

лучення металів-забруднювачів до фонового вмісту потрібно висаджувати рослини 10-15 разів, то запропонований агрозахід скорочує цей строк вдвічі. Крім того слід зазначити, що цей метод є радикальним вирішенням проблеми забруднення важкими металами ґрунту, екологічно безпечний, не потребує значних капіталовкладень, і навіть дозволяє після термічної обробки рослин вдруге використовувати метал, про що свідчить закордонний досвід.

### Висновки

1. Розроблено принципово новий екологічно обґрунтований метод фітоекстракції важких металів з техногенно забруднених чорноземів звичайних малогумусних важкосуглинкових Північного Степу України шляхом поєднання вирощування рослини-гіперакумулятора петрушки кучерявої із застосуванням ефектору фітоекстракції ЕДТА та регулятора росту рослин препарату “Корневін”.

2. Встановлено збільшення коефіцієнту накопичення кадмію, міді та нікелю в біомасі петрушки кучерявої при опудренні насіння регулятором росту рослин препаратом “Корневін” на фоні забезпечення високого рівня рухомості важких металів за рахунок ЕДТА.

### Список літератури

1. Галиулин Р.В. Очистка почв от тяжелых металлов с помощью растений / Р.В. Галиулин, Р.А.Галиулина // Вестник Российской академии наук. – 2008. – Том. 78, №3. – С. 77–85.
2. Башмаков Д.И. Аккумуляция тяжелых металлов некоторыми высшими растениями в разных условиях местообитания / Д.И.Башмаков, А.С.Лукаткин // Агрехимия. – 2002. – № 9. – С. 66–71.
3. Ebbs S.D. Phytoextraction of cadmium and zinc from a contaminated soil / S.D. Ebbs, M.M. Lasat, D.J. Brady // J. Environ. Qual. – 1997. – V. 26. – № 5. – P. 1424-1430.
4. Yakovyshyna T.F. Heavy metals phytoextracriion from technogeneous polluted soil / T.F. Yakovyshyna // Problems and tendencies of modern society development : XIth Intern. Scien. and Pract. Conf. 14-18 october 2011 : materials digest. – Kiev – London, 2011. – P. 20-21.
5. Пат. 60784 Україна, МПК С09 К17/00. Спосіб вилучення важких металів з техногенно забрудненого ґрунту / Яковишина Т.Ф., Шматков Г.Г., Столярова К.М., Вергун О.О.; заявник і патентоволодар Яковишина Т.Ф. - № u2010153156; заявл. 20.12.2010; опубл. 25.06.211, Бюл. № 12.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Зберовським О.В.  
Надійшла до редакції 07.05.2013*

УДК 624.131.537

© А.М. Лазников, С.З. Полищук, Б.Е. Собко, А.В. Полищук

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ БОРТОВ КАРЬЕРА ПРИ РАЗРАБОТКЕ МОТРОНОВСКО-АННОВСКОГО УЧАСТКА МАЛЫШЕВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

Проведены исследования по определению параметров, обеспечивающих устойчивость уступов и бортов карьера для разработки Мотроновско-Анновского участка Малышевского месторождения титано-циркониевых руд.

Проведено дослідження з визначення параметрів, що забезпечують стійкість уступів і бортів кар'єру для розробки Мотронівський-Аннівського ділянки Малишевського родовища титано-цирконієвих руд.

The research on the characterization of providing stability of pit walls and ledges to develop Motronovsko-Annovskogo area Malyshevskoe deposits of titanium-zirconium ores.

**Введение.** Дневная поверхность Мотроновско-Анновского участка Малишевского месторождения представляет собой равнину, расчлененную овражно-балочной системой. Абсолютные отметки дневной поверхности изменяются в границах от 111 м до 174 м. Мощность вскрышных пород, имеющих слоистую структуру, изменяется в пределах от 16 м до 70 м.

Продуктивный слой имеет мощность порядка 10-12 м. Три верхних вскрышных слоя имеют более высокие физико-механические свойства по сравнению с физико-механическими свойствами надрудного слоя мелкозернистых песков и рудного слоя тонкозернистых песков. Кровля рудного пласта, мощность которого составляет в среднем 11 м, лежит на отметках 100-110 м (рис.1).

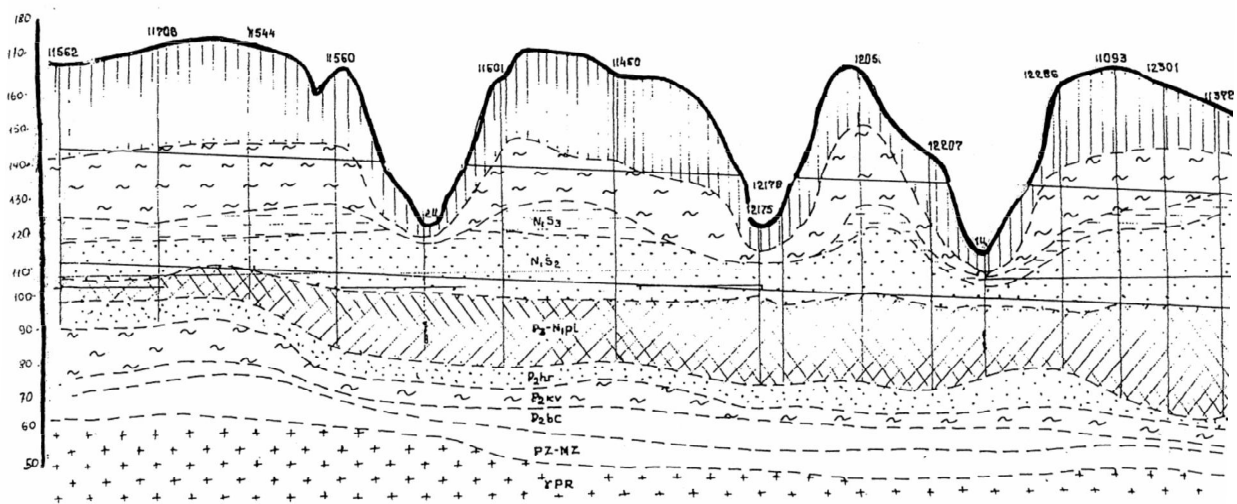


Рис. 1. Схематический геологический разрез Мотроновско-Анновского участка

Руда представлена преимущественно кварцевым глинистым песком, характерным для отложений шельфа. Над пластом снизу вверх залегают пески сарматского яруса неогена мощностью от 6 до 27м, верхнесарматские загипсованные пестроцветные глины толщиной 5-12 м. Залегающие выше четвертичные красно-бурые глины мощностью до 25 м распространены только на водоразделах, в балках они размыты. Все отложения покрыты плащом лессовидных суглинков толщиной 5-10 м. Рудный пласт подстилают глауконитовые пески харьковского яруса мощностью 15-18 м. Ниже в депрессиях фундамента распространены песчано-глинистые отложения киевского яруса. Еще ниже лежат углистые пески бучакского яруса палеогена. На глубине от 50 до 120 м залегают граниты, верхняя часть которых выветрена на глубину до 40 м.

Уровень воды находится на отметках 100-110 м, то есть, практически, совпадает с кровлей рудного пласта. Инженерно-геологические условия проведения горных работ усложняются, в первую очередь, плавунными свойствами рудного пласта. Такой песок в самосвалах превращается в текучую массу. При вскрытии плавуннов они текут как вязкая жидкость. Вибрация от механизмов приводит к разжижению грунта и его быстрому растеканию.

Еще одним слабым местом является контакт лессовидных суглинков с подстилающими глинами. Лёссовидные суглинки характеризуются высокой пористостью и в их приподошвенной части распространена верховодка. Залегающая под суглинком глина имеет высокую влажность и пластичную консистенцию, поэтому получила местное название «маслянка». Контакт суглинков с глиной наклонен в сторону балок. При подрезании склона горными выработками неизбежно образование оползней.

Многообразие горно-технических и горно-геологических условий разработки предопределяет дифференцированный подход к определению параметров уступов и бортов карьеров. Определение геометрических параметров уступов и бортов карьера актуально с точки зрения обеспечения мер безопасности при ведении вскрышных и добычных работ.

**Целью работы являлось** определение местоположения и формы потенциальных поверхностей сдвижения в сложно-структурном массиве, оценка устойчивости откосов и уступов рабочего борта карьера и определение геометрических параметров на основе анализа горнотехнических и геологических условий участка и величин расчетных физико-механических свойств грунтов ненарушенной структуры.

**Результаты работы.** Практика расчетов устойчивости откосов и эксплуатации позволяет сделать следующие выводы:

- инженерные методы расчетов устойчивости откосов при корректном учете инженерно-геологических условий обладают достаточной степенью точности, не отклоняющейся более чем на 10% от наиболее теоретически обоснованных [1];

- обоснованность расчетных прогнозов может в последующем подтверждаться только при достаточной изученности инженерно-геологических и гидрогеологических условий месторождения и достаточно добросовестном выполнении рекомендаций в пределах той или иной технологической схемы.

Независимо от методов расчета устойчивости откосов и способов суммирования гравитационно-сейсмических сил, действующих в откосе, их результаты сводятся к оценкам соотношения сдвигающих и удерживающих сил или напряжений. Как правило, это соотношение выражается в виде коэффициента запаса устойчивости  $\eta$ :

$$\eta = \frac{\sum Y}{\sum T}$$

где  $\sum Y$  -удерживающие силы,  $\sum T$  -сдвигающие силы.

Состояние предельного равновесия наступает при равенстве удерживающих и сдвигающих сил, т. е. при  $\eta=1,0$ . Чем больше единицы коэффициент за-

паса устойчивости, тем более гарантированно обеспечивается устойчивость откоса.

В инженерных методах расчета устойчивости формирование удерживающих сил в данном гравитационном поле обеспечивается общепринятыми параметрами прочности грунта: сцеплением и углом внутреннего трения. Таким образом, можно записать:

$$\sum Y = \sum_i^{i=n} P_i * \cos \alpha_i * \operatorname{tg} \varphi_i + \sum_i^{i=n} C_i * L_i$$

где  $P_i$ - вес элементарного блока;  $\alpha_i$ - угол наклона блока по потенциальной поверхности скольжения;

$\varphi_i$  - угол внутреннего трения пород;

$C_i$  - удельное сцепление;

$L_i$  -длина элементарного блока вдоль поверхности скольжения.

Соответственно сдвигающие усилия рассчитываются по формуле:

$$\sum T = \sum_i^{i=n} P_i \cdot \sin \alpha_i$$

В приведенных выше зависимостях параметр  $P_i$  представляет собой суммарную нагрузку (вес) блока:

$$P_i = \gamma \cdot H_i$$

где  $\gamma$  - плотность грунта, слагающего массив;

$H_i$  - высота элементарного (расчетного) блока.

Плотность грунта выше уровня подземных вод учитывается непосредственно, ниже - рассчитывается с учетом влияния гидростатического взвешивания.

Оползневая практика также показывает, что в верхней части любого откоса формируется зона растяжения, а площадки сдвига возникают только на определенной глубине:

$$H_{90} = \frac{2C}{\gamma} \cdot \operatorname{tg} \left( 45 + \frac{\varphi}{2} \right)$$

где  $H_{90}$  - глубина возникновения площадок скольжения (сдвига), ограничивающая зону растяжения;

$\varphi$  и  $C$  - соответственно угол внутреннего трения и сцепление пород;

$\gamma$  - плотность грунтов.

При наличии на приоткосной поверхности борта дополнительной нагрузки, например, от горно-транспортного оборудования, значение  $H_{90}$ , в зависимости от величины нагрузки, может снижаться до нулевых значений. Это, соответственно, приводит к росту расчетных сдвигающих усилий. В горном деле влияние машин на параметр  $H_{90}$  учитывается согласно рекомендациям института ВНИМИ [ 2].

Определенное влияние на результаты расчетов устойчивости оказывает способ суммирования удерживающих и сдвигающих сил. В большинстве случаев наиболее корректным принято считать способ алгебраического сложения

сил. Так, в этом способе удерживающие силы суммируются непосредственно независимо от знака угла наклона расчетной поверхности скольжения. Что касается сдвигающих сил, то при обратном (по отношению к основной части) наклоне поверхности скольжения они учитываются в суммировании с отрицательным знаком, т. е. уменьшаются.

Есть еще один фактор влияния расчетных показателей на результаты. Так отрицательное влияние напора подземных вод на устойчивость рассчитывается по зависимости:

$$R = n \cdot l \cdot \operatorname{tg} \varphi,$$

где  $R$  - расчетная величина напорного взвешивания,

$n$  – средний напор подземных вод вдоль линии скольжения,

$l$  – длина взвешиваемой части поверхности скольжения.

Прогноз устойчивости уступов бортов Мотроновско-Анновского участка Малышевского месторождения выполнялся с применением классического и оригинального инженерных методов, использующих метод алгебраического сложения сил. Существенное влияние на результаты расчетов устойчивости оказывает положение и вид потенциальной поверхности скольжения в откосе, в первую очередь, определяемой особенностями инженерно-геологического строения. В классическом инженерном методе форма потенциальной поверхности сдвижения выбиралась в виде квадратичной функции (параболы).

В оригинальном инженерном методе оценки устойчивости откосов потенциальная поверхность сдвижения определяется в ходе самого расчета [3-5]. Потенциальная поверхность сдвижения состоит из: верхнего вертикального участка (высотой  $H_{90}$ ); среднего участка, описываемого интегральной поверхностью сдвижения; нижнего наклонного прямолинейного участка. Следует отметить, что вдоль интегральной поверхности сдвижения отношение удерживающих усилий к сдвигающим усилиям постоянно и равно единице.

В качестве примера на рис. 2 приведены результаты расчета устойчивости рабочего борта карьера

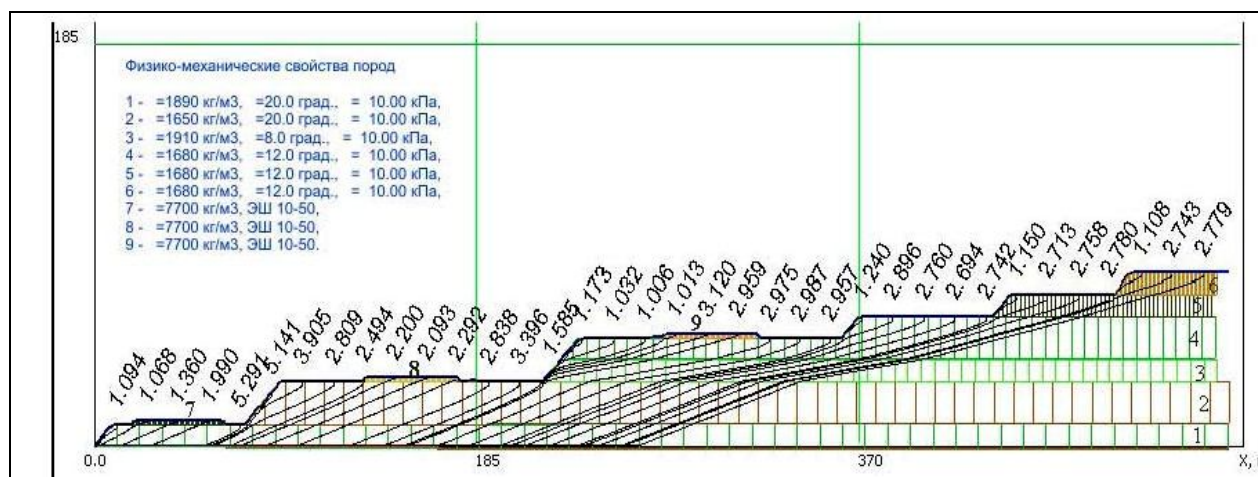


Рис. 2. Расчет устойчивости нагруженного рабочего борта

**Выводы.** В работе наряду с классическими методами расчета устойчивости (рекомендации ВНИМИ) использован метод, использующий интегральные поверхности сдвига, методы аналогий и анализа ранее полученных результатов. Это позволило повысить обоснованность и достоверность результатов расчетов. Сравнительный анализ физико-механических свойств пород, полученных на различных этапах изучения Мотроновско-Анновского участка (2002-2012 гг.) свидетельствует об отсутствии единого мнения о значениях прочностных свойств пород и о необходимости дальнейших инженерно-геологических изысканий для уточнения исходных расчетных данных.

В качестве основных приняты значения прочностных свойств пород, приведенные в ТЭО развития карьера на Мотроновско-Анновском участке. При этом, расчеты приведены как для показателей остаточной прочности так и для исходных значений угла внутреннего трения и сцепления пород. По видимому, первый случай можно интерпретировать как результат снижения прочности при нарушении структуры и обводнении пород со временем.

Как показывает имеющийся опыт и проведенный анализ, основная причина оползневых проявлений - накопление воды у подошвы борта карьера. При обводнении всего слоя рудоносных песков сцепление пород может снижаться до 0,3 кПа, то есть, практически, до 0. При таких условиях весь борт карьера переходит в предельное состояние. В связи с этим, мероприятия по осушению карьера являются обязательными. Предполагается, что вариант осушения открытым карьерным водоотливом с обустройством зумпфов будет достаточен. Исходя из характера расположения наиболее потенциально опасных поверхностей сдвига в массиве, обустройство водопонижительных скважин с осушением до отметки +80 м следует признать избыточным.

Для остаточных свойств пород (по данным ТЭО угол внутреннего трения меняется в диапазоне 10-20°, сцепление пород составляет 10 кПа) наиболее слабым звеном является второй надрудный вскрышной уступ высотой 20м. Запас устойчивости  $\eta=1,2$  для рудного уступа высотой 10м обеспечивается при  $\alpha=30^\circ$ , а для второго вскрышного уступа высотой 20м. при угле откоса  $\alpha=20^\circ$ . Для рудного уступа высотой 10 м. с углом откоса 50° при данных свойствах обеспечивается только кратковременная устойчивость. В тоже время при исходных значениях прочности (угол внутреннего трения – 14-32°, сцепление пород 14-43 кПа) все нормативные условия устойчивости выполняются. В дальнейшем, по мере получения новой инженерно-геологической информации вопрос о назначении углов откосов уступов следует уточнить.

Нагрузка от горно-транспортного оборудования не существенно влияет на общую устойчивость рабочего борта карьера. По видимому, основные ограничения на параметры уступов будут связаны с условиями проходимости горно-транспортных машин.

Моделированием устойчивости рабочего борта в целом для принятых свойств пород (средневзвешенные значения остаточных свойств:  $\rho=12,5^\circ$ ,  $c=10\text{кПа}$ ) при разных значениях результирующего угла установлено, что нормативная устойчивость борта обеспечивается при результирующем угле накло-

на не более  $13,0^\circ$ . По рассматриваемому расчетному профилю значение результирующего угла наклона борта карьера не превышает этой величины.

В этой связи, принятые в настоящее время проектные решения следует считать как обеспечивающие необходимые запасы устойчивости.

При расчетах устойчивости нерабочего борта карьера установлено, что слабым звеном является нижний уступ (запас устойчивости 1,04). Общий запас устойчивости борта высотой  $H=60\text{м}$  при  $\alpha_p=16,4^\circ$  составляет 1,17. Для отвала при  $H=40\text{м}$  и  $\alpha_p=11^\circ$  значение запаса устойчивости составляет 1,14 (нижний ярус). Общая устойчивость характеризуется запасом прочности 1,84.

Если принять в расчетах значения остаточной прочности пород, (что существенно идет в запас устойчивости), то основное внимание следует уделить обеспечению устойчивости отдельных уступов. Проектные решения по результирующим углам наклона бортов являются, в целом, достаточными.

#### Список литературы

1. Определение параметров устойчивого внутреннего отвалообразования при разработке Мотроновско-Анновского участка Малышевского месторождения, а также разработка рекомендаций по обеспечению устойчивости внутренних отвалов. Отчет о НИР/КТУ.-Кривой-Рог 2004, 131с.
2. Методические указания по определению углов наклона бортов, откосов уступов и отвалов, строящихся и эксплуатируемых карьеров. ВНИМИ. Л.:1972.- 160с.
3. Научная идея № А – 288 «О местоположении и форме поверхности сдвижения в массивах грунта горных пород». – Днепропетровск: ИППЭ НАНУ 2004.
4. Определение геометрических параметров бортов Мотроновско-Анновского участка Малышевского месторождения, обеспечивающих устойчивое состояние массива. Отчет о НИР/ИППЭ НАНУ.-Днепропетровск, 2004.-46 с.
5. Голуб В. В., Полицук С. З., Ветвицкий И.Л. Новые подходы к оценке устойчивости откосов и склонов: теория и практика.- Днепропетровск: ЧМП «Экономика», 2011.- 172с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Симоненко В.І.  
Надійшла до редакції 22.05.2013 р.*

УДК 621.515.004.82: 621.57

© Ю.И. Оксень, М.В. Радюк, О.В. Самуся

## **ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОНАСОСНОЙ ТЕХНОЛОГИИ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛА КОМПРЕССОРНЫХ УСТАНОВОК НА ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ**

Выполнено исследование влияния температуры охлаждающей воды на экономическую эффективность теплонасосной технологии утилизации тепла компрессорных установок на горных предприятиях. Определен режим, при котором удельная стоимость выработки сжатого воздуха будет минимальной.

Виконано дослідження впливу температури охолоджуючої води на економічну ефективність теплонасосної технології утилізації тепла компресорних установок на гірничих підприємствах. Визначено режим, при якому питома вартість виробки стиснутого повітря буде міні-