

УДК 338.46+628.4

Панков С.А.

Ставропольский государственный университет

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ АСПЕКТОВ
ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ НА МЕСТОРОЖДЕНИИ
ОБЩЕРАСПРОСТРАНЕННЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

S. Pankov

Stavropol State University

**MODELING ECOLOGICAL AND ECONOMIC ASPECTS
OF LAND-UTILIZATION AT WIDESPREAD MINERALS DEPOSITS**

Аннотация. Проблема экологически рационального и экономически эффективного землепользования стоит особенно остро на предприятиях по добыче полезных ископаемых. В технологические схемы и, соответственно, в технико-экономические показатели не закладываются процессы полномасштабной рекультивации нарушенных земель, а также затраты на них, поскольку все стратегические решения нацелены только на извлечение полезного ископаемого с максимальным финансовым результатом. Предлагаемые в статье модельные подходы и показатели позволяют решить проблему стратегического проектирования процесса рациональной рекультивации нарушенных горными выработками земель, а также выполнить анализ степени оптимальности землепользования горнодобывающим предприятием. Модельные расчёты проиллюстрированы результатами более чем полувековой эксплуатации Пелагиадского месторождения известняка-ракушечника, обследованного автором.

Ключевые слова: модель процесса рекультивации; эколого-экономическая оптимальность землепользования; экологическая устойчивость территории; горные выемки; отвалы вскрышных пород; экологический ущерб.

Abstract. Mining enterprises have to deal with the acute problem of ecologically rational and economically efficient land-utilization. As their strategies are aimed merely at minerals extraction with the highest possible financial result the procedure of full-scale exhausted land reclamation and expenses for it are not included into technological schemes and thereafter into technological and economic indicators of the enterprises. The model approaches and indicators proposed in this article allow to solve the problem of corporate planning of the procedure of rational reclamation of lands destroyed by mine working, and also to carry out the analysis of land-utilization optimality extent of a mining enterprise. The model calculations are based on the results of the author's study of Pelegiada chalkstone deposit which have been exploited for more than fifty years.

Key words: reclamation procedure model, ecological and economic land-utilization optimality, ecological stability of region, mine excavation, uncovering rock piles, ecological harm.

Современная макроэкономическая ситуация в области защиты и восстановления земельных ресурсов складывается таким образом, что затраты на этот вид деятельности в структуре природоохранных затрат в 2003 - 2008 гг. не превышали 7,5%, в том числе на рекультивацию земель – 2,5 – 3,5%, причем от 68 до 76% в структуре источников финансирования занимали место собственные средства предприятий [5, 25-30]. Доля природоохранных инвестиций в ВВП не превышала 0,3%, хотя в экономически развитых странах на решение этих вопросов выделяется от 2 до 5% ВВП [5]. Как отмечается в докладе Государственного совета Российской Федерации [2, 76], система экономического стимулирования в области природоохран-

ных инвестиций и экологического контроля не эффективна и предприятия экономят на природоохранных инвестициях.

В связи с этим проблема рекультивации и восстановления земель – одна из наиболее актуальных на разрабатываемых месторождениях общераспространённых полезных ископаемых. Одним из важных аспектов решения этой проблемы является предлагаемый нами модельный подход к оценке возможной величины рекультивированной площади, получаемой без привлечения дополнительных ресурсов, за счёт рациональной технологии размещения собственных пород вскрыши и почв.

Моделируемый объект – Пелагиадское месторождение известняка-ракушечника расположено в Центральном Предкавказье, в равнинной части Ставропольской возвышенности. Более 50% площади горного отвода нарушено и представляет собой карьеры, различные выемки и отвалы вскрышных пород. Автором было выполнено полевое обследование состояния землепользования в районе месторождения. В процессе выполнения исследований привлекались фондовые и архивные материалы. Анализ этих материалов и изучение фактического состояния объекта исследования позволили построить модель влияния хозяйственных процессов на состояние землепользования в пределах месторождения.

Кустарная разработка известняка-ракушечника на месторождении началась в 19 веке. В 1930-х гг. была произведена разведка месторождения, и началась промышленная добыча известняков. Идея комплексного использования месторождения не была реализована, что привело к необходимости организации крупных отвалов пустых пород.

В конце 1980 гг. уже констатировались значительные экологические проблемы использования земельных ресурсов, связанные с неселективной выемкой почв и пород вскрыши, хаотическим их складированием совместно с глыбами известняка-ракушечника, что привело к появлению техногенного рельефа на большей части горного отвода, при этом

выемки карьеров практически не рекультивировались. Как следствие, произошло появление глубоких котлованов и переход данной территории в кризисное состояние.

В последний период производилось раздельное складирование почв и пород вскрыши, более рациональное использование песков вскрыши в строительных целях и для реализации. Предприятия, разрабатывающие месторождение, являются низко рентабельными [4, 111-114], что не позволяет осуществлять рекультивационные работы в полном объёме.

Модель землепользования на Пелагиадском месторождении известняка-ракушечника сводится к следующему. На основании данных геологической разведки и подсчета запасов, а также прогнозного объёма добычи полезного ископаемого рассчитываются объёмы извлекаемых вскрышных пород и объём складированных в бурты почв. На основании плана горного отвода и участков разработки полезного ископаемого определяется оптимальное место размещения отвалов и порядок проведения всех этапов рекультивации земель на отработанной части месторождения. Такой прогноз по площадям рекультивации и объёмам необходимых работ имеет смысл выполнять на несколько лет вперёд. Важными факторами прогнозирования являются устойчивость условий внешней среды, деятельности предприятия и гарантия стабильности использования его производственного потенциала.

Помимо модельных расчетов, предлагаемых нами, необходимо рассчитывать ряд эколого-экономических показателей, отражающих результативность природоохранных мероприятий: экологический ущерб, наносимый землям, и ряд относительных показателей экологической устойчивости горного отвода.

Расчёты по предложенной модели опираются на показатели разработки месторождения и выполняются в нижеизложенном порядке. Зная объёмы годовой добычи полезного ископаемого, изменение его запасов и изменение площади земель, нарушенных

горными выработками, рассчитываются интервальные величины объемов добычи известняка-ракушечника по периодам освоения месторождения. Эти величины определяют объемы вскрышных работ и площади нарушенных, а также рекультивируемых земель.

При построении модели, отражающей взаимосвязь процесса добычи известняка-ракушечника и процесса рекультивации горных выработок, необходимо исходить из следующих ограничений: во-первых, объем добычи полезного ископаемого определяет необходимый объем и площадь вскрышных работ; во-вторых, при выполнении вскрышных и рекультивационных работ необходимо минимизировать переэкскавацию пустых пород; в-третьих, до начала рекультивационных работ должна иметься выемка для отсыпки вскрышных пород и последующей её рекультивации путем засыпки почвенным слоем; в-четвертых, выемка по высоте должна засыпаться полностью с учетом последующей усадки вскрышных пород и засыпки их почвенным слоем. Выполнение этих ограничений позволяет аналитически связать объем добычи полезного ископаемого, объем неиспользуемых вскрышных пород и объем формируемых рекультивационных отвалов. Исходя из этих объемов и средних мощностей продуктивного пласта, вскрышных пород и почвенного слоя определяется площадь вскрыши, а исходя из формы отвала, определяется его площадь и высота, которые ограничиваются параметрами имеющейся горной выработки.

Все эти величины напрямую связаны между собой и корректируются лишь на поправочные коэффициенты: разрыхления горных пород, усадки отсыпанного отвала и другие. В модели учитывается то, что первоначальная вскрыша продуктивного пласта требует размещения вскрышных пород за пределами карьера на ненарушенной поверхности и, как следствие, предусматривается некоторый объем переэкскавации, а также отставание процесса рекультивации земель от процесса разработки полезного ископаемого. Следует

учесть тот факт, что при самом оптимальном процессе рекультивации с помощью пород вскрыши объем карьерной выемки будет заполнен не полностью, и будет больше объема выполненной рекультивации на величину извлеченных запасов полезного ископаемого и части использованных пород вскрыши.

Аналитически эту модель можно выразить с помощью взаимосвязанных уравнений и неравенств:

– величина запасов полезного ископаемого на начало и конец i -го периода: $Z1i=x1$; $Z2i=x2$;

– объем добычи полезного ископаемого за i -й период определяется через изменение его запасов и потери – d_i : $Q_i=Z2-Z1-d_i$;

– площадь вскрыши: $S_{vi}=Q_i/h_{ri}$, где: h_{ri} – средняя мощность продуктивного (рабочего) пласта;

– объем снимаемых почв: $Q_{gi}=S_{vi}*h_{gi}*k_{rgi}$; где: h_{gi} – средняя мощность почвенного слоя, k_{rgi} – коэффициент разрыхления почв;

– объем вскрышных пород: $Q_{vi}=S_{vi}*h_{vi}*k_{rvi}$; где: h_{vi} – средняя мощность пород вскрыши, k_{rvi} – коэффициент их разрыхления;

– объем отвала вскрышных пород: $Q_{oti}=Q_{vi}-Q_{ispi}$;

– средняя высота рекультивационного отвала: $hot=(h_{v1}+h_{r1i})*1.1-h_{g1i}$; где: h_{v1i} , h_{r1i} , h_{g1i} – средняя мощность соответственно пород вскрыши, продуктивного пласта и почв, извлеченных в предшествующем периоде;

– площадь параллелепипеда как части отвала: $S_{pri}=a*b$;

где: $b=0.5*a$ – соотношение его сторон;

– площадь основания трапеций откосов отвала вскрышных пород: $S_{tri}=(hot+0.5*a)^2+4*hot^2$;

– вся площадь отвала: $S_{oti}=S_{pri}+0.5*S_{tri}$;

– ограничение по площади, используемой для размещения отвала: $S_{oti}<(DS_{v1}+S_{vi})$; где: DS_{v1} – площадь нереккультивированной ранее выемки, образовавшейся в предшествующем периоде;

– объем рекультивационного отвала, образующийся за i -й период: $Q_{oti}=S_{pri}*hot+0.5*(0.5*hot^2+2*(a+0.5*a)+4*0.5*hot^3)$;

Результаты модельных расчётов по Пелагиадскому месторождению

Показатель \ Период (годы)	1954-1962	1962-1987	1987-2001	2001-2008	Итого
Добыча известняка, тыс. м ³	221	398	355	459	1433
Отношение возможной площади рекультивации к площади вскрыши, рассчитанное через коэффициент вскрыши	0,59	0,62	0,62	0,60	0,61 (среднее)
Площадь вскрыши, тыс. м ²	24,56	47,95	45,51	58,1	176,12
Площадь вскрыши нарастающим итогом, тыс. м ²	24,56	72,51	118,02	176,12	176,12
Объём отвала, тыс. м ³	475,39	907,25	825,06	1002,13	3209,83
Площадь отвала, тыс. м ²	18,76	30,68	28,16	35,85	113,46
Нерекультивированная площадь, тыс. м ²	15,02	28,82	27,90	33,85	84,70
Площадь рекультивированная нарастающим итогом, тыс. м ²	9,54	34,82	60,14	91,42	91,42
Отношение модельной площади рекультивации к модельной площади вскрыши, тыс. м ² (оптимальное)	0,39	0,48	0,51	0,52	0,52

Моделируемая функция, выражающая соотношение объёма проектируемого рекультивационного отвала и объёма, размещаемых в нём пород вскрыши, при решении которой находится параметр a , и длинная сторона отвала выглядит следующим образом:

$$F := Spri \cdot hot + 0.5 \cdot (0.5 \cdot hot^2 \cdot 2 \cdot (a + 0.5 \cdot a) + 4 \cdot 0.5 \cdot hot^3) - (Qvi - Qispi).$$

Подставляя значение параметра a , найдём проектируемую площадь отвала:

$$Soti := 0.5 \cdot a^2 + 1.50 \cdot (1.1 \cdot hv1 + 1.1 \cdot hri - hgi) \cdot a + 2.0 \cdot (1.1 \cdot hv1 + 1.1 \cdot hri - hgi)^2.$$

Расчётная площадь рекультивации (в последнем периоде) будет меньше площади отвала на величину площади откосов: $Sreci := Soti - 0.5 \cdot Stri$.

Объём проектируемого отвала вскрышных пород определяется занимаемой площадью, которую с его помощью можно рекультивировать, и средней высотой отвала, ограниченной глубиной выемки, с учетом усадки грунта и засыпки его почвенным слоем.

В нашем случае принята прямоугольная форма отвала. Отвал имеет плоскую вершину, а в сечении – трапециевидную форму, что соответствует его размещению на открытой поверхности и углу естественного

откоса рыхлых пород, который принят в 45 градусов. Сама площадь отвала будет ограничена площадью заранее подготовленной выемки. Для организации предлагаемого рационального землепользования необходимо при составлении проекта вскрышных работ предусмотреть засыпку отработанных карьерных выработок на высоту естественной поверхности.

После выполнения всех рекультивационных работ неизбежно останется нерекультивированный объём, величина которого приблизительно может быть выражена по отношению к рекультивированному объёму через среднюю величину коэффициента вскрыши для месторождения, так как площади добычи полезного ископаемого и вскрыши приблизительно равны. Соответствие этому условию будет отражать наиболее оптимальную организацию процесса рекультивации. Уменьшение величины рекультивируемого объёма может быть вызвано двумя факторами: во-первых, использованием части вскрышных пород в других целях, что является допустимым, во-вторых, формированием отвалов за пределами карьерных выемок либо превышением их высоты по сравнению с ненарушенной естественной

поверхностью, что является недопустимым с точки зрения рекультивации.

Проиллюстрируем использование предлагаемой модели на основе данных об изменении запасов полезного ископаемого и геологической разведки по Пелагиадскому месторождению известняка-ракушечника.

На основании результатов выполненных нами модельных расчётов, представленных в табл. 1, видим, что в случае реализации условий оптимального (модельного) размещения вскрышных пород при 20% использовании вскрышных пород для других целей, возможна рекультивация около 52% площади отработанных горных выработок. Максимально возможное соотношение рекультивируемой площади по отношению к площади вскрыши (без учета площади откосов отвалов), рассчитанное на основе коэффициента вскрыши, могло составить 61%.

Сравнение с фактическими величинами площади горных выработок, отвалов вскрышных пород и рекультивируемой площади позволяет сделать выводы, что превышение фактической площади выемок над площадью отвалов в 1,74 раза свидетельствует: во-первых, о большей доли использования вскрышных пород по сравнению с модельной, а во-вторых, о нерациональном складировании, то есть формировании отвалов большей высоты, чем естественная поверхность. Фактическая доля рекультивированной площади на момент обследования составляла около 40% площади горных выработок, что на 12% меньше моделируемой.

С точки зрения моделирования эколого-экономических аспектов также важен расчет величины ущерба, наносимого землям при разработке месторождения, и сравнение его с показателями доходности. Рассчитанный нами годовой ущерб, наносимый землям при современных объёмах добычи строительных материалов по месторождению, составляет около 890 тыс. руб. (коэффициент экологи-

ческой значимости территории – 1,9), что выше суммы дифференциальной горной ренты – 690 тыс. руб., но несколько ниже суммы чистой прибыли, составляющей 1075 тыс. руб. [1, 4].

Эти показатели свидетельствуют о высокой величине экологического ущерба, сопоставимой с прибылью предприятий. Сравнить эти показатели можно на основе применения предложенного В.Е. Домбровской коэффициента риска, рассчитываемого как соотношение ожидаемых величин экономического ущерба и прибыли [3, 182-184]. На исследованном нами месторождении оцениваемое его значение составляет – 0,828, что свидетельствует о критическом уровне экологического риска.

Предложенный нами модельный подход позволяет прогнозировать объём рекультивационных работ и восстанавливаемые площади.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Временная методика определения предотвращённого экологического ущерба. М.: Госкомитет РФ по охране окружающей среды, 1999.
2. Доклад Государственного совета Российской Федерации «О совершенствовании системы государственного регулирования в сфере охраны окружающей среды». 2010.
3. Домбровская В.Е. Математическая модель максимизации прибыли с учётом эколого-экономического ущерба, наносимого окружающей среде. // Вестник Тверского государственного университета. Серия: Биология и экология. 2005. № 1.
4. Панков С.А. Анализ доходности горнодобывающих предприятий в процессе оценки месторождений общераспространённых полезных ископаемых // Вестник Московского государственного областного университета. Серия «Экономика». 2009, № 3.
5. Приложения к докладу Государственного совета Российской Федерации «О совершенствовании системы государственного регулирования в сфере охраны окружающей среды». 2010.