Рекомендации по рекультивации и использованию накопителей отходов обогащения / Е. А. Бубнова, Е. А. Ворон // *Геотехнічна механіка: міжвід. зб. наук. праць; НАН України, Інститут геотехнічної механіки ім. М. С. Полякова*. – Дніпропетровськ, 2015. – Вип. 124. – С. 239-248.
Bubnova, Ye. A. and Voron, Ye. A. (2015), "The recommendations for the tailings storage use and reclamation", *Geo-Technical Mechanics*, no. 124, pp. 239-248.
3. Пат. № 22470 А UA, МПК E21C 41/00. Спосіб доробки кар'єру / М. С. Четверик, В. І. Косенко, В. І. Дерев'янюк; заявник і патентовласник ІТТМ НАН України. – u 9507 3414; заявл. 20.07.1995; опубл. 30.06.1998. Бюл. № 3. – 4 с.

Chetverik, M. S., Kosenko, V. I. and Derevyanko, V. I., Polyakov M. S. Institute of Geotechnical Mechanics under the NAS of Ukraine (1998), "Method for pit working-out", State Register of Patent of Ukraine, Kiev, UA, Pat. No. 22470 A.

4. Бубнова О. А. Відновлення властивостей порушених гірничими роботами земель / Е. А. Бубнова // Геотехническая механика: межвед. сб. научн. тр. – Днепропетровск, 2011. – № 94. – С. 17–23.

Bubnova, Ye. A. (2011), "Recovery soil properties are violated mining", *Geo-Technical Mechanics*, no. 94, pp. 17–23.

5. Ворон Е. А. Свойства создаваемой почвы при послойной горнотехнической и биологической рекультивации / Е. А. Ворон // Науковий вісник Національного гірничого університету. – Дніпропетровськ: НГУ, 2010. – № 5. – С. 23–28.

Voron, Ye. A. (2010), "Properties of soil created with layered mine technical and biological reclamation", *Scientific Bulletin of National Mining University*, no. 5, pp. 23–28.

Purpose is to study the use of man-made areas and disturbed geological environments at the end of mining operations with open and underground mining.

Methodology. By establishing a relationship of social, climatic and geomechanical factors of the region with the parameters, properties of man-made and broken open and underground development of geological environments at the end of mining operations determined by the direction of their use.

Findings. The analysis of the creation of housing projects, tourism, recreation complexes in quarries abroad are considered social, geo-mechanical, climatic problems in creating spaces in waste quarry towns and cities. The results of the work IGTM NAS of Ukraine on the use of arrays of disturbed mining activities are given.

Originality. The first displayed the necessity of the use of technogenic and disturbed by mining geological media in conjunction to social, geomechanical, climatic factors and industrial region and technogenic and disturbed geological environments.

Practical value. Brief results of reclamation projects developed by mining activities damaged arrays, which can serve as a basis for designing other quarry are given.

Key words: open-pit mining, climate of quarry, technogenic and disturbed geological environments, recultivation, rehabilitation of properties.

Рекомендована к публикации
д. т. н. М. С. Четвериком

Поступила 18.11.2016



УДК [339+613.31-032.25+621.3]:622.3

Производство

М. С. Четверик /д. т. н./

Институт геотехнической механики
им. Н. С. Полякова Национальной академии
наук Украины, г. Днипро, Украина
e-mail: chetverik.mihail@inbox.ru

Проблемы обеспечения населения продовольствием, пресной водой, электроэнергией и их взаимосвязь с добычей полезных ископаемых

M. S. Chetverik /Dr. Sci. (Tech.)/

Institute of Geotechnical Mechanics N. S. Polyakov
NAS Ukraine, Dnipro, Ukraine
e-mail: chetverik.mihail@inbox.ru

The problems of providing the population with food, fresh water, electricity and their relationship with mining

Цель. Определение перспективных направлений развития горнодобывающей промышленности Украины на основе установленной взаимосвязи между обеспечением населения продовольствием, пресной водой, электроэнергией и добычей полезных ископаемых.

Результаты. На основе теории смены энергетических систем мира во времени установлено волно-вое развитие экономики и определены периоды ее подъема и спада, что позволило установить законо-