

УДК 625.07  
ББК 38.3  
М-74

*Трунов Иван Трофимович, доктор технических наук, профессор Ростовского государственного строительного университета;*

*Багмет Максим Евгеньевич, заведующий отдела гидропор НИИ;*

*Жердева Анна Анатольевна, старший преподаватель Ростовского государственного строительного университета;*

*Бурдовицына Анастасия Михайловна, старший преподаватель Ростовского государственного строительного университета;*

*Родимцев Павел Геннадьевич, кандидат географических наук, доцент ФГБОУ ВПО «Майкопский государственный технологический университет», e-mail: [rodimcev@rambler.ru](mailto:rodimcev@rambler.ru).*

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНГРЕДИЕНТОВ МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ (ШИХТ)  
И ИХ РАЦИОНАЛЬНОЕ (БЕЗОТХОДНОЕ) ИСПОЛЬЗОВАНИЕ  
(НА ОСНОВЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ)**  
(рецензирована)

*В статье рассматривается важная проблема управления качеством с безотходным и эффективным использованием минеральных ресурсов по конечным товарным продуктам. Решение данной проблемы возможно только при условии использования современных ГИС-технологий, применяемых на всех стадиях (СТЦ), с обязательным решением экологических проблем.*

*Ключевые слова: математические модели, полезные ископаемые, атомно-молекулярная парадигма химических элементов и минералов, сплошные среды, ГИС-технологии.*

*Trunov Ivan Trophimovich, Doctor of Technical Sciences, professor of Rostov State University of Civil Engineering;*

*Bagmet Maxim Eugenjevich, head of the department of hydro tests of SRI;*

*Zherdeva Anna Anatoljevna, senior lecturer of Rostov State University of Civil Engineering;*

*Burdovitsyna Anastasia Mikhailovna, senior lecturer of Rostov State University of Civil Engineering;*

*Rodimtsev Pavel Gennadjevich, Candidate of Geography, associate professor of FSBEI HPE "Maikop State Technological University», e-mail: [rodimcev@rambler.ru](mailto:rodimcev@rambler.ru).*

**MODELING OF INGREDIENTS OF MINERAL RESOURCES AND THEIR RATIONAL  
(NONWASTE) USE (BASED ON GIS-TECHNOLOGIES)**  
(reviewed)

*The article reveals the problem of quality control with no waste and efficient use of mineral resources in the final commercial product. The solution to this problem is possible only with the use of advanced GIS technologies used at all stages (STC) with binding solution of environmental problems.*

*Keywords: mathematical models, minerals, atomic-molecular paradigm of chemical elements and minerals, continuous media, GIS technology.*

Моделирование ингредиентов минеральных ресурсов на всех стадиях сквозных технологических циклов (СТЦ) производства, из них различных конечных продуктов с управлением качества на всех стадиях СТЦ и рациональным (безотходным) использованием, является важнейшей народнохозяйственной проблемой. Эффективно решить эту проблему можно только на основе высоких ГИС-технологий, применяемых на всех стадиях СТЦ (при обработках полезных ископаемых, первичной крупнокусовой сортировке, формировании шихт, их обогащении, переработке концентрата и производстве из него конечных продуктов, управлении качеством всех возникающих отходов СТЦ и в шламохранилищах), производстве из многочисленных отходов рентабельных попутных продуктов (строительных материалов) и рекультивации земель. Составной частью этой проблемы являются экологические аспекты: управление качеством почв по территории зон агломераций и стабилизация качества социальной среды. При этом во всех отходах и шламохранилищах необходимо учитывать гранулометрический состав минеральных частиц (особенно размером 0,25-0,0005 мм) и их радиометрические (электронные, ионные и атомно-молекулярные свойства) с обоснованием конкретных ГИС-технологий.

Основой для решения этой проблемы являются моли морфологии пластов минеральных ресурсов и их качества (на основе атомно-молекулярной парадигмы).

Моделирование морфологии пластов выполняется аналогично рельефу земли по результатам разведочных скважин, и уточняются затем в процессах отработки полезных ископаемых. Поскольку морфология пласта скрытая поверхностью (нередко с неопределенными контактами), то ее случайные значения существенно превышают соответствующие величины топофункции рельефа земли. Качество полезного ископаемого определяется в основном содержанием в нем полезных и негативных компонентов, некондиционных и породных масс.

В настоящее время любые объемы минерального вещества (земель) формализуются исследователями как физико-химическую систему (ФХС), под которой понимают многофазную многокомпонентную сплошную среду, образованную совокупностью различных химических элементов, распределенную в пространстве и переменную во времени. В каждой точке гомогенности этой «геохимической среды» и на границах раздела фаз происходит перенос вещества, энергии и импульса.

Свойства ФХС можно реализовать в виде гипсометрических и векторных изолиний, характеризующих их пространственные графические модели. Эти модели указывают на закономерности формирования средних значений различных ингредиентов (химических элементов)  $C_i$  по элементам объема  $D_3$ , элементам структур и участкам  $D_6$  минерального вещества (земель) и указывает на изменение соотношения между ингредиентами с изменением размеров  $D_6$ . Причем, во всех случаях значения суммы  $C$ , образующих  $D_6$ , относятся к координатам  $l_3$ ,  $D_3$  и т.д.

Топофункции изомощностей  $f(M)$  различных объемов характеризуют совокупности различных минералов в каждой точке  $f(d)$ , а производные от них  $f_1(\overline{C_1})$ ;  $f_2(\overline{C_2})$  ...;  $f_m(\overline{C_m})$  – совокупности химических элементов одного вида, которые входят в состав данного вещества (породы):

$$f(M) = f_1(\overline{C_1}) + f_2(\overline{C_2}) + \dots + f_m(\overline{C_m})$$

Поскольку количество каждого вида химических элементов определяется в процентах (долях) от  $f(M)$ , то:

$$f(M)(x, y, z) = \sum C_i = C_1 + C_2 + \dots + C_m = 100\%,$$

где  $C_1, C_2, \dots, C_m$  – количество (в процентах) каждого вида химических элементов (минералов), образующих изомощности объемов пород  $D_6$ .

Аналогично изменяется соотношения между минералами в любых  $D_6$ .

Все качественные показатели объемов минерального вещества подразделяют на две группы: параметрические и непараметрические. К параметрическим относят содержание в элементарных объемах и по мощности различных химических элементов или минералов ( $C_1, C_2, \dots, C_n$ ), общая сумма  $\sum_i^N C_i$  которых образует элементарный объем  $D_3$ , а также любые другие объемы различных минеральных масс (включая почвы и отходы).

К непараметрическим относят геологические, гидрогеологические, прочностные, радиоактивные, электромагнитные и другие свойства минералов.

Качественные ингредиенты  $\sum C_i$ , образуют различные виды минерального вещества (почв, грунтов, полезных ископаемых), их объемы и взаимосвязаны условиями:

$$\begin{aligned} \sum C_i &= 100\% = const, \\ \sum C_0 &= 100\% - \sum C_H, \\ C_{0j} &= 100\% - \sum C_{HOnj}, \\ C_{0j} &= \sum C_0 - \sum C_{0-j} \end{aligned}$$

где  $\sum C_0$ ,  $\sum C_H$  – содержание в пробах различных химических элементов, соответственно наиболее опасных (основных) и неосновных,  $C_{0j}$ ,  $\sum C_{0-j}$  – содержание одного из наиболее опасных химических элементов и сумма остальных опасных элементов.

В силу этих условий образуется замкнутая система различных параметрических компонентов и между ними всегда существует тесная корреляционная связь, которые характеризуют формирование средних значений  $\bar{C}_j$  различных ингредиентов в каждой точке и по его участкам любых размеров, т.е.  $\bar{C}_1 + \bar{C}_2 + \dots + \bar{C}_n = f(x, y, z)$ .

Интегральные функции для таких показателей служат оценкой не только изменения векторов (уклонов), но и изменения средних значений  $\bar{C}_T$  минералов  $\bar{C}_j$ , которые образуют объемы  $D_3$  и  $D_6$ , т. е. эти функции указывают на характер изменения  $C_i$   $C_T$   $\sum C_i$   $\sum C_T$  в различных объемах в любом процессе и при любом последовательности их размещения. Дифференциальные функции характеризуют соотношение в некоторых объемах сырья различных сортов руд.

Обе функции служат оценкой характера изменения среднего за определенное время  $t$  (расстояние) и вариаций значений  $C_j$  относительно  $\bar{C}_j$ . В случаях, когда изменчивость  $i - x$  значений  $C$  не зависит от  $\tau$  или  $l$  (их средние значения  $\bar{C} = const$ ), функция представляет собой обычный закон распределения, который также является законом соотношения в  $D$  различных значений  $C_j$  (включая различных загрязнителей).

Поэтому дифференциальные векторные функции  $\sigma_i(l)$  служат целевой функцией  $F(\Pi_c)$  различных значений  $C_j$  одного вида минералов, т.е.:

$$\sigma(l) = \sigma_{ci}(l) = p_i(\bar{C}_i, \sigma) D_i(x, y) = p_1 + p_2 + \dots + p_n,$$

где  $p_1, p_2, \dots, p_n$  – доли совокупности  $j - x$  значений  $C_j$  полезного ископаемого в определенных объемах  $D_i$ .

Совокупности дифференциальных функции различных показателей характеризуют целевую функцию системы  $F(\Pi_c)$  всех ингредиентов минерального вещества:

$$\varphi(\Pi_c) = \sigma_{c1}(l) + \sigma_{c2}(l) + \dots + \sigma_{cn}(l) = p(c_1, \sigma) D(x, y) + p(c_2, \sigma) D(x, y) + \dots + p(c_n, \sigma) D(x, y)$$

Дифференциальные векторные функции являются точными функциями различных характеристик этого вещества по его разным объемам, поэтому функция изменения векторов (линий регрессий) одного вида минералов характеризует изменение корреляции между векторами различного ранга. Совокупности функций различных показателей – ранговую сопряженную корреляцию между их векторами и частными средними различного порядка, вид функциональной регрессии и корреляции (симметричной, несимметричной и т.д.), формирование частных и общих средних  $\bar{C}$ , варьирование относительно  $\bar{C}$  различных  $i$ -х значений  $C$  и т.д.

Иначе говоря, совокупность функций  $F(\Pi_c)$  указывает на виды сопряженной корреляции между минералами, образующими ФХС по участкам земли, их векторами и частными средними разного порядка. Поэтому такие показатели и их уравнения регрессии являются взаимосопряженными.

При прямолинейном размещении значений различных показателей  $C_{\phi i}$  и  $C_{a i}$  сырья связь между ними находим при помощи корреляционного уравнения общего вида:

$$C_{\phi i} = C_{\phi} + \rho (C_{a i} - C_a), \quad \Delta C_{\phi i} = \Delta C_a \rho$$

Поскольку  $\Delta \rho = \frac{\Delta C_{\phi i}}{\Delta C_a}$ , то форму связи любых видов размещения значений  $C_{\phi i}$  определяем относительно прямолинейного размещения показателей  $C_{a i}$ :

$$\Delta C'_{\phi i} = \Delta C_a^\alpha \rho^\beta, \quad C_{\phi i} = C_{\phi} + (C_{a i} - C_a)^\alpha \rho^\beta,$$

где  $\Delta C'_{\phi i}$  – отклонения значений  $C_{\phi i}$  относительно их прямой регрессии.

В этой зависимости значения  $C_{\phi i}$  являются функциями изменения показателей корреляции частных векторов по отношению к общему. В первой части этого равенства изменяется только коэффициент  $\rho^\beta$ , который и характеризует ранговую корреляцию между векторами различного порядка функции и общим прямолинейным вектором аргумента. Причем, вид изменения корреляции при изменении модуля функции характеризует  $\alpha$  (при  $\alpha = 1 \rho = const$ , при  $\alpha \neq 1 \rho \neq const$ ).

Показатель  $\rho^\beta$  служит мерой корреляционного отношения  $\xi_0$  (коэффициента корреляции  $\xi_r$ ), ранговой корреляции векторов различного порядка (при  $\alpha = 1 \xi_0 = \xi_r$ , при  $\alpha \neq 1 \xi_0 \neq \xi_r$ ). Для определения составляем систему нормальных уравнений с расчетами неизвестных их параметров  $\rho$ ,  $\Delta C_a$  и  $C_{\phi}$ . Необходимо заметить, что показатели корреляции  $\xi_c$ ,  $b^n$ , представляют лишь форму связи, а тесноту связи  $\xi^x$  характеризуют отклонения  $j - x$  значений  $C_{\phi}$  и  $C_a$  от корреляционного уравнения:

$$\eta = \frac{\sigma_{\phi a}}{l_{bk}} \quad \sigma = \sigma_{\phi}^2 + \sigma_a^2,$$

где  $\sigma_{\phi}^2$ ,  $\sigma_a^2$ , – дисперсия значений  $C_{\phi}$  и  $C_a$ ;  $\sigma_{\phi a}$  – их общее среднеквадратическое отклонение;  $l_{bk}$  – длина корреляционного уравнения (выравнивающей линии).

По этим формулам можно определить дифференцировано тесноту связи для значений  $C_{\phi}$  и  $C_a$  при различных величинах  $l_{bk}$ , т.е. установить изменение тесноты связи в зависимости от размеров участков месторождений.

Интегральные и дифференциальные векторные функции различных минералов характеризуют и их множественную корреляцию, которая указывает на общий характер формирования их средних значений по участкам месторождений полезных ископаемых. Поскольку  $C_i = 100\% - \sum C_k$ , то корреляционное уравнение и его характеристики для компонента служат одновременно корреляционным уравнением и для суммы остальных  $\sum C_k$  и при изменчивости  $C_i$  изменяется  $\sum C_k$ . Это

условие во многом предопределяет наличие корреляционных связей между компонентами и тогда, когда полезные ископаемые (горные породы) состоят из минералов без преобладания каких-либо видов, а также и их непараметрических ингредиентов: крепости, растворимости, различных геологических, радиационно-энергетических и технологических свойств рудных (породных) масс, их шихт и полученных из них промежуточных полупродуктов и конечных продуктов, возникающих отходов (загрязнителей) и качество (включая в шламохранилищах). В зависимости от этих условий изменяются корреляционные связи и закономерности формирования их средних и различных соотношений. Поэтому необходимо создать цифровые модели всех качественных ингредиентов полезных ископаемых (ПЦМРГ), которые образуют взаимосвязь:

$$\sum K = \sum C_i K(C_i, K(C_2, \Pi, \Gamma, T, \Theta, \dots)),$$

где  $C_2, \Pi, \Gamma, T, \Theta, \dots$  – геологические, прочностные, гидрогеологические, технологические, энергетические (радиометрические) и другие показатели.

Непараметрические качественные ингредиенты  $C_i$  полезных ископаемых не образуют замкнутую систему и их связи могут быть различными и нередко отсутствуют. Однако все ингредиенты  $C_i$  взаимосвязаны с энергетическими свойствами  $\Theta$  (атомно-молекулярным строением вещества, электронно-ионными системами, электромагнитными, радиометрическими и другими свойствами), которые предопределяют затем вид ГИС-технологий с обоснованием наиболее эффективных систем автоматического управления качеством всех производственных процессов в сквозном технологическом цикле (СТЦ) территориально-промышленных комплексов (ТПК). Энергетические свойства также не взаимосвязаны друг с другом и не образуют замкнутую систему, но они присущи только одному виду минерала, его илистым частицам и их технологическим свойствам.

$\sum K_2$  указывают на соотношение в разных объемах  $D$  количества минералов  $C_o$  и  $C_n$  (с учетом их энергетических свойств и являются целевой функцией одного вида показателей:

$$\delta(\sum K_2 = (P_1 + P_2 + P_3 + \dots) D C_{om} \Theta \delta_{or}(x, y),$$

где  $P_1, P_2, P_3$  – доли совокупности  $j$ -х значений  $C_{om}$  в определенных объемах  $D(x, y)$  с их энергетическими свойствами.

Совокупность векторных и корреляционных функций качественных показателей (параметрических и непараметрических) руд образуют функционал  $\Phi_n$  этих показателей, который является их математической моделью:

$$\Phi_n = \begin{bmatrix} \sigma_{\phi\alpha}(l) + \sigma_{xx}(l) \\ \sigma_{\phi\alpha}(l), \sigma_{\alpha}(l), \sigma_{\beta}(l) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{\phi\alpha}(\bar{C}_{\phi}, \sigma_{\phi}) + P_{kx}(\bar{C}_x, \sigma_x) \Theta \\ P_{\phi\alpha}(C_{\phi}, \sigma_{\phi}); P_{\beta}(C_{\beta}, \sigma_{\beta}) \Theta \\ D_k(x, y, z) \end{bmatrix} =$$

$$= \left[ \sum_1^k \Sigma P_{\phi\alpha}^{\Theta}(\bar{C}_{\phi}, \sigma_{\phi}) + P_{kx}^{\Theta}(\bar{C}_x, \sigma_x) \dots D_3(x, y, z) \right]$$

где  $\sigma_{\phi\alpha}(l), P_{\phi\alpha}(\bar{C}_{\phi}, \sigma_{\phi}), \sigma_{xx}(l)$  – математические модели основного полезного компонента, коррелируемых и некоррелируемых с ним неосновных  $C_n$  в  $k$  – х объемах сырья  $D_k, D_i$  и в элементарных  $D_3$ ;  $\sigma_{\alpha}(l), P_{\phi\alpha}(C_{\phi}, \sigma_{\phi}), \sigma_{\beta}(l), \Theta$  – математические модели непараметрических качественных показателей сырья, коррелируемых и некоррелируемых с параметрическими.

Этот функционал служит основой для создания моделей всех полученных при промышленном переделе многокомпонентных масс. Объемы потоков шихты  $D_{u(k)}, D_{u(kn)}$  образуются из  $D_3$ , т.е.  $D_{u(k)} = \sum D_3 = f(t, v)$ .

Из потоков шихты при их переработке производятся потоки промежуточных многокомпонентных масс  $J$ , т.е.

$$J = \varphi(\Phi_n) = \Phi \begin{bmatrix} \varphi_1 [P_{1\phi\alpha}^{\Theta}(\bar{C}_{\phi}, \sigma_{\phi}) + P_{likx}(\bar{C}_x, \sigma_x) \Theta \dots] D_3, t, \varepsilon_1, \varphi_1(\Pi, r, t) \Theta \\ \varphi_n [P_{n\phi\alpha}^{\Theta}(\bar{C}_{\phi}, \sigma_{\phi}) + P_{nkx}(\bar{C}_x, \sigma_x) \Theta \dots] D_3, t, \varepsilon_2, \varphi_n(\Pi, r, t) \Theta \end{bmatrix},$$

где  $\varepsilon_1, \varepsilon_2$  – извлечение основных полезных компонентов в промежуточные и конечные продукты;  $\varphi_1(\Pi, r, t), \varphi_n(\Pi, r, t)$  – дополнительные функции, учитывающие влияние технологических показателей на количественные  $\Pi$  и качественные  $r$  потери, возникающие на различных стадиях добычи и переработки сырья.

Этот функционал ЦММ, ЦМР, ЦМКГЭ, ПЦМРГЭ служит основой для создания наиболее эффективных ГИС-технологий. Вопросы создания таких территорий выполняются в несколько стадий.

Важнейшее значение при формировании рудных масс (на стадиях отработки полезных ископаемых) и шихт (на первой стадии обогащения) является количество полученных из этих масс полупродуктов «К», конечных продуктов «Пк», отходов (хвостов) «Хi» и извлечение полезных компонентов пк:

$$\begin{aligned}
 D &= K + X_1; \quad DC_p(\mathcal{E}) = KC_p(\mathcal{E}) + X_1 C_p(\mathcal{E}) \\
 X_1 &= D \frac{C_p(\mathcal{E}) - C_p(\mathcal{E})}{C_k(\mathcal{E}) - C_x(\mathcal{E})}; \quad K = D \frac{C_p(\mathcal{E}) - C_{x1}(\mathcal{E})}{C_k - C_{xc}} = D C_p(\mathcal{E}) n_k = DE \frac{C_p(\mathcal{E})}{C_k(\mathcal{E})}; \\
 DC_p(\mathcal{E}) &= nC(\mathcal{E}) + X_1 C_{x1}(\mathcal{E}) + X_2 C_{x2}(\mathcal{E}) + R_2 C_2(\mathcal{E}); \quad D = n + X_1 + X_2 + R_2 \\
 n &= K \frac{C_k(\mathcal{E})}{C(\mathcal{E})}; \quad n_c = D_p E \\
 D_p C_p(\mathcal{E}) E &= (K_0 C_{k0(\mathcal{E})} + K_1 C_{k(\mathcal{E})}) E_k E_n, \quad E_{ck} = (E_1 + a E_3) E_2 \\
 n &= n_1 - \Delta_1 - \Delta_2 + \dots \quad \Delta_n = n_0 - \sum \Delta_{ij}
 \end{aligned}$$

где  $\sum \Delta_{ij}$  – потери на различных стадиях подготовки и производстве из полезных компонентов конечных товарных продуктов,  $(\mathcal{E})$  – индекс измерения энергетических свойств химического элемента, в результате перегруппировок его атомно-молекулярной системы. Параметры  $n_k, E, n, n_c, X_1, X_2$  – определяют оптимальные условия формирования качества рудных масс (шихт), обеспечивающих безотходное и экономически наиболее эффективное использование минеральных ресурсов (с развитием различных предприятий строительной отрасли с высокой рентой-2). Эти функции характеризуют эффективность применяемых ГИС-технологий (производственных процессов) и служат обоснованием для их совершенствования (особенно на стадиях управления качеством хвостов в шламохранилищах и очисткой стоков от вредных примесей и компонентов). Все современные ГИС-технологии разрабатываются на основе ГИС комплексной оценки минеральных ресурсов (при слабом взаимодействии лазерных лучей оптико-электронного тахеометра с атомно-молекулярной системой минерального вещества), при котором определяется вид вещества и рассчитываются для них энергия, обеспечивающая разделительные процессы и ГИС-технологии автоматического управления качеством с безотходным и рациональным использованием полезных ископаемых в СЦ. Эти условия служат для создания математических моделей в СЦ.

Их обоснованием служат функционал  $F_k$ , вышеприведенные уравнения и процессы перегруппировок их атомно-молекулярных систем, в результате которых изменяются прочность (крепость) минералов, их энергия и взаимодействия электронов и ионов с лазерными лучами лидера (оптико-электронного тахеометра) или устройства с радиометрическими ГИС-технологиями. Для процессов перемещения отработанных полезных ископаемых и формирования шихт для их обогащения математическими моделями являются функционалы  $F_k V(\mathcal{E}_a)$ :

$$F_k V(\mathcal{E}_a) = F_{k1} V_1(\mathcal{E}_1) + F_{k2} V_2(\mathcal{E}_2) + \dots + F_{kn} V_n(\mathcal{E}_n),$$

где  $V(\mathcal{E}_a), V_1(\mathcal{E}_1), V_2(\mathcal{E}_2), \dots, V_n(\mathcal{E}_n)$  – скорости перемещения отработанных рудных масс и созданных из них шихт для процессов их обогащения и производства промежуточного продукта.

Необходимо отметить, что целесообразна и эффективна только отдельная переработка в зависимости от содержания в рудных массах различных ценных компонентов (никель, медь, кобальт и других), от гранулометрического состава кристаллов (с явнокристаллической серой, среднекристаллической и тонкодисперсной) или от их концентрации по отдельным участкам (слоям) месторождений полезных ископаемых. Последнее условие характерно для различных месторождений целестиновых руд, из которых целесообразно создавать на стадиях горных работ четыре шихты (три рудные и одну породную). Из первой шихты (очень богатой) достаточно еще на карьере отделить ГИС-технологиями некоторые вредные компоненты (примеси) и она сразу становится промежуточным продуктом предприятия (готовым концентратом). Из второй и третьей шихты целесообразно сначала радиометрическими сепараторами отделить на карьере от рудных масс до 50% крупных кусков породы ( $d \geq 5$  см) и разделить его общий поток по сортам (в соответствии с их технологическими свойствами), а породную массу сразу использовать для производства строительных материалов. Полученный черновой концентрат направляется для дальнейшего обогащения с применением других процессов (магнитных, ферромагнитных и электрофлотационных, фазовых гидроциклонных и т.д.) и радиометрических систем. На этой стадии производятся концентраты высокого качества (промежуточный продукт). В процессе обогащения извлекаются очень вредные компоненты (мышьяк, селен) и образуется большое количество некачественных отходов (пульпы). Затем выполняется их перемешивание и сепарация (с применением радиометрических сорбционных систем) с повышением их качества до оптимального уровня

(кондиционного), направляются раздельно в шламохранилище в зависимости от технологических и энергетических свойств илистых (коллоидных) частиц минералов (химических элементов), а также способов их подготовке к автоматическому извлечению из пульпы. В дальнейшем эти хвостомассы используются для производства строительных материалов и удобрений. Весь процесс также выполняется автоматически (на основе ГИС-технологий).

В последние десятилетия для различных видов минеральных ресурсов разработаны эмиссионно-радиометрические, абсорбционно-радиометрические и различные комбинированные (в зависимости от свойств сырья) ГИС-технологии по улучшению качества исходных, промежуточных и конечных масс (включая отходы) до оптимального уровня.

К эмиссионно-радиометрическим относятся: фотометрические, люминесцентные, фотонейтронные, рентгенометрические и нейтронно-активационные ГИС. Фотометрические основаны на различных светоотражательных свойствах и эффективны при сортировке широкого круга минерального вещества: а) нерудного сырья (кварц, известняк, доломит, мел, барит, каменная соль, мрамор, полевой шпат, слюда, гипс, тальк, магнезит); б) руд черных, цветных и благородных металлов; в) при отделении карбонатов от оксидных пород, доломитов от известняков, каменной соли от ангидрида; г) при отделении различных примесей и включений от всех вышеприведенных видов сырья (грунтов), почв, сыпучих строительных материалов и отходов.

Люминесцентные основаны на различных холодного свечения минералах под действием рентгеновского, ультрафиолетового и других видов излучений. Эти методы эффективны для повышения качества алмазов, шеелитовых, повелитовых и флюоритовых руд, а также некоторых видов нерудного сырья и отходов.

Рентгенометрические основаны на флуоресцентном излучении химических элементов с атомным номером  $Z \geq 20$  многих видов нерудного (калийные соли, слюды, тальк) и рудного (содержащих вольфрам, молибден, селен, мышьяк) сырья и их отходов. Нейтронно-активационные основаны на использовании искусственной радиоактивности, возникающей при облучении различных руд (флюоритовых железокarbonатных, золотосодержащих, медных и т.д.), пород (алюмосодержащих, фосфатосиликатных и т.д.) и их отходов. Фотонейтронные основаны на свойствах изотопов бериллия испускать нейтроны под воздействием гамма-квантов.

Абсорбционно-радиометрические основаны на использовании степени снижения двух характеристик лучевых реакций: 1) интенсивности потоков вторичных излучений (разных пород и руд); 2) энергии первичных электромагнитных полей (количество  $N$  и скорости  $V_n$  импульсов этих характеристик излучений обратно пропорциональны значениям содержания полезных компонентов). При определенных соотношениях между основными физико-техническими параметрами и величинами  $N$ ,  $V_n$  образуются разделительные процессы руд и пород. На 1-м свойстве созданы нейтронно-абсорбционные, гамма-абсорбционные, радио-абсорбционные методы. На 2-м – индукционные, емкостные и радиорезонансные методы.

Нейтронно-абсорбционные можно применять на всех стадиях рудоподготовки для отделения пород борных, боросиликатных, литиевых, датолитовых руд и редкоземельных элементов. Этот метод легко сочетается с различными способами обогащения рудных шихт (в тяжелых суспензиях, магнитной сепарации и т.д.), что позволяет на последующих стадиях промышленного передела создавать по три-четыре потока ценных промежуточных продуктов (черновых концентратов). Гамма-абсорбционные применяют для повышения качества углей (в том числе и отделения от угольной массы пород и шлама), кварцсодержащих руд (черных, цветных, хромовых, редких металлов) и пород. Радиорезонансные – для сепарации крупнокускового материала породных масс и обогащения руд (черных, магнетитовых, титаномагнетитовых и т.д.), цветных (серно-колчеданных, свинцовых, свинцово-цинковых, оловянных, медноникелевых, вольфрамовых) и редких металлов (сурьмяных, ртутных, молибденовых, танталониобиевых) и т.д.

Комбинированные схемы радиометрической сортировки и сепарации целесообразно применять для многих видов минерального сырья при условиях, когда необходимо использовать не од-но, а несколько свойств рудного и вторичного сырья (например: медноникелевых, боратовых, апатитнефелиновых, сульфидных, фосфатных, доломитовых, вольфрамо-молибденовых и других).

Следует отметить, что в течение всего 20 века применялась теория и методы об усреднении всех типов (сортов) руд по конкретному месторождению полезных ископаемых (и даже по нескольким месторождениям, расположенных в районе размещения ТПК) в одну шихту с подготовкой ее переработки по технологическим свойствам самых низких (по качеству) или средних сортов руд (по некоторым предприятиям эта методика применяется и в настоящее время). Применялась эта теория и

при эксплуатации Арикского месторождения целестиновых руд (табл. 1). Основой методов усреднения является условие  $\bar{C} = const$  (что выполняется при помощи громадных усреднительных складов), а вариации полезных компонентов  $\sigma \rightarrow \min$ .

Анализ показывает – эти условия неэффективны для традиционных технологий и, особенно, для радиометрических ГИС (для которых необходимо однородная шихта по энергетическим свойствам).

Следовательно, разработанная методика обеспечивает: а) повышение качества шихты в 1,3-1,5 раза; б) сокращение общего количества потерь основного полезного компонента в 2 раза и потерь сырья на карьерах на 30-40%; в) повышение качества отходов производства и их использование для производства стройматериалов и удобрений; д) снижение себестоимости 1 т основного конечного продукта на 2,5-3,0% и повышение прибыли от всех продуктов в 2 раза.

Важнейшим значением при использовании минеральных ресурсов являются проблемы рекультивации земель и восстановления качества почв. При отработках полезных ископаемых открытым способом нарушается до 75% территории района горных работ. При подземной разработке возникают нарушения поверхности: провалы, озера и заболоченности в провалах, отвалы шахтной породы, просадки и обрушения значительных участков территории.

Таблица 1 - Состав руды Арикского месторождения

№ п/п	Руды, образующие Арикское месторождение целестина	Из очень богатых руд, С = 70-90%	С преобладанием руд С = 15-25% и кристаллов целестина $\alpha = 0,2-1,0$ мм	С преобладанием руд С = 10-18% и кристаллов целестина $\alpha = 0,05-0,2$ мм	Шихта из всех сортов руд
Рудный состав					
1	Руда со сплошной минерализацией целестина	90,0	5,0	5,0	12,0
2	Руда с вкрапленным целестином и с преобладанием размеров его кристаллов $\alpha = 0,05-0,2$ мм	2,0	55,0	25,0	28,0
3	Руда с вкрапленным целестином и с преобладанием размеров его кристаллов $\alpha = 0,2-1,0$ мм	8,0	25,0	55,0	23,0
4	Породы С < 10%	-	15,0	15,0	32,0
5	Содержание целестина в шихтах	80,0	20,5	21,5	21,0
Гранулометрический состав					
6	Классы				
	0,02-0,05 мм		6,0	2,0	4,0
	0,05-0,1 мм		42,0	9,0	16,0
	0,1-0,2 мм		34,0	12,0	20,0
	0,2-0,3 мм		14,0	42,0	23,0
	+0,3 мм		4,0	35,0	19,0
Выход продуктов из 1 т шихты					
7	Концентрат	1,0	0,19	0,14	0,14

Кроме того, по разрешенным земельным участкам развиваются эрозийные природные процессы, из-за чего увеличиваются площади территории с неблагоприятными условиями, а также ущерб от производимых горных и строительных работ.

Рекультивированные территории предназначаются: а) в градостроительстве для организации мест отдыха и паркового ландшафта, игровых и спортивных площадок, зеленых насаждений различного назначения, приемных бассейнов для отходов промышленности, строительства

различных подземных сооружений, а также жилых зданий, складских объектов и т.д.; б) в сельском хозяйстве для создания прудов и водоемов для водоплавающей птицы и разведения рыбы, устройства осветителей и осадочных резервуаров, создание пастбищ, садов, виноградников, сельхозугодий, а также для выращивания различных зерновых культур.

При безотходных ГИС-технологиях значительно повышается экономическая эффективность и сокращаются объемы восстановительных работ.

Все работы по рекультивации земель выполняют в несколько стадий: а) инженерная подготовка территории для последующего освоения в градостроительстве или сельском хозяйстве; б) биологические, химические и другие специальные инженерные мероприятия, позволяющие восстановить качественные характеристики грунтов или создать благоприятный для жизни и деятельности человека ландшафт территории; в) благоустройство этих территорий или производство различных агровосстановительных процессов почвенного слоя грунтов; г) ГИС-технологии, позволяющие автоматизировать все процессы по повышению качества и эффективности восстановительных работ.

В первую технологическую стадию входят следующие виды работ: 1) создание мелиоративных водоотводящих систем, укрепление дна и закладка породой отработанного пространства карьера, вертикальная планировка этого пространства или верхних плоскостей отвалов; 2) обеспечение устойчивых откосов и устройство подъездных путей и дорог; 3) насыпку плодородного грунта и почв с автоматическим управлением их качеством (на основе ГИС-технологий).

Многие породы (илы, грунты, с продуктами окисления и различными солями) непригодны для рекультивации. Вскрышные породы разделяют на следующие группы: 1) потенциально плодородные грунты пригодные для произрастания растений (почвенные слои, лессовидные суглинки, супеси и т.д.); 2) малоприспособные для растениеводства, но не токсичные (кварцевые пески, алевролиты, глаукониты, мергели, известняк и т.д.); 3) фитотоксичные грунты (сульфидные глины и супеси, тяжелые металлы и другие радиоактивные элементы).

Первую группу пород сразу используем для восстановления качества почв, вторую – для производства строительных материалов, третью – после улучшения их качества (ГИС-технологиями с отделением всех фитотоксичных элементов) для производства строительных материалов и химических веществ. Значительную часть малоценных пород второй и третьей групп используется для закладки отработанного пространства.

При рекультивации земель для сельскохозяйственных целей выполняются различные виды биологических (вторая стадия) и агровосстановительных (третья стадия) процессов почвенного слоя. На первом этапе биологической стадии целесообразно улучшить качество почвенного слоя при помощи различных удобрений и посевов, многолетних бобово-злаковых и бобово-крестоцветных растений, обогащающих почву. Через несколько лет выполняются работы третьей агровосстановительной стадии, на которой производят агротехническую обработку посева семенной массы с применением кормовых жиров, химическую мелиорацию, обработку почв буроугольной золой (богатой СО) и стоками, содержащими фенол и другие питательные вещества. На этих стадиях целесообразно применять ГИС-технологии, которые улучшают качество и сокращают сроки всех процессов.

Предложенные ГИС-технологии обеспечивают значительное повышение и стабилизацию качества природно-социальной городской среды, очень высокий экономический эффект ТПК и предприятий строительной отрасли по всем показателям. Эти условия определяют и экстремальные значения основных экономических критериев:

$$\begin{aligned} \Sigma^k * \Sigma^n C \rightarrow \max, \quad \Sigma^k * \Sigma^n R \rightarrow \min, \quad \Sigma^k * \Sigma^n Y \rightarrow \min, \quad \Sigma K_{эл} \rightarrow \min, \\ \Sigma \mathcal{E}_e \rightarrow \max, \quad \Sigma \Pi_{нз} \rightarrow \min, \quad \Sigma^k * \Sigma^n D \rightarrow \max, \quad \Sigma^k * \Sigma^n \lambda \rightarrow \min \end{aligned}$$

где  $\Sigma^k * \Sigma^n C$  – общая сумма прибыли от всех производственных комплексов промышленного  $\Sigma C_k$  и сельскохозяйственного  $\Sigma C_n$  профиля,  $\Sigma^k * \Sigma^n R$  – общая сумма всех экологических потерь,  $\Sigma^k * \Sigma^n Y$  – суммы ущербов от всех загрязнителей,  $\Sigma^k * \Sigma^n \lambda$  – суммы годовых затрат для рекультивации земель и восстановления окружающей среды,  $\Sigma K_{эл}$ ,  $\Sigma \mathcal{E}_e$  – соответственно суммы капитальных вложений и их эффективность,  $\Sigma \Pi_{нз}$  – сумма приведенных затрат при минимизации экологических потерь,  $\Sigma^k * \Sigma^n D$  – суммы годового чистого дохода от всей недвижимости (предприятий),  $k, n$  – производственные мощности соответственно промышленных и сельскохозяйственных предприятий.

#### Литература:

1. Трунов И.Т. Инженерное обустройство застроенных территорий: курс лекций / И.Т. Трунов. – Ростов-на-Дону, 2010.
2. Трунов И.Т. Системы развития экономики и управления качеством процессов ТПК и градостроительства: монография / И.Т. Трунов. – Москва: Высшая школа, 2006.



3. Трунов И.Т. Системы рационального природопользования и развития экономики недвижимости придорожных территорий: монография / И.Т. Трунов, М.Е. Багмет. – Москва: Высшая школа, 2008.

***References:***

1. *Trunov I.T. Engineering infrastructure of built-up areas: course of lectures / I.T. Trunov. (Rostov-on-Don. 2010.*

2. *Trunov I.T. Systems of economic development and quality management of processes of the TIC and Urban Development: monograph. – M.: High School. 2006.*

3. *Trunov I.T. Environmental management systems and the development of commercial property of bordering territories: monograph / Trunov I.T., Bagmet M.E. – M.: High School. 2008.*