

УДК [622.271:502.53.004.67].06

Четверик М.С., д-р техн. наук, профессор,
Малеев Е.В., аспирант
(ИГТМ им. Н.С. Полякова НАН Украины)

ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ МЕЗОРЕЛЬЕФА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ОТВАЛООБРАЗОВАТЕЛЯ-МЕТАТЕЛЯ

Четверик М.С., д-р техн. наук, профессор,
Малеев Е.В., аспирант
(ИГТМ ім. М.С. Полякова НАН України)

ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВІДНОВЛЕННЯ МЕЗОРЕЛЬЄФУ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ВІДВАЛОУТВОРЮВАЧА-МЕТАЛЬНИКА

Chetverik M.S., D.Sc. (Tech.), Professor,
Malieiev Ye.V., Doctoral Student
(M.S. Polyakov IGTM NAS OF Ukraine)

SUBSTANTIATION OF THE TECHNOLOGY FOR RESTORING MESORELIEF WITH THE HELP OF DUMPER-THROWER

Аннотация: Рассмотрены и обоснованы формы мезорельефа, которые подлежат восстановлению в процессе разработки месторождения. Изучены возможности восстановления теплового и водного режима территории. Разработана методика количественной оценки сложности восстановления мезорельефа на участке карьерного поля. Обосновано разделение месторождения на карьерные поля с обеспечением восстановления мезорельефа. Изложена возможность формирования мезорельефа с использованием отвалообразователя-метателя. Приведено сравнение водных балансов при естественном мезорельефе, при формировании плоских отвалов и при восстановлении мезорельефа в процессе добычи полезного ископаемого.

Ключевые слова: карьер, внутренний отвал, мезорельеф, отвалообразователь-метатель, рекультивация, тепловой и водный режим территории, водный баланс.

Постановка проблемы. Добыча полезных ископаемых приводит к существенным нарушениям геологической среды. На месте природного мезорельефа формируют техногенную геологическую среду: карьеры, отвалы, терриконы, шламохранилища. Такие техногенные мезорельефы изменяют геоморфологическое и гидрологическое строение территории, разрушают природные тепло и водообменные процессы.

Это приводит к климатическим микроизменениям, изменениям почвенного и растительного покрова. Нарушения мезорельефа в значительной мере обусловлены увеличением доли открытого способа добычи полезных ископаемых. При открытой разработке крутопадающих месторождений восстановить мезорельеф, близкий природному, невозможно. Существенные изменения мезорельефа происходят при открытой разработке пологих месторождений с мягкими покрывающими породами.

При этом независимо от вида разрушенного разработкой природного мезорельефа создают плоские породные отвалы, которые потом рекультивируют. Однако рекультивация предусматривает только восстановление почвы. Она не позволяет восстановить водный, гравитационный и температурный режимы вновь созданного мезорельефа: ликвидируются водоносные горизонты, изменяется поверхностный сток и др. В тоже время восстановление мезорельефа предусматривает и рекультивацию земли.

Результаты предыдущих исследований. В области рекультивации земной поверхности, нарушенной в результате открытой разработки месторождений, выполнен большой объем исследовательских работ различной направленности [1-9]. Однако в них не рассматривается возобновление водного, гравитационного и температурного режимов территории путем создания мезорельефа близкого природному. В ряде работ предлагается осуществлять не рекультивацию земель, а ревальвацию [3,4]. Под ней понимают создание искусственного ландшафта путем сооружения прудов, зон отдыха и др.

В соответствии с украинским законодательством горные предприятия получают землю в аренду. По условиям аренды владельцы требуют возврата земли в том состоянии, в каком ее получают до разработки месторождения. Если арендаторы берут землю в аренду сельхозназначения, то и должны ее возвратить для сельхозназначения. При этом не разрешается изменять целевое назначение земли. Поэтому требования к восстановлению мезорельефа и рекультивации земель существенно повышаются. В такой постановке ранее проблема не ставилась и не исследовалась.

В этой связи ставится цель: обосновать технологию создания мезорельефа близкого природному при открытой разработке горизонтальных месторождений.

Исходя из этого, ставятся задачи: рассмотреть формы мезорельефа, которые подлежат восстановлению в процессе разработки месторождения. Изучить возможность восстановления теплового и водного режима территории. Разработать методику количественной оценки сложности восстановления мезорельефа на участке карьерного поля. Обосновать разделение месторождения на карьерные поля с обеспечением восстановления мезорельефа. Рассмотреть новое оборудование в виде отвалообразователя-метателя для формирования мезорельефа.

Изложение основных результатов исследования:

1. Формы мезорельефа

Формы мезорельефа складываются из различных его элементов. В условиях Украины при расчленении территорий в системе междуречий выделяют следующие элементы рельефа: вершины водоразделов, склоны, подошвы склонов, днища межсклоновых западин, днища оврагов и балок, террасы, уступы и склоны террас. Сочетания элементов рельефа образуют его положительные формы: вершины водоразделов, холмы, гряды. И

отрицательные: балки, ложбины, овраги, карстовые понижения, промоины. Мезорельеф территории включает объекты микрорельефа: распространенные мелкие поймы, террасы, уступы коренных берегов, промоины, степные блюдца, и др. Будем полагать, что мелкие формы рельефа не окажут существенное изменение мезорельефа при его восстановлении в процессе формирования внутренних отвалов при открытой разработке горизонтальных месторождений. Поэтому в дальнейшем их не учитываем. Будем полагать, что восстановлению подлежат: вершины водоразделов, склоны, подошвы склонов, днища межсклоновых западин, днища балок.

2. Влияние мезорельефа на тепловой и воздушный режим территории

От угла наклона земной поверхности данной территории (которая будет нарушена при выемке полезного ископаемого) и ее положения относительно солнца будет зависеть количество лучистой энергии, поступающей на единицу ее поверхности, а, следовательно, на величину теплообмена, температурный режим, скорость снеготаяния и другие параметры. Поэтому при формировании внутреннего отвала с восстановлением существовавшего ранее мезорельефа необходимо обеспечивать существующую высоту и угол наклона земной поверхности. Исходя из практики и теории аэрологии глубоких карьеров известно, что изменение параметров и направления воздушных потоков в нем зависят от освещенности его бортов солнцем. Это же будет характерно и для данного вида мезорельефа.

3. Влияние мезорельефа на водный режим территории

В естественной геологической среде четвертичные отложения имеют свойства как система, в которой породы (лессовидные) большой пористости с высокими фильтрационными параметрами пропускают влагу (атмосферные осадки). Породы с низкими фильтрационными параметрами (глины) ее задерживают, а пески и частично лессовидные породы, накапливают. Это позволяет накапливать осенне-зимние воды, которые являются основными в обеспечении растений влагой. Эта же зона является основной в питании верхних водоносных горизонтов. Из этой же зоны при наличии низин происходит сток подземных вод и их поступлении в водоемы на поверхности. Через днища балок происходит сток атмосферных осадков, питание рек.

Создаваемая техногенная геологическая среда в виде плоских внутренних отвалов приводит к нарушению водообменной системы: вертикальные поры ликвидируются и породы становятся водоупорами, отсутствует зона аэрации. Не обеспечивается поверхностный и подземный сток вод, при этом нарушается питание рек и подземных водоносных горизонтов.

Поэтому при формировании внутреннего отвала с восстановлением существовавшего ранее мезорельефа необходимо обеспечивать:

1. создание основных элементов существовавшего природного мезорельефа, высотные положения, углы наклона создаваемой земной поверхности;
2. послойную укладку типов горных пород в отвал в соответствии с их стратиграфическим положением в природе;

3. воссоздание пористости в горных породах четвертичных отложений путем послойного выращивания растений при формировании отвала для обеспечения питания водоносных горизонтов.

Изложенные выше взаимосвязи в конечном итоге влияют на водный баланс территории данного мезорельефа, который будет рассмотрен ниже.

Несмотря на трудность решения как научных, так и практических задач этой проблемы, ее решение позволяет существенно снизить экологический и экономический ущерб, который происходит при добыче полезных ископаемых открытым способом.

Исходя из этого, является актуальным исследование возможности при открытой разработке горизонтальных и пологопадающих месторождений восстановления мезорельефа, тепловых и водообменных процессов в нарушенной среде.

4. Коэффициент сложности формирования мезорельефа, близкого природному при открытой разработке пологих месторождений

Сложность восстановления мезорельефа при формировании внутренних отвалов при открытой добыче полезного ископаемого зависит от ряда параметров поверхности и залегания полезного ископаемого. Следует иметь в виду, что существующая техника и технологии открытой разработки позволяют экономично обрабатывать месторождения с мягкими покрывающими породами при больших мощностях вскрыши: до 60-80 метров. Разность величин высот поверхности, определяющая вид мезорельефа, во многих случаях составляет 20-30 метров. Поэтому на определенную мощность можно формировать плоский отвал вскрышных пород, а затем на нем формировать элементы мезорельефа. Сложность формирования мезорельефа будет зависеть от высотных отметок вершин водоразделов, тальвегов балок, их количества на карьерном поле (рис. 1).

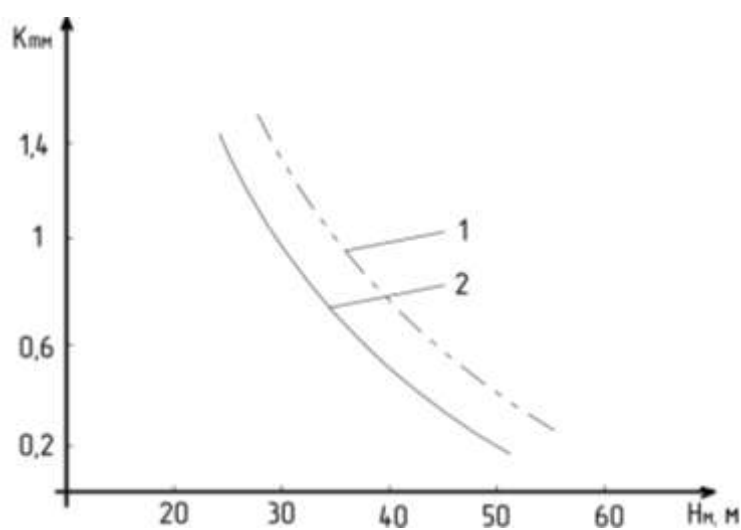


Рисунок 1 – Зависимость сложности создания мезорельефа от мощности пород, составляющих плоский отвал: 1, 2 – при наибольшей глубине залегания полезного ископаемого от поверхности соответственно 70 и 60 метров

Чем меньшая высота элементов мезорельефа, тем менее сложным является его формирование по объему работ. К ним относятся наибольшая и наименьшая мощность вскрыши до залегания полезного ископаемого, определяемая величиной отметок его высотных положений и их количества в пределах карьерного поля по отношению к его ширине и протяженности.

Примем, что максимальная мощность вскрыши до полезного ископаемого при его практически горизонтальном залегании составляет H_{σ} , а минимальная – H_m . Тогда плоский отвал формируют на величину H_{ϕ} .

Часть внутреннего отвала по высоте, который можно сформировать как мезорельеф данной территории, составит:

$$H_{\phi} = H_{\sigma} - H_m, \text{ м}, \quad (1)$$

где H_{σ} – наибольшая мощность вскрыши на карьерном поле до кровли полезного ископаемого, м.; H_m – наименьшая мощность вскрыши на карьерном поле до кровли полезного ископаемого, м.; H_{ϕ} – мощность пород, которая формирует мезорельеф, м.

Тогда коэффициент сложности формирования мезорельефа составит:

$$K_{mm} = \frac{H_{\phi}}{H_m} = \frac{H_{\sigma} - H_m}{H_m}; \text{ или } K_{mm} = \frac{H_{\sigma} - H_m}{H_m}, \text{ м} \quad (2)$$

то есть отношение высоты мезорельефа к мощности плоского отвала.

Таким образом, мезорельеф представляют передовые вскрышные уступы карьера. Отработку передовых уступов на карьерах производят с использованием консольных отвалообразователей или одноковшовых экскаваторов и автомобильного транспорта. Технология создания внутреннего отвала с использованием автомобильного транспорта значительно повышает стоимость выполнения вскрышных работ. И если ее удельный вес в общем объеме вскрышных работ большой, то затраты на их выполнение увеличиваются.

Из приведенной зависимости следует, что чем меньшая мощность вскрышных пород, составляющих плоский отвал, тем выше коэффициент сложности формирования мезорельефа.

5. Разделение месторождения на карьерные поля с обеспечением восстановления мезорельефа.

На Украине разведано достаточно большое количество месторождений с горизонтальным или пологим залеганием полезного ископаемого с мягкими покрывающими породами. Их предусматривают отрабатывать поочередно несколькими карьерными полями. При разработке Никопольского марганцеворудного месторождения, в частности Покровским ГОКом (карьеры Орджоникидзевского ГОКа) при разделении месторождения на карьерные поля исходили из технологических условий, обеспечивающих минимальные затраты

на разработку месторождения. Так при доработке карьерного поля горными работами предусматривали проведение разрезной траншеи для следующего карьера. Этот принцип иногда приводил к оползневым процессам на карьерах из-за перекрытия движения подземных вод. Разделение месторождения на карьерные поля с учетом формирования мезорельефа должно исходить из принципа его восстановления для всего месторождения. Эта задача должна решаться для каждого конкретного месторождения.

6. Возможность формирования мезорельефа с использованием отвалообразователя-метателя:

6.1. Общие сведения

Отвалообразователь-метатель ММД-1 разработан в НИИАчермет МЧМ СССР в 1979 году (гл. конструктор Климовский Б.М.). Сотрудниками ИГТМ НАН Украины (старшие научные сотр., канд. техн. наук Семенов А.П. и Новожилов С.М), сотрудниками ВНИПИрудмаш (Афиногенов Ю.Н. и др.) были проведены экспериментальные исследования по определению основных параметров отвалообразователя-метателя ММД-1. Их результаты засвидетельствовали работоспособность и экономическую эффективность применения такого типа отвалообразователя-метателя. Предусматривалось в дальнейшем разработать технологические схемы работы этого отвалообразователя при отработке передовых уступов на Басанском и Грушевском карьерах.

6.2. Конструктивные особенности отвалообразователя-метателя ММД-1 [9].

Метательная установка (рис. 2) состоит из самоходного основания 1 с приводными опорами 2, на которых установлен ротор 3 с диаметром 6 м (табл.1), восемью кривошипами 4, поворотных ковшей 5, расположенных на роторе по четыре в двух параллельных плоскостях, загрузочного устройства, состоящего из неподвижной двойной воронки 7, кривошипо-шатунного механизма 8, конической шестерни 9 и конического колеса 10, закрепленного на роторе.

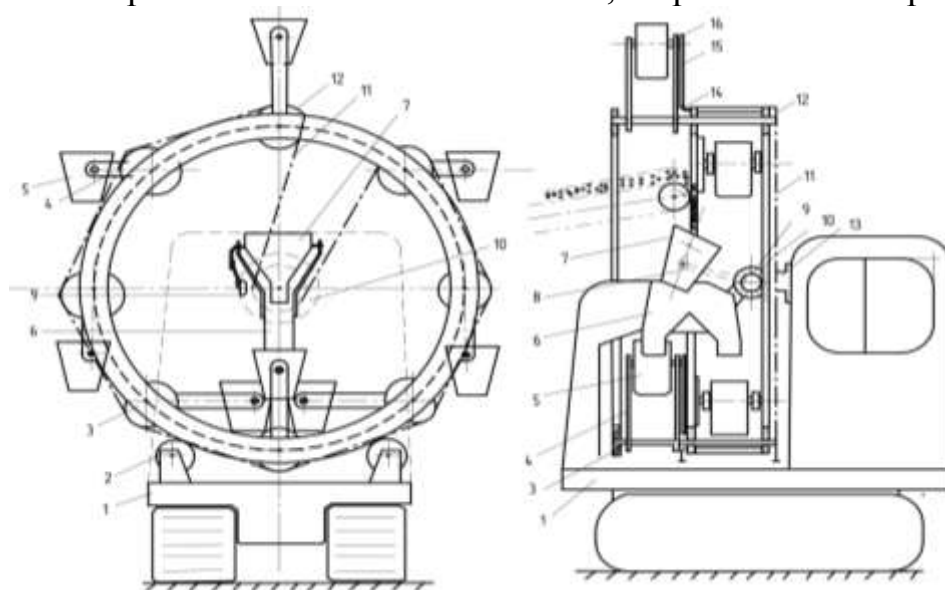


Рисунок 2 - Конструкция отвалообразователя-метателя

Таблица 1 - Техническая характеристика отвалообразователя-метателя ММД-1

Показатели	Характеристика
Теоретическая производительность, м ³ /час	1500-1600
Высота установки, м	10
Длина метателя, м	15
Диаметр ротора, м	6
Число оборотов главного ротора, об/мин	100
Количество ковшей, шт	6
Расчетная скорость ковша, м/сек	0,04
Подводимое напряжение, V	380
Углы повороты в рабочем режиме (сектор метания), град	270
Скорость перемещения, м/час	480
Установленная мощность, кВт	480
Масса рабочая, т	105

Привод вращения поворотных ковшей состоит из цепи 11, восьми звездочек кривошипов 12, неподвижной звездочки 13, солнечных шестерен поворота 14, паразитных зубчатых шестерен 15 и зубчатых шестерен поворота ковша 16.

Звездочки кривошипов 12 и неподвижная звездочка 13 имеют одинаковое число зубьев и через цепь 11 связаны между собой таким образом, что при вращении ротора кривошипы, проходя вертикальную ось установки, получают направление вверх.

Шестерни поворота ковшей 16 имеют число зубьев в два раза меньше, чем солнечные шестерни поворота ковшей 14.

6.3. Принцип работы отвалообразователя-метателя

Метатель работает следующим образом. Приводные ролики 2, вращаясь от силового агрегата, вращают ротор 3 метателя.

При этом цепь 11, связывающая звездочки 12 кривошипов с неподвижной звездочкой 13, приводит в движение кривошипы 4, которые вращаются в ту же сторону, что и ротор. 1 .

Вследствие того, что звездочки 12 кривошипов и неподвижная звездочка 13 имеют одинаковое число зубьев, при вращении ротора на один оборот, кривошипы поворачиваются также на один оборот по отношению к своей оси ,кривошипы 4 поворачиваются относительно ротора, обкатывают паразитную шестерню 15 по солнечной шестерне 14 и вращают шестерню 16 и ковш 5 в сторону, противоположную вращению ротора и кривошипа. Это обеспечивает при равномерном вращении ротора и кривошипа движение ковша с неизменной ориентацией относительно основания метателя.

В результате сложения движений ротора и кривошипа ковш 5 движется по траектории с циклом, равным одному обороту ротора и описывает в плоскости вращение кардиоиду.

При этом положении оси кривошипа внизу, ковш подходит к загрузочному устройству, на мгновение останавливается и заполняется сыпучими

материалами. При дальнейшем вращении ротора кривошипны разворачиваются и выносят ковш на радиус максимального удаления от оси ротора, где и происходит выброс материала (грунта) из ковша в момент, когда силы инерции превышают силу трения грунта о стенку ковша. При этом угол наклона боковой стенки коша подбирается так, чтобы выброс материала (грунта) происходил примерно под углом 45° к горизонту.

Материал для загрузки ковшей 5 метателя из загрузочного устройства поступает по ленточному транспортеру через подвижную распределительную воронку 7 и двойную воронку 6.

Подвижная воронка меняет направление струи материала (грунта) из одного ряда ковшей в другой в зависимости от того, ковш какого ряда встает под горловину загрузочной воронки.

Качание подвижной воронки осуществляется кривошипно-шатунным механизмом, кривошипны которого укреплены для конической шестерни 9, приводимой в движение от конического колеса 10 на роторе.

Передаточное отношение конической зубчатой пары 10-9 равно 4, т.е. количеству ковшей в ряду. Следовательно, за один оборот ротора подвижная воронка совершает 4 качания.

Наличие подвижной передачи распределительной воронки, кинематически связанной посредством кривошипно-шатунного механизма и зубчатой передачи с ротором и расположение ковшей в двух параллельных плоскостях позволяет производить загрузку ковша в момент его подхода к загрузочной горловине и исключает просыпь пород (материала) при загрузке.

Метатель за счет установки ковшей в двух или более параллельных плоскостях перпендикулярно оси вращения с углом смещения на 3,14:п (п-число ковшей) и снабжения загрузочного устройства подвижной распределительной воронкой значительно сокращает просыпь материала (пород) при его загрузке в ковш, что повышает КПД машины.

Загрузка различных пород в бункер загрузочного устройства в строгом соответствии с технологической схемой послойного формирования рекультивационного слоя осуществляется экскаватором из различных видов пород доставляемых на площадку автосамосвалами.

Послойное формирование рекультивационной поверхности, толщина отсыпаемого слоя, грансостав отсыпаемых пород, площадь отсыпки зависит от конкретной схемы и вида рекультивации нарушенных земель, а также от угла наклона ротора метателя, скорости вращения ротора и др. особенностей метателя.

7. Водный баланс мезорельефа территории подлежащей открытой разработке

Можно рассматривать как естественный, не нарушенный открытой разработкой водный баланс, нарушенной открытой разработкой мезорельеф, водный баланс при восстановлении мезорельефа в процессе добычи полезного ископаемого. При этом в каждом варианте учитывается количество осадков приток речных вод из других регионов сток рек за пределы рассматриваемой территории испарение приток подземных вод из смежных районов сток

подземных вод при дренирования их речными песками. Сравнение водных балансов приведено в табл. 2.

Таблица 2 - Водный баланс видов мезорельефа

ВИДЫ МЕЗОРЕЛЬЕФА		
Природные	При создании плоских отвалов в процессе извлечения полезного ископаемого	Близкий природному, формируемый в процессе извлечения полезного ископаемого
<p>Водный баланс:</p> $X_o + Y_n + I_{np} = Y_c + Z_u + I_c$ <p>X_o - количество осадков; Y_n - приток речных вод; I_{np} - приток подземных вод; Y_c - сток речных вод за пределы территории; Z_u - испарение; I_c - сток подземных вод; $I_c = H_{ф.с.} + H_{скв}$ $H_{ф.с.}$ - фактический сток; $H_{скв}$ - количество подземной воды используемой в хозяйственных нуждах, извлекаемой через скважины.</p>	<p>Непосредственно при добыче полезного ископаемого на данной территории природный водный баланс отсутствует[1]:</p> $X_o + I_{np} + Y_n = K_в$ <p>$K_в$ - карьерный водоотлив.</p> <p>После добычи полезного ископаемого в ненарушенной территории горными разработками подъем уровня подземных вод:</p> $h = \frac{S_{нар} \cdot m_o}{S_o - S_{нар}}$ <p>h – величина поднятия уровня подземных вод ; $S_{нар}$ - площадь нарушения горными работами; S_o - площадь территорий рассматриваемого мезорельефа.</p>	<p>Непосредственно при добыче полезного ископаемого на территории, ограниченной горными работами, водный баланс отсутствует:</p> $X_o + I_{np} + Y_n = K_в$ <p>Водный баланс после добычи полезного ископаемого на территории сформированного мезорельефа составит:</p> $X_o + Y_{np} + I_{np} = Y_c + Z_u + I_c$

Выводы.

1. При разработке горизонтальных месторождений с внутренним отвалобразованием отвал разделяется на две части: нижний плоский отвал с укладкой пород в соответствии со стратиграфической последовательностью пород, и верхний отвал с укладкой пород в соответствии с параметрами мезорельефа, существовавшими до разработки месторождения. Коэффициент трудности формирования мезорельефа увеличивается при уменьшении мощности плоского отвала.

2. Для формирования мезорельефа в процессе добычи полезного ископаемого целесообразно использование отвалообразователя-метателя.

3. Непосредственно при добыче полезного ископаемого на территории, ограниченной горными работами, водный баланс отсутствует. Водный баланс после добычи полезного ископаемого на территории сформированного мезорельефа может быть восстановлен.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бубнова, Е.А. Взаимосвязь параметров нарушения геологической среды с изменением уровня подземных вод в результате ведения горных работ. / Е.А. Бубнова // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2017. – № 4. – С. 58-63.
2. Малеев, Е.В. Направление развития горных работ по восстановлению ландшафта нарушенных территорий при открытой разработке горизонтальных месторождений. / Е.В. Малеев // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2017. – № 4. – С. 63-70.
3. Славиковский, О.В. Горнотехническая рекультивация недр – направление обеспечения техногенной безопасности горнодобывающих регионов / О.В. Славиковский, Ю.О. Славиковская // *Известия высших учебных заведений. Горный журнал*. – 2012. – № 6. – С. 34-39.
4. Месяц, С.П. Современный взгляд на рекультивацию породных отвалов горнодобывающей отрасли / С.П. Месяц, Е.Ю. Волкова // *Горный информационно-аналитический бюллетень. СВ 56. Глубокие карьеры*. – 2015. – С. 467-478.
5. Ащеулова, О.В. Рекультивация земель при відкритій розробці родовищ з використанням чорноземів тривалого зберігання / О.В. Ащеулова, О.В. Зберовський // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2016. - № 2. – С.92-95.
6. Дриженко, А.Ю. Восстановление земель при горных разработках / А.Ю. Дриженко. - М.: Недра, 1985. – 240 с.
7. Гайдін, А.М. Розробка обводнених родовищ титанових руд.: Монографія / А.М. Гайдін, Б.Ю. Собко, О.М. Лазніков. – Дніпропетровськ: «Літограф», 2016. – 212 с.
8. Четверик, М.С. Перспективы использования земельных ресурсов горнорудных предприятий Кривбасса для производства биотоплива. / М.С. Четверик, Е.А. Ворон // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. - 2012. - №3. - С.71-75.
9. Гуменик, И.Л. Обоснование технологической схемы формирования поверхности отвалов, соответствующей требованиям сельскохозяйственной рекультивации / И.Л. Гуменик, А.И. Панасенко, А.В. Ложников // *ГИАБ*. – 2014. - №7. – С. 38-44.
10. Исследование формирования техногенных и нарушенных горными работами геологических сред и обоснование направлений создания их определенных свойств при рекультивации: отчет о НИР (заключ.): Ш-51-09 / ИГТМ НАН Украины; рук. Четверик М.С.; исполн.: Бубнова Е.А. [и др.] – Днепропетровск, 2012. – 143 с. – 0109U001728. – Инв. № 7336.

REFERENCES

1. Bubnova, Ye.A. (2017), “Relation of the parameters of geological environment disturbance to changes in ground water level as a result of mining operations”, *Metallurgical and mining industry*, no. 4, pp. 58-63.
2. Maleiev, Ye.V. (2017), “Tendencies in the development of mining operations to restore the disturbed lands in terms of horizontal open-pit mining”, *Metallurgical and mining industry*, no. 4, pp. 63-70.
3. Slavikovskiy, O.V. and Slavikovskaia, Yu.O. (2012), “Mining and technical bowel reclamation – securing technogenic safety of mining regions”, *Izvestiya vysshykh uchebnykh zavedeniy. Gornyy zhurnal*, no. 6, pp. 34-39.
4. Mesiats, S.P. and Volkova, Ye.Yu. (2015), “Modern view of the waste dump reclamation of the mining industry”, *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byuliten*, no. 56, pp. 467-478.
5. Ashcheulova, O.V. and Zberovsky, O.V. (2016), “Land reclamation in terms of open-pit mining with the use of black soils of long-term storage”, *Metallurgical and mining industry*, no. 2, pp. 92-95.
6. Drizhenko, A.Yu. (1985), *Vosstanovlenie zemel pri gornykh razrabotkakh* [Land reclamation in terms of mining] in Drizhenko, A.Yu. (ed), Nedra, Moscow, USSR.
7. Gaidin, A.M., Sobko, B.Yu. and Laznikov, O.M. (2016), *Rozrobka obvodnennykh rodovysh tytanovykh rud* [Development of watered titanium ore deposits] in Gaidin, A.M., (ed), Litograph, Dnipropetrovsk, UA.
8. Chetverik, M.S. and Voron, Ye.A. (2012), “Prospects of using land resources of Krivbass ore mining enterprises to produce biofuel”, *Metallurgical and mining industry*, no. 3, pp. 71-75.
9. Gumennik, I.L., Panasenko, A.I. and Lozhnikov, A.V. (2014), “Substantiation of technological scheme to form dump surfaces according to the requirements of agricultural reclamation”, *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byuliten*, no. 7, pp. 38-44.
10. Chetverik, M.S., Bubnova, Ye.A. [et al.] (2012), “Analysis of the formation of man-made geological environments and the ones disturbed by mining operations and substantiation of the tendencies to develop

their properties during their recultivation”, report on SRP (concl.), IGTM NAS of Ukraine, III-51-09, 73 pp., 0109U001728., Registration no. 7336.

Об авторах

Четверик Михаил Сергеевич, доктор технических наук, профессор, заведующий отделом геомеханических основ технологий открытой разработки месторождений, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ им. Н.С. Полякова НАН Украины), Днепр, Украина, chetverik.mihail@inbox.ru.

Малеєв Евгений Владимирович, аспирант, инженер в отделе Геомеханических основ технологий открытой разработки месторождений, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ им. Н.С. Полякова НАН Украины), Днепр, Украина, maleev@i.ua.

About the authors

Chetverik Mikhail Sergeevich, Doctor of Technical Sciences (D.Sc.), Professor, Head of Department of Geomechanics of Mineral Opencast Mining Technology, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (M.S. Polyakov IGTM NASU), Dnepr, Ukraine, chetverik.mihail@inbox.ru.

Malieiev Yevhenii Vladimirovich, Doctoral student, Engineer in Department of Geomechanics of Mineral Opencast Mining Technology, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (M.S. Polyakov IGTM NASU), Dnepr, Ukraine, maleev@i.ua.

Анотація. Розглянуто та обґрунтовано форми мезорельєфу, які підлягають відновленню в процесі розробки родовища. Вивчено можливості відновлення теплового і водного режиму території. Розроблено методіку кількісної оцінки складності відновлення мезорельєфу на ділянці кар'єрного поля. Обґрунтовано поділ родовища на кар'єрні поля із забезпеченням відновлення мезорельєфу. Викладена можливість формування мезорельєфу з використанням відвалоутворювача-метальника. Приведено порівняння водних балансів при природному мезорельєфі, при формуванні плоских відвалів і при відновленому мезорельєфі в процесі видобутку корисної копалини.

Ключові слова: кар'єр, внутрішній відвал порід розкриття, мезорельєф, відвалоутворювач-метальник, рекультивация, тепловий і водний режими території, водний баланс.

Annotation. Forms of mesorelief subject to the restoration while deposit mining were considered and substantiated. Possibilities to restore thermal and water regime of the area were studied. The methodology was developed for quantitative estimation of complexity of the mesorelief restoration within the quarry-field site. Division of the deposit into the quarry fields with corresponding mesorelief restoration was substantiated. Possibility of mesorelief formation with the help of dumper-thrower was confirmed. Water balances were compared under conditions of natural mesorelief, flat dump formation, and mesorelief restoration in the process of mineral mining.

Keywords: open pit, internal dump, mesorelief, dumper-thrower, recultivation, thermal and water regime of the area, water balance.

Статья поступила в редакцию 05.12.2017

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук В.П. Надутым