



УДК 549; 549.1

**Г.К. Бекенова**

Институт геологических наук им. К.И. Сатпаева, г. Алматы

**ОБЪЕКТЫ И ТРАДИЦИОННЫЕ МЕТОДЫ МИКРОМИНЕРАЛОГИИ.  
ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ В ИЗУЧЕНИИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА МИКРОМИНЕРАЛОВ**

Микроминералогия - сравнительно молодое направление в геологической науке, получившее свое развитие благодаря использованию локальных методов исследования и в настоящее время, наряду с наноминералогией, существенно расширившее границы познания мира минералов. Каковы размеры изучаемых микро- и наноминералов? Если придерживаться условной систематизации размерностей, предложенной на собрании Всероссийского Минералогического общества в 1995 г., то к мегаиндивидам следует относить объекты, размер которых (хоть в одном направлении) более 1 м; макроиндивидам – от 1 до  $10^{-4}$  м (1000 – 0,1 мм); микроиндивидам – от  $n \cdot 10^{-5}$  до  $10^{-6}$  м (0,1 – 0,001 мм или 1 мкм); наноиндивидам – от  $n \cdot 10^{-7}$  до  $10^{-9}$  м (1 – 0,001 мкм) [1].

Минералогическое изучение первых двух типов перечисленных объектов - традиционное. Полные данные, требуемые для описания любого минерала, помимо информации о его местонахождении, генезисе и ассоциирующих минералах, включают в себя физические (цвет, черта, блеск, твердость, спайность, плотность и др.), в т.ч. кристаллооптические (изотропия, осность, дисперсия, плеохроизм, показатели преломления; для рудных минералов – отражательная способность и др.) свойства, химический состав с рассчитанной кристаллохимической формулой, структурные характеристики (параметры элементарной ячейки, сингония, пространственная группа) и, по возможности, описание кристаллической структуры.

Для получения всей этой информации потребуется определенное количество вещества. С мега- и макроминералами, а также криптокристаллическими агрегатами достаточного размера, сложенными из микроминералов, сложностей для проведения требуемых анализов и получения всех вышеперечисленных данных не возникает. Другое дело - микроагрегаты, состоящие из микроминералов в виде налетов, порошков, пленок, или просто одиночно рассеянные микроразмерные частицы. Здесь возникают трудности в получении достаточного количества мономинерального вещества для его изучения, и тогда на помощь исследователю приходят локальные методы анализа: электронно-зондовый микронализ, просвечивающая и сканирующая электронная микроскопия, электронно-графический и рентгеноструктурный анализ, ИК-спектроскопия и др. Для микро- и наноминералогических исследований необходима лаборатория, оснащенная современным аналитическим оборудованием, а также наличие высококвалифицированных специалистов.

Объектами микро- и наноминералогического изучения являются микро- и наноминералы геологических объектов (месторождений, местонахождений, точек минерализации, а также зон тектонического смятия или гидротермальной переработки и т.д.), тонкодис-

персных сред (почвы, коры выветривания, продукты седиментогенеза и т.д.), некоторых биологических объектов и углеродистые соединения в породах и рудах и пр.

До 60-х годов прошлого столетия ведущим методом изучения микроминералов являлась оптическая микроскопия, с помощью которой получена ценная информация, послужившая базисом для дальнейшего проникновения вглубь природного вещества [2-4 и др.]. Оптическое изучение пород и минералов до наших дней остается одним из первых и необходимых методов. Оно проводится традиционно на оптических микроскопах в проходящем и отраженном свете.

Химический состав микроминералов изучается как традиционными методами «мокрой» химии на микронавесках мономинеральных образцов, так и электронно-зондовым микроанализом. При проведении микрохимии необходимо помнить, что ее результаты построены на анализе порошка, мономинеральность которого трудно гарантировать даже при самом тщательном минеральном отборе. К этому виду анализа обращаются при необходимости определения, например, количества воды, валентности элементов, входящих в состав минералов и др.

Электронно-зондовый микроанализ или, по-другому, метод рентгеноспектрального микроанализа (РСМА) в микроминералогии является основным методом изучения химического состава микроминералов. Он позволяет проводить качественный и количественный анализ химического состава минералов на элементы от бора ( $Z = 4$ ) до урана ( $Z = 92$ ) с объемной локальностью в несколько  $\mu\text{м}^3$ . Абсолютная чувствительность метода (наименьшее количество вещества, которое можно обнаружить) составляет  $10^{-8}$ - $10^{-15}$  г [5, 6].

Относительная чувствительность метода лежит в пределах 0,1-0,001 % в зависимости от определяемого элемента и условий анализа. Относительная чувствительность устанавливает минимальное содержание элемента, которое может быть обнаружено при его равномерном распределении в минерале.

Высокая локальность метода обеспечивает возможность получения растровых изображений исследуемого объекта во вторичных, обратнорассеянных, поглощенных электронах и в рентгеновском характеристическом излучении. Эти изображения несут информацию о форме выделений микроминералов, их пространственных и относительных временных взаимоотношениях, особенностях микростроения и распределения отдельных элементов по зерну микроминерала.

Таким образом, с применением метода РСМА при исследовании микроминералов отпала необходимость в трудоемкой операции по отбору мономинеральных фракций для химического анализа; результаты микрозондового исследования всегда имеют минералогическую привязку [5, 6].

Для качественного предварительного химического анализа образец наклеивают на специальный столик, а для количественного - готовят искусственный аншлиф. Эти препараты перед помещением в объектодержатель прибора покрывают тонкой проводящей (углеродной, золотой и др.) пленкой для «стекания» заряда. Материал-наполнитель для изготовления аншлифа должен быть одновременно вязким и иметь хорошую смачиваемость, что позволит ему заполнить все микропоры и тем самым получить монолитный препарат. Аншлиф должен быть тщательно отполирован.

Метод РСМА основан на возбуждении в исследуемом образце с помощью сфокусированного электронного луча характеристического рентгеновского излучения и разложении его в спектр или по длинам волн, или по энергиям с помощью рентгеновских спектромет-

ров для идентификации элементов и определения их концентрации. Оптический микроскоп, встроенный в микроанализатор, позволяет прицельно совмещать луч электронов и интересующий нас участок образца. Содержание того или иного элемента оценивается путем сравнения интенсивностей рентгеновского излучения на аналитической линии в исследуемом образце и образце сравнения (стандарте) [5, 6].

Процесс взаимодействия электронного луча с твердым телом сопровождается следующими физическими явлениями, на которых основано получение изображений исследуемого объекта в электронах: обратным рассеянием электронов, эмиссией вторичных электронов, поглощением электронов в образце, испусканием рентгеновских квантов и др.

Электроны первичного луча в результате взаимодействия с атомами образца могут изменять направление первоначального движения – рассеиваться. Обратнорассеянными (отраженными) электронами принято считать электроны, которые в результате упругого столкновения с атомами элемента отклоняются от своего первоначального направления вплоть до выхода из образца без потери или с частичной потерей энергии. Коэффициент обратного рассеяния  $v$  – количественная характеристика явления, показывает какая доля электронов первичного луча покидает образец, не участвуя в акте возбуждения рентгеновского спектра. Коэффициент  $v$  зависит от порядкового номера элемента и до  $Z = 30$  возрастает практически линейно с возрастанием  $Z$ , линейность нарушается при больших  $Z$ . В образцах сложного состава  $v$  электронов определяется по закону аддитивности. На число обратнорассеянных электронов оказывает влияние качество полировки анализируемой поверхности образца в силу того, что число электронов, покинувших образец, связано с углом их вылета.

Изображение минерала в обратнорассеянных электронах позволяет получить информацию о его среднем атомном номере и в меньшей степени отражает качество поверхности образца. Контраст на изображении двух включений минералов определяется различием их средних атомных номеров. Включения с большим атомным номером (более тяжелые) на изображении выглядят более светлыми, нежели включения с меньшим атомным номером (рис.1).

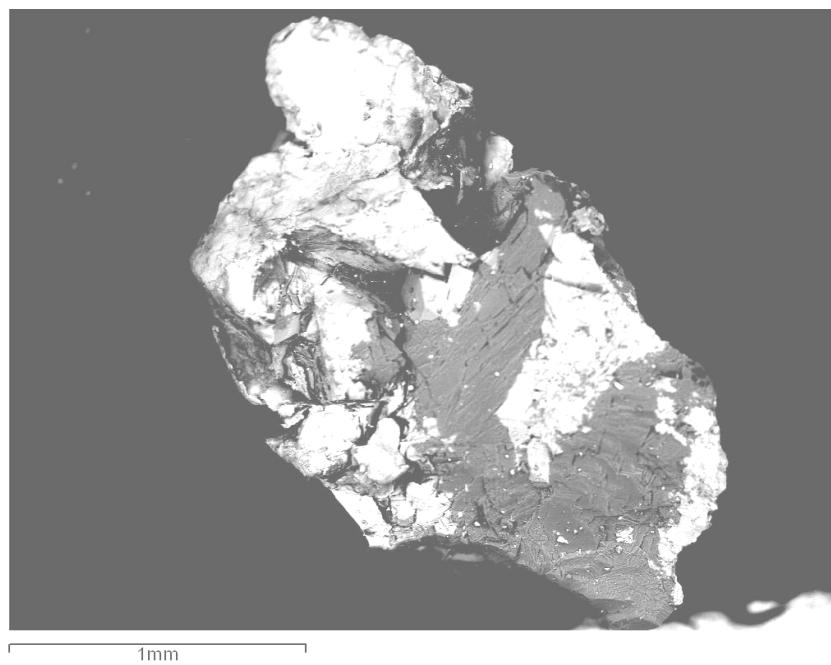


Рис. 1. Скол образца из месторождения Текели, Южный Казахстан. Взаимоотношение зерен минералов: доломита (темно-серое), цельзиана (белое) в оторочке из (Ba-K)-полевого шпата (серое). Изображение в обратнорассеянных электронах. Аналитик П.Е. Котельников

К вторичным относятся электроны, которые первоначально находились в образце, но, получив от электронов луча достаточную энергию, покинули образец. Основным источником вторичных электронов являются электроны с внешних уровней атома. Так как энергия вторичных электронов мала, то они сильно поглощаются на всех микронеровностях поверхности образца. Поэтому число вторичных электронов, достигающих детектора, зависит от качества поверхности образца.

Изображение во вторичных электронах основано на зависимости числа вторичных электронов, достигающих детектора, от состояния поверхности образца. Контрастность изображения двух минералов в пределах глубины фокусировки зонда определяется различием рельефа минералов (рис.2). На получении изображений во вторичных электронах основана растровая (сканирующая) электронная микроскопия (СЭМ).

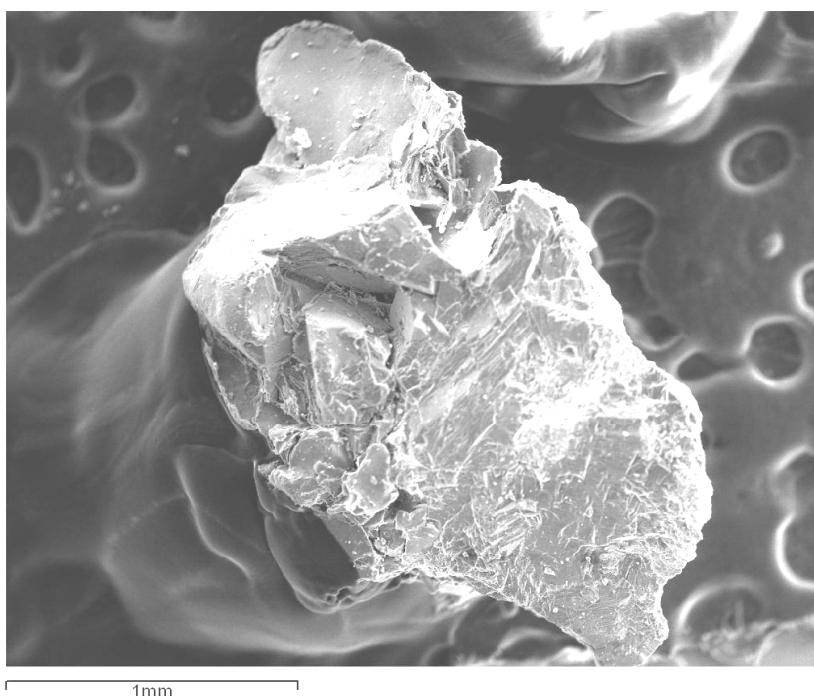


Рис.2. Скол образца из месторождения Текели, Южный Казахстан. Взаимоотношение зерен минералов: доломита (темно-серое), цельзиана (белое) в оторочек из (Ba-K)-полевого шпата (серое). Морфология поверхности скола. Изображение во вторичных электронах. Аналитик П.Е. Котельников

СЭМ быстро приобрела популярность среди минералогов. К ее преимуществам относятся простота подготовки препаратов, большая глубина фокуса и высокая разрешающая способность по сравнению с оптическим микроскопом. С помощью СЭМ можно проводить изучение морфологии отдельных микрокристаллов и их агрегатов (рис.3), поверхностей граней, плоскостей спайности и изломов микроминералов, их дефекты; выявлять неоднородность; исследовать фазовые превращения в микроминералах и т.д.

В качестве примера приведем результаты химического анализа цельзиана из месторождения Текели (Южный Казахстан) и тангейта из месторождения Тюя-Муюн (Южная Киргизия).

Цельзиан  $\text{Ba}(\text{Si}_2\text{Al}_2)_4\text{O}_8$  – редкий бариевый полевой шпат, встречающийся в образцах в ассоциации с доломитом, пиритом, никсергиевитом, наблюдается внутри оторочки из (Ba-K)-цельзиана (рис.1). Химический состав минерала был изучен электронно-зондовым микроанализом на приборе Superprobe-733 (Япония) с использованием энергодисперсионного спектрометра INCA ENERGY фирмы OXFORD INSTRUMENTS (Англия). Ускоряющее напряжение 15 кВ, ток зонда 25 нА, диаметр расфокусированного зонда 30 мкм, стандарты:  $\text{SiO}_2$  (Si),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (Al),  $\text{BaSO}_4$  (Ba) (табл.1).

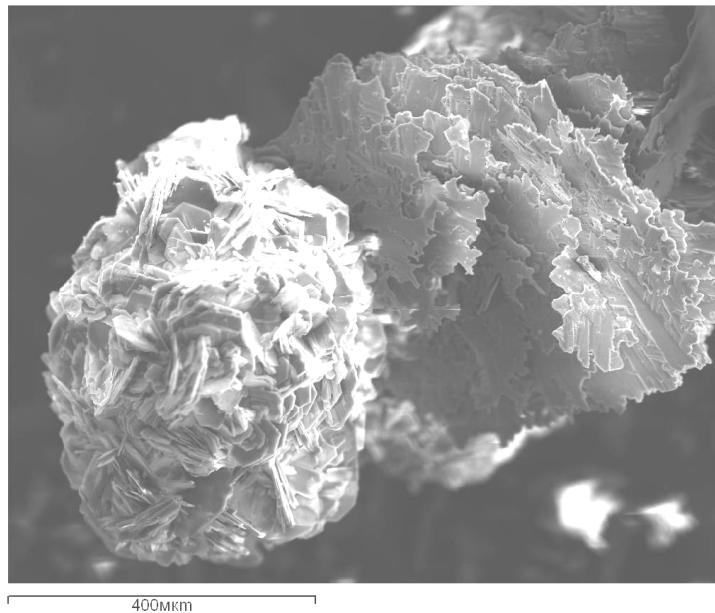


Рис.3. Шаровидный агрегат, состоящий из множества таблитчатых кристаллов анкиновичита (серый), и плоские резные кристаллы фольбортита (темно-серый). Кара-Чагыр, Южная Киргизия. Изображение во вторичных электронах. Аналитик П.Е. Котельников

Таблица 1. Химический состав (вес, %) цельзиана

Анализы	1	2	3	4	5	6	Среднее по 6 анализам
Компоненты							
SiO <sub>2</sub>	31,28	29,88	30,84	30,90	32,25	30,71	30,98
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	25,53	25,32	25,58	25,73	24,74	25,66	25,43
BaO	43,74	42,44	42,79	42,96	43,47	43,66	43,18
Σ	100,56	97,63	99,22	99,59	100,47	100,03	99,59
Кристаллохимические формулы, рассчитанные на 8 атомов кислорода							
Si	2,00	1,97	1,99	1,99	2,06	1,98	2,00
Al	1,93	1,97	1,95	1,95	1,86	1,95	1,94
Ba	1,10	1,10	1,08	1,09	1,09	1,10	1,09

Усредненная по 6 анализам эмпирическая формула: Ba<sub>1,09</sub>(Si<sub>2,00</sub>Al<sub>1,94</sub>)<sub>3,94</sub>O<sub>8</sub>.

Как показали дальнейшие исследования, образование цельзиана происходило при более низкой температуре, чем последующая кристаллизация его оторочки из (Ba-K)-полевых шпатов. Низкотемпературный цельзиан имеет неупорядоченную кристаллическую структуру, что объясняет его неустойчивое поведение под электронным лучом при микрозондовом анализе [7].

Тангейт CaCu(VO<sub>4</sub>)(OH) встречен в виде тонких игольчатых кристалликов, слагающих губчатые массы. Он также образует зональные корочки-натеки параллельно- и радиально-волокнистого строения, нарастающие на церуссит (рис.4).

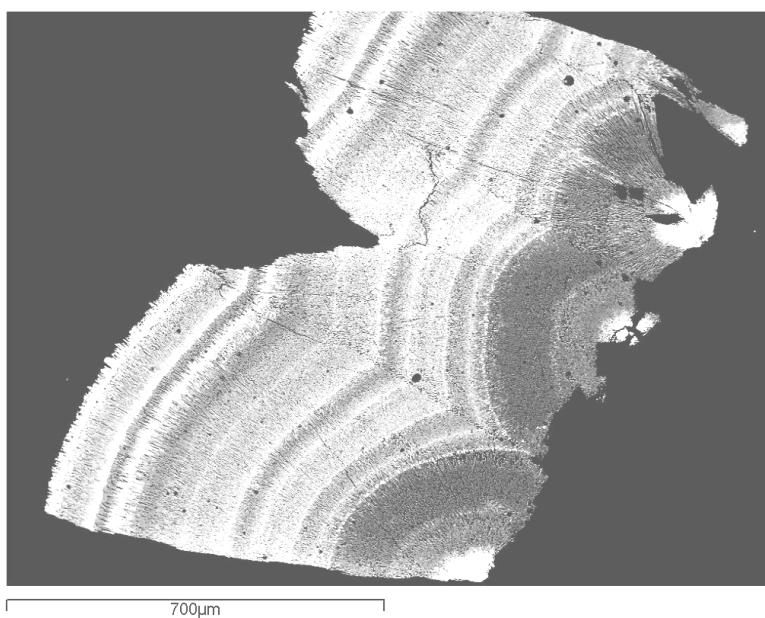


Рис. 4. Фрагмент зональной корочки тангеита. Свинцово-мышьяковый тангеит (белое) (табл.3, ан.1), собственно тангеит (темно-серое) (табл.3, ан.5). Месторождение Тюя-Муюн, Южная Киргизия. Изображение полированной поверхности в обратнорассеянных электронах. Аналитик П.Е. Котельников

Химический состав тангеита также был изучен электронно-зондовым микроанализом (табл.2). Ускоряющее напряжение 25 кВ, ток зонда 25 нА, стандарты: металлические Mn, Cu, V (Mn, Cu, V), CaSiO<sub>3</sub> (Ca), SiO<sub>2</sub> (Si), PbS (Pb), GaAs (As), FeS<sub>2</sub> (S), SrTiO<sub>3</sub> (Sr).

Таблица 2. Химический состав (вес, %) тангеита (8 анализов)

Элементы	Среднее значение	Область значений	Стандартное отклонение	Использованный стандарт
O	20,24	19,29-21,17	0,26	
S	1,04	0,77-1,23	0,05	FeS <sub>2</sub>
Ca	14,79	14,56-15,39	0,10	CaSiO <sub>3</sub>
V	19,30	18,40-19,96	0,20	V
Cu	24,36	23,85-25,13	0,18	Cu
Sr	0,75	0,54-0,95	0,05	SrTiO <sub>3</sub>
Σ	80,48	78,19-82,08	0,54	

*Примечание:* Недостаток в сумме обусловлен наличием в минерале воды, а также его пористостью. Содержание воды в минерале определяется другими методами

Усредненная по 8 анализам эмпирическая формула тангеита имеет вид: (Ca<sub>0,97</sub>Sr<sub>0,02</sub>)<sub>0,99</sub>Cu<sub>1,01</sub>[(VO<sub>4</sub>)<sub>1,0</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>0,08</sub>]<sub>1,08</sub>(OH)<sub>0,84</sub>·*q*H<sub>2</sub>O. В формуле OH-группа вычислена по балансу зарядов.

В зональных колломорфных образованиях был встречен мышьяковый тангеит с необычно высокими содержаниями свинца (табл.3, ан.1).

Таблица 3. Химический состав (вес, %) зон свинцово-мышиакового тангенита (рис.4)

Анализ	O	Si	S	Ca	V	Mn	Cu	As	Sr	Pb	Σ
1	16,10		0,27	8,07	10,58		18,89	6,78		25,96	86,65
2	19,24		0,76	11,65	10,12		21,97	10,28		10,21	84,23
3	16,06		0,52	9,31	10,64		20,62	7,21		19,94	84,30
4	19,08	0,10	1,40	13,96	16,65		24,92	2,38	0,57		79,07
5	19,38		1,30	14,42	17,50	0,36	24,48	0,69	0,72		78,85
6	17,16		1,14	12,40	16,56	0,37	23,41	1,65		5,44	78,14
7	17,56		1,19	12,62	16,04		22,91	1,34		5,70	77,36
8	19,05		0,59	11,80	15,44	1,65	20,51	3,33		9,00	81,37

Примечание: Недостаток в сумме обусловлен наличием в минерале воды, а также его пористостью

Эмпирические формулы, соответствующие номеру анализа:

- $(Ca_{0,65}Pb_{0,40})_{1,05}Cu_{0,95}[(VO_4)_{0,67}(AsO_4)_{0,29}(SO_4)_{0,03}]_{0,99}(OH)_{1,06} \cdot qH_2O$ ;
- $(Ca_{0,85}Pb_{0,14})_{0,99}Cu_{1,01}[(VO_4)_{0,58}(AsO_4)_{0,4}(SO_4)_{0,07}]_{1,05}(OH)_{0,92} \cdot qH_2O$ ;
- $(Ca_{0,71}Pb_{0,29})_{1,0}Cu_{0,99}[(VO_4)_{0,64}(AsO_4)_{0,29}(SO_4)_{0,05}]_{0,98}(OH)_{1,11} \cdot qH_2O$ ;
- $(Ca_{0,93}Sr_{0,02})_{0,95}Cu_{1,05}[(VO_4)_{0,88}(AsO_4)_{0,09}(SO_4)_{0,12}]_{1,09}(OH)_{0,85} \cdot qH_2O$ ;
- $(Ca_{0,95}Sr_{0,02}Mn_{0,02})_{0,99}Cu_{1,01}[(VO_4)_{0,90}(AsO_4)_{0,02}(SO_4)_{0,11}]_{1,03}(OH)_{1,02} \cdot qH_2O$ ;
- $(Ca_{0,87}Pb_{0,07}Mn_{0,02})_{0,96}Cu_{1,04}[(VO_4)_{0,91}(AsO_4)_{0,06}(SO_4)_{0,1}]_{1,07}(OH)_{0,89} \cdot qH_2O$ ;
- $(Ca_{0,90}Pb_{0,08})_{0,98}Cu_{1,03}[(VO_4)_{0,90}(AsO_4)_{0,05}(SO_4)_{0,11}]_{1,07}(OH)_{0,93} \cdot qH_2O$ ;
- $(Ca_{0,85}Pb_{0,13}Mn_{0,09})_{1,07}Cu_{0,93}[(VO_4)_{0,88}(AsO_4)_{0,13}(SO_4)_{0,05}]_{1,06}(OH)_{0,87} \cdot qH_2O$ .

Зональность, изученная в режиме обратнорассеянных электронов (рис. 4), обусловлена изоморфным замещением (Ca, V)  $\leftrightarrow$  (Pb, As) и представляет собой «запись» неоднократных изменений химического состава раствора, из которого кристаллизовался минерал.

В заключение необходимо отметить трудности, с которыми сталкиваются исследователи при электронно-зондовом микроанализе микроминералов:

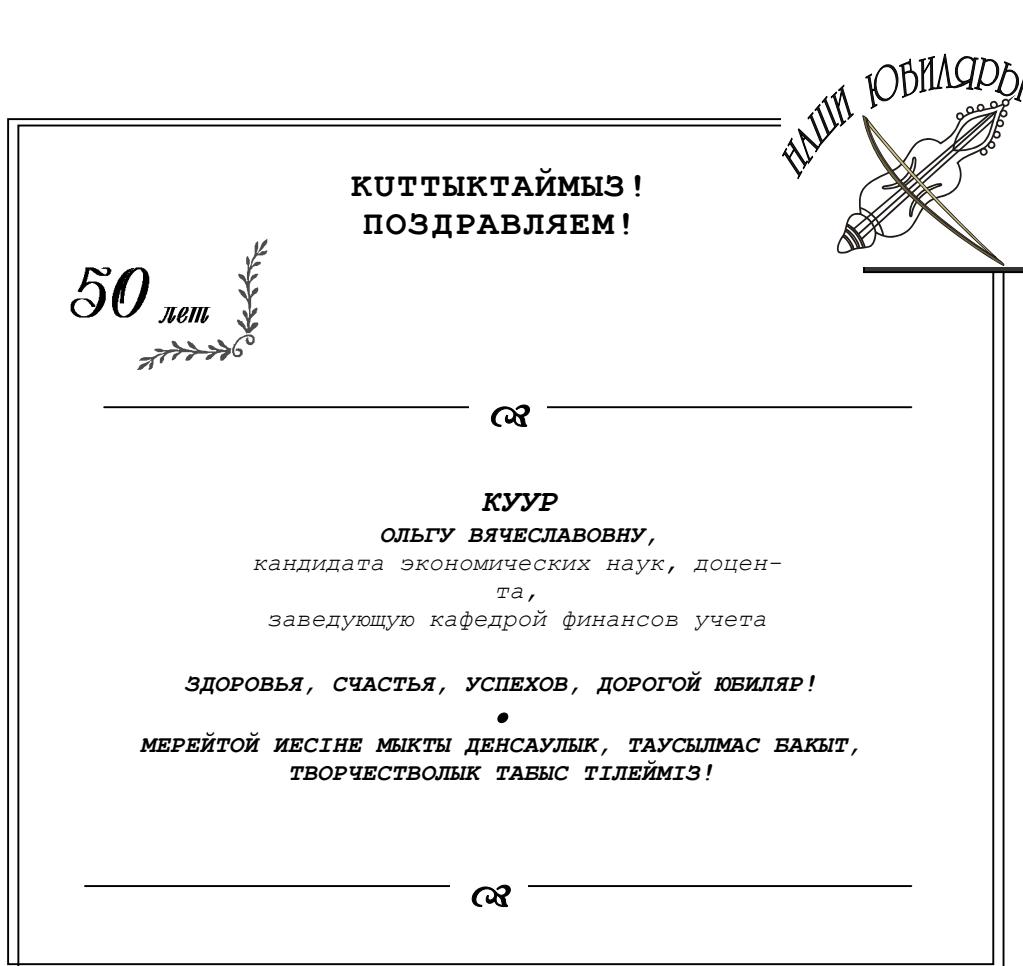
- для количественного определения содержаний элементов анализируемая площадь выделения микроминерала должна иметь размер 15 - 100  $\mu\text{м}^2$  и иметь гомогенное строение на уровне разрешения микрозонда. Это продиктовано необходимостью измерения интенсивности линий в нескольких точках. На практике же встречаются выделения меньше указанных размеров;
- вторичные микроминералы, как правило, водные (содержат воду и OH-группу) и в условиях высокого вакуума, создаваемого в приборе, а также в результате термического воздействия электронного луча дегидратируют;
- химический состав микроминералов, имеющих неупорядоченную структуру, в зоне анализа в результате электрического воздействия электронного луча изменяется;
- метод позволяет определять в образце валовое содержание атомов элемента независимо от степени их окисления.

Правильная постановка задачи исследований, выбор условий анализа с учетом физических свойств и химического состава изучаемого минерала, сочетание электронно-зондового микроанализа с другими аналитическими методами позволяют эффективно изучать микроминералы.

## Список литературы

1. Дисперсное и ультрадисперсное состояние минерального вещества (проблемы конституции, изучения, технологий). Материалы годичного собрания ВМО. - М.: Наука, 1995. - 285 с.
2. Заварицкий А.Н. Изверженные горные породы. - М.: Изд-во АН СССР, 1955. - 480 с.
3. Текстуры и структуры руд /Под ред. А.Г. Бетехтина. - М., 1958. - 436 с.
4. Чухров Ф.В. Коллоиды в земной коре. - М.: Изд-во АН СССР, 1955. - 672 с.
5. Методы минералогических исследований. - М.: Недра, 1985. - 480 с.
6. Гаранин В.К. Применение электронно-зондовых приборов для изучения минерального сырья /В.К. Гаранин, Г.П. Кудрявцева. - М.: Недра, 1983. - 216 с.
7. Котельников П.Е. Цельзиан и (Ва-К) - полевой шпат из свинцово-цинкового месторождения Текели (Жунгарский Алатау) /П.Е. Котельников, К.Р. Плехова, Г.К. Бекенова, К.Ш. Дюсембаева, Е.А. Доровольская // Известия НАН РК. Сер.геологическая. - 2006. - №3. - С.46-53.

Получено: 05.06.06.



УДК 556.16 «45»(282.256.162.26)

Р.И. Гета

ВКГТУ им. Д.Серикбаева  
**А.Н. Логиновская**  
ВКГУ им.С.Аманжолова

**ИЗМЕНЧИВОСТЬ ГОДОВОГО СТОКА РЕКИ БУХТАРМЫ  
(ЮГО-ЗАПАДНЫЙ АЛТАЙ)**

Начинается Бухтарма в горах истоками рек Чиндагатуй, Белая Бухтарма, Черная и Белая Берель, стекающими по ущельям со склонов хребтов, отделяющих бассейн р. Катуни от бассейнов рек Юго-Западного Алтая. Горы занимают более 80 % территории бассейна реки. Небольшие равнинные пространства встречаются лишь в нижнем течении. Лесистость бассейна - около 20 %, у отдельных притоков выше. Бухтарма имеет развитую речную сеть: средний коэффициент густоты речной сети равен  $0,51 \text{ км}/\text{км}^2$ , достигая местами  $0,70 - 0,75 \text{ км}/\text{км}^2$  и более. Основные притоки Бухтармы текут в южном и юго-западном направлениях, соответствуя общему понижению местности и положению тектонических разломов. Наиболее значительными притоками являются реки: Белая, Черновая, Хамир, Тургусун и Берёзовка. В верховьях Бухтарма протекает в узкой щелеобразной долине.

Гидрогеологические условия характеризуются широким развитием ультрапресных и пресных подземных вод, приуроченных к различным стратиграфическим разностям пород. По гидрогеологическим условиям бассейн р. Бухтармы относится к Горно-Рудно-Алтайскому бассейну трещинных вод [1]. Важную роль в питании рек рассматриваемой территории играют воды комплекса четвертичных аллювиальных отложений.

Воды спорадического распространения в покровных средневерхнечетвертичных отложениях развиты обычно в понижениях рельефа - в логах, в балках, западинах. Мощность водоносных горизонтов колеблется от доли метра до 3 - 6 метров. Дебиты родников достигают 1,3 л/с, дебиты колодцев -  $0,1 - 0,2 \text{ л}/\text{с}$ . В районах развития водно-ледниковых отложений дебиты родников достигают 5,7 л/с. Обычные дебиты родников - ОД - 0,7 л/с. Дебиты родников, связанных с зонами тектонических нарушений, могут достигать 30 л/с. К северо-западу от устья р. Бухтармы в местах распространения известняков встречаются трещинно-карстовые воды. Дебиты скважин достигают 18 л/с при понижении уровня на 2,9 м. В зонах тектонических нарушений водообильность известняков повышается. К северо-востоку от г. Серебрянска имеется группа родников с суммарным дебитом до 130 л/с [1].

Ниже впадения реки Тургусун Бухтарма находится в подпоре Бухтарминской ГЭС. Климатические условия бассейна - резко континентальные, с большими суточными и годовыми колебаниями температуры воздуха. Среднегодовое количество осадков по метеостанции Зыряновск равно 721 мм, а Катон-Карагай - 542 мм [2].

Исследование закономерностей годового стока выполнено на основе данных 14 гидрометрических створов, на большей части которых наблюдения ведутся с 1954 года. Ранее сток измерялся у с. Заводинский (с 1932 г.), но с созданием Бухтарминского водохранилища он был закрыт. В створе Бухтармы у с. Печи гидрологические наблюдения производятся с 1940 г.; на р. Тургусун - с. Кутиха - с 1926 г.; на р. Левая Берёзовка у с. Среднегорное - с 1948 г.

Восстановление пропусков в наблюдениях для отдельных пунктов и приведение рядов стока к одному многолетнему периоду (1955-2001 гг.) осуществлено с помощью графиков

и уравнений связи годовых величин стока за синхронный период приводимого и опорного пунктов. В качестве последнего был принят створ у с. Лесная Пристань. Для приведения к многолетнему периоду стока р. Сарым-Сакты (с. Катон-Карагай) из-за непродолжительности периода наблюдений использованы месячные данные. Степень тесноты связи опорного и приводимого пунктов оценена как графически, так и с помощью коэффициентов линейной корреляции между расходами приводимого и опорного пунктов. В большинстве случаев связь оказалась достаточно тесной. Коэффициенты корреляции колеблются от 0,90 (р. Бухтарма – с. Лесная Пристань и р. Бухтарма – с. Печи) до 0,43 (р. Бухтарма – с. Лесная Пристань и р. Урыль – с. Урыль). Приведённые к многолетнему периоду среднегодовые величины стока в бассейне р. Бухтармы представлены в таблице.

*Характеристики годового стока в бассейне р. Бухтармы за многолетний период*

Река - Пункт	Расход воды, м <sup>3</sup> /с	Модуль стока, л/(с·км <sup>2</sup> )	Слой стока, мм	Коэффициент вариации
Бухтарма – с. Берель	34,2	18,5	583	0,19
Бухтарма – с. Печи	103	15,0	473	0,23
Бухтарма – с. Лесная Пристань	206	19,3	608	0,24
Бухтарма – с. Заводинский*	238	16,0	504	0,30
Белая Берель – с. Берель	27,1	36,1	822	0,21
Урыль – с. Урыль	1,59	10,1	318	0,27
Сарымсакты – с. Катон-Карагай	4,74	42,3	1332	0,19
Сарымсакты – с. Согорное	7,05	11,2	353	0,22
Черновая – с. Черновое	5,93	12,3	388	0,29
Белая – с. Белое	16,8	17,8	651	0,27
Черемошка – с. Усть-Язовая	6,02	13,4	422	0,31
Хамир – с. Масляха	19,7	49,8	1569	0,19
Тургусун – с. Кутиха	47,6	39,7	1251	0,21
Лев. Берёзовка – с. Средигорное	1,06	4,22	133	0,30

\*Данные заимствованы из работы [3]

Водность рек бассейна Бухтармы колеблется весьма широко – от 4,22 л/(с·км<sup>2</sup>) (р. Лев. Берёзовка – с. Средигорное) до 49,8 л/(с·км<sup>2</sup>) (р. Хамир – с. Масляха).

Анализ хронологических графиков годового стока, скользящего сглаживания (рис. 1), разностных интегральных кривых и функций спектральной плотности показал, что межгодовым изменениям стока р. Бухтармы свойственен сложный характер развития циклического процесса. В ходе годового стока отчётливо проявляется 2,3,4-х и 5-летняя циклическость, внутривековые циклы имеют длительность 8 и более лет. С определённой достоверностью можно говорить о циклах продолжительностью 20-22 года. Циклическость годового стока реки Бухтармы во многом можно считать солнечнообусловленной с заметным влиянием местных факторов (региональные особенности атмосферной циркуляции, орографии бассейна, его строение и т.п.).

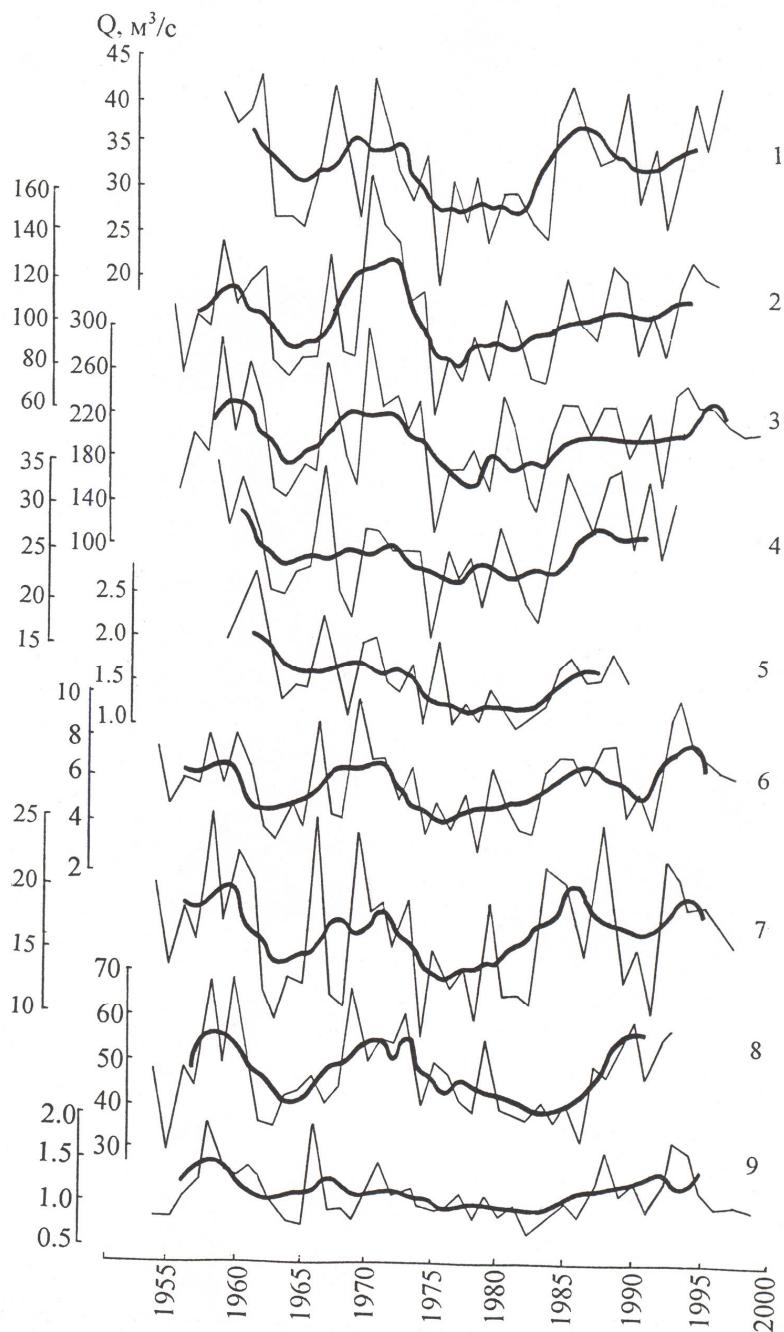


Рис. 1. Многолетние колебания годового стока рек бассейна Бухтармы:

- |                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| 1. р. Бухтарма у с. Берель          | 6. р. Черновая у с. Черновое           |
| 2. р. Бухтарма у с. Печи            | 7. р. Белая у с. Белое                 |
| 3. р. Бухтарма у с. Лесная Пристань | 8. р. Тургусун у с. Кутиха             |
| 4. р. Белая Берель у с. Берель      | 9. р. Левая Березовка у с. Средигорное |
| 5. р. Урыль у с. Урыль              |  |

Условные обозначения: — годовые величины,

— сглаживание по скользящим пятилетиям

В ходе стока р. Бухтармы в замыкающем створе за период наблюдений можно выделить пять полных внутривековых цикла: 1955-1963, 1964-1974, 1975-1982, 1983-1991 и 1992 – 2000 гг. с продолжительностью 9, 11, 8, 9 и 9 лет соответственно. Таким образом, средняя продолжительность внутривекового цикла годового стока р. Бухтармы за исследуемый период составила 9,2 г. Среднекикловые расходы соответственно равны 205, 212, 173, 244 и 217. Предпоследний цикл оказался самым многоводным из всего ряда наблюдений. Средний многолетний расход Бухтармы в замыкающем створе составил 206 м<sup>3</sup>/с.

Наиболее высокие годовые расходы в бассейне реки Бухтармы за анализируемый период наблюдались в 1958, 1969 и 1979 гг. (299, 307 и 242 м<sup>3</sup>/с, соответственно). Годами повышенной водности являются также 1960, 1966, 1984, 1985, 1991 и 2001 гг. Низкий сток был отмечен в 1955, 1962, 1963, 1968, 1974, 1975, 1976, 1980-1982, 1997 гг.

Можно считать, что исследуемый период относится к нисходящей ветви предыдущего векового цикла водности и к восходящей ветви векового цикла, начало которого приходится на 1970-1982 гг. Предшествующий вековой цикл, после достижения своего минимума в 1969 г., внезапно «обрывается» продолжительным половодьем (1974-1982 гг.), затопившим обширные пространства Алтая и юга Сибири. В отдельные его годы величина модульных коэффициентов годового стока понижалась до 0,66 и 0,58. Самый низкий годовой расход р. Бухтармы у с. Лесная Пристань отмечен в 1974 г. и составил 117 м<sup>3</sup>/с.

Выделяемые с помощью разностной интегральной кривой фазы водности в стоке р. Бухтармы включают три многоводные и две маловодные фазы. К многоводным фазам, когда годовой сток был выше среднего многолетнего, относятся 1955-1961, 1969-1973 и 1982-1995 гг.; маловодными являются периоды 1962-1968 и 1974-1981 гг.

Выявленные для замыкающего створа закономерности многолетнего хода годового стока в целом характерны и для других рек бассейна с учётом их различий в высотном положении, экспозиции и других местных особенностей. Эти закономерности могут стать основой прогноза водности реки Бухтармы как части общего экологического и гидрологического прогноза, построенного с использованием внутрирядных статистических закономерностей или на основе связи стока с внешними определяющими факторами – солнечной активностью, типами атмосферной циркуляции и др.

Оценка источников питания осуществлялась путём генетического расчленения гидрографа с последующим определением относительного вклада в формирование стока того или иного вида питания. Для определения источника питания рек исследуемой территории были взяты реки разных частей бассейна, за разные по водности годы, неодинаковые по величине годового стока, по величине наибольшего расхода воды и по форме гидрографии (по данным [4]). Площади гидрографов, относящихся к тому или иному источнику питания, определены путём планиметрирования полярным планиметром. Анализ результатов показывает, что для рек данной территории главным источником питания являются талые воды. В верхнем течении их вклад составляет 40 ÷ 50 % годового стока, в среднем и нижнем течении 50 ÷ 55 %. На втором месте по значимости стоит грунтовое питание (35 - 40 %). Доля дождевого питания составляет 10-20 %. Высокие значения снегового питания характерны для рек Белая Берель и Тургусун. Весьма своеобразно питание реки Левая Берёзовка. Преобладающим здесь является подземный тип питания, который в среднем достигает 61 %, а в многоводном 1960 году даже 73,9 %. Такая доля подземного питания обусловлена большой ёмкостью грунтового бассейна, сложенного толщей рыхлых проницаемых отложений.

В результате анализа диаграмм внутригодового распределения стока рек бассейна Бухтармы за многолетний период в процентах от годового за отдельные месяцы и сезоны года можно сделать вывод, что внутригодовое распределение стока рек бассейна Бухтармы характеризуется растянутым весенне-летним половодьем и паводками в тёплое время года. Гидрографы стока рек в период весенне-летнего половодья имеют пилообразную форму, что характерно для рек алтайского типа. Своеобразный гидрограф имеет река Левая Берёзовка. Её сток характеризуется равномерностью внутри года.

В формировании максимального стока в бассейне Бухтармы наибольшую роль играют талые снеговые воды, весьма значителен также вклад дождевых вод. Меженный сток определяется в основном климатическими и гидрогеологическими условиями речных бассейнов. Минимальные расходы формируются за счёт грунтового питания после прохождения весеннего или весенне-летнего половодья. Зимние минимумы в связи с уменьшением подземного питания меньше летних.

#### Список литературы

1. Гидрология СССР. – М.: Недра, 1971. – Т.37: Восточный Казахстан. – 307 с.
2. Голубцов В.В., Ли В.В. Предварительная оценка элементов водного баланса горных бассейнов Западного Алтая // Тр. Каз. РНИИ. – М.: Гидрометеоиздат, 1985. – Вып. 91. – С. 36-45.
3. Ресурсы поверхностных вод СССР. – Л.: Гидрометеоиздат, 1969. – Вып. 1. – Т. 15.
4. Гидрологические ежегодники рек бассейна Оби и Иртыша, 1954 – 2001 гг. (Материалы фонда ВК ЦГМ).

Получено: 5.05.06.

УДК 622.272: 622.235 – 05(035)

**Е.Р. Игнатьев**  
ВКГТУ, г. Усть-Каменогорск

#### ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВЗРЫВНОГО РАЗРУШЕНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННЫХ МАССИВОВ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ПРОХОДКЕ ВЫРАБОТОК

Проходческий цикл состоит из нескольких стадий, выполнение которых производится в последовательном порядке: обуривание забоя, образование врубовой полости и взрывной отбойки. Весьма популярные в настоящее время прямые врубы при достаточной расчетной компенсационной полости не всегда дают положительный эффект по коэффициенту использования шпуров (КИШ) и по оконтуриванию горных выработок. Причины этого изложены в работах [1-5].

В настоящей работе рассмотрены основные процессы взрывного разрушения при проходке выработок в напряженно-деформированных массивах.

Процесс образования первоначального объема врубовой полости целесообразно рассмотреть на примере взрыва комплекта сближенных шпуров диаметром  $d$  в массиве горных пород с заданными на бесконечности главными напряжениями  $P$  и  $Q$  (рис. 1). В результате эффективной работы комплекта сближенных шпуров образуется односвязная зона перемола (на рис. 1 заштрихована) круговой или эллиптической формы, внутри границы  $\Gamma$  которой выполнен критерий разрушения массива на раздавливание, а компонент

тензора напряжений  $P$  в декартовой системе координат  $xOy$  описывается системой уравнений:

$$\begin{aligned} P_{11} + P_{24} &= 2[\Phi(\xi) + \bar{\Phi}(\xi)] = 4R_e\Phi(\xi), \\ P_{22} + P_{21} + 2iP_{12} &= 2[\bar{\sigma}(\xi) \frac{\Phi'(\xi)}{\bar{\sigma}'(\xi)} + \psi(\xi)] \quad , \\ \Phi(\xi) &= \frac{\Phi'(\xi)}{\bar{\sigma}(\xi)}; \quad \psi(\xi) = \frac{\psi'(\xi)}{\bar{\sigma}'(\xi)}, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $\bar{\sigma}(\xi) = R(\xi + \frac{m}{\xi})$  при  $R = \frac{a+b}{2}$ ,  $m = \frac{a-b}{a+b}$ .

Функции  $\phi$  и  $\psi$  являются переменными Колосова – Мусхелешвили и имеют следующие граничные условия:

на  $\infty$  
$$\begin{cases} N_{11} + N_{12} + N_{13} = Q, \\ N_{21} + N_{22} + N_{23} = P, \end{cases}$$

(2)

на  $\Gamma$   $P_n = \sigma_{сж}$ .

Зона разрушения определена приведением  $P_{ij}$  к главным осям и проверкой на выполнение следующих критериев:

$$1) \sigma_{\max} = \max(\sigma_1, \sigma_2) \geq \sigma_p, \quad (3)$$

где  $\sigma_1, \sigma_2$  – главные напряжения,

$\sigma_p$  – критерий прочности на разрыв;

$$2) \tau_{\max} = \frac{|\sigma_1 - \sigma_2|}{2} \geq \tau_{kp}, \quad (4)$$

где  $\tau_{kp}$  – критическое напряжение на сдвиг, взятое по кругу Мора.

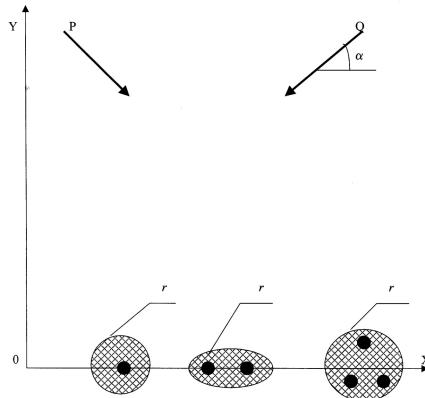


Рис. 1. Схема образования первоначального объема врудовой полости с помощью энергии взрыва

Под зоной наведенной трещиноватости следует считать область, в которой нарушено равновесие зародышевых трещин и не выполняется критерий [6]:

$$K_I^2 + K_{II}^2 \leq \frac{E\xi}{1-\nu^2}. \quad (5)$$

Учитывая [8], что  $\sigma_p = \sqrt{\frac{2E\nu}{\pi l}}$ , имеем:

$$K_I^2 + K_{II}^2 \leq \frac{\pi l \sigma_p^2}{2(1-\nu^2)}, \quad (6)$$

где  $l = \text{const}$  – характерный размер зародышевых трещин,  
 $\nu$  – коэффициент Пуассона,  
 $\gamma$  – плотность поверхностной энергии,  
 $E$  – модуль Юнга.

При условии, что  $\frac{l}{a} \ll 1$ , можно считать

$$K_I^2 + K_{II}^2 = \pi l (\sigma_n^2 + \sigma_t^2), \quad (7)$$

где  $\sigma_n$ ,  $\sigma_t$  – соответственно нормальные и касательные напряжения, приложенные к берегам трещины.

Если хотя бы одна из главных компонент  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  больше нуля, то

$$\max_{\theta} (\sigma_n^2 + \sigma_t^2) = \max(\sigma_1^2 + \sigma_2^2) = \frac{\sigma_p^2}{2(1-\nu^2)}.$$

$$\text{В противном случае } \max_{\theta} (\sigma_n^2 + \sigma_t^2) = \tau_{\max}^2 = \frac{\sigma_p^2}{2(1-\nu^2)},$$

где  $\theta$  – угол наклона трещины к оси (O, X).

Описанный алгоритм реализован на ЭВМ в расчетной области, включающей 120x50 точек, с графическим отображением полученных зон разрушений (рис. 2).

Интерпретация полученных результатов применительно к обоснованию рациональных параметров буровзрывных работ заключается в том, что зона перемола (рис. 2, а) суть первоначальная врубовая полость, отбойка на которую производится зарядами ВВ, линии наименьшего сопротивления которых (W) соизмеримы с максимальными размерами зоны разрушения 1. Как следует из рис. 2, а при взрывании комплекта сближенных шпуров образуются зоны разрушения эллиптической формы с максимальной осью, ориентированной перпендикулярно максимальной оси зоны перемола. При наличии доминирующего направления действия внешнего поля напряжений, максимальные размеры зон разрушения ориентируются в указанном направлении (рис. 2, б).

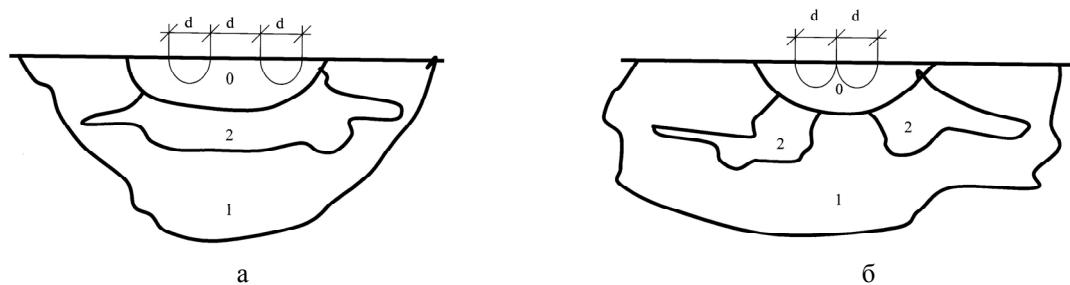


Рис. 2. Графическое отображение полученных зон разрушений: 0 – перемола, разрушенная по кри-

териям 1 и 2; а)  $P=Q=0$ ; б)  $P=0$ ,  $Q=-\sigma_p$ ,  $\alpha=\pi/4$

На рис. 3, а представлена зависимость изменения относительного (к размерам перемола) объема зоны разрушения  $\bar{V}$  от величины угла  $\alpha$  при одноосном сжатии ( $Q = \sigma_p$ ,  $P = 0$ ), а на рис. 3, б – то же от относительной величины гидростатического сжатия  $\lambda$  ( $P = Q = -\lambda \sigma_p$ ).

На основании полученных результатов можно сделать вывод о том, что максимальный эффект взрывного разрушения при образовании врубовой полости достигается путем ориентации линии взаимодействия сближенных шпурков перпендикулярно направлению действия горного давления (рис. 3, а).

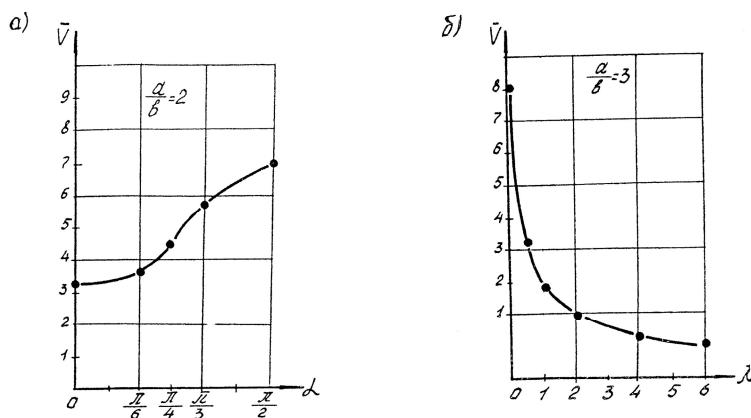


Рис. 3. Зависимость изменения относительного объема разрушения от параметров исходного поля напряжений

Существенное влияние горного давления на снижение результирующего действия взрыва при любом количестве сближенных шпурков наблюдается до достижения  $\lambda \approx 1$  со-пряжение ниспадающей и асимптотической ветвей гиперболы  $\bar{V}(\lambda)$  (рис. 3, б), что соответствует выводам исследований [6] для одиночных зарядов ВВ.

#### Список литературы

- Шапиро В.Я. Классификация горных пород по взрываемости при проходке выработок // ФТПРПИ. – 1988. – №3.
- Батурина С.А. Анизотропия массива горных пород. – Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1988.
- Ефремов Э.И., Калиниченко В.И. Об особенностях разрушения анизотропных пород взрывом // ФТПРПИ. – 1982. – №5.
- Кузнецов В.М. Математические модели взрывного дела. – Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1977.
- Игнатьев Е.Р., Лисовский Г.Д. Экспериментально-аналитическое обоснование эффективности прямых врубов с ограниченной полостью компенсации // Материалы II Международной научно-технической конференции «Современные проблемы геологии, минерагении и комплексного освоения месторождений полезных ископаемых Большого Алтая». – Усть-Каменогорск, 2003.
- Кузнецов В.М. О влиянии гидростатического сжатия на развитие трещин при взрыве // ФТПРПИ. – 1984. – №6.

Получено: 13.04.06.

УДК 622.27:622.619

**Л.А. Крупник**

КазНТУ им. К.И. Сатпаева, г. Алматы

**Ю.Н. Шапошник, С.Н. Шапошник**

Зыряновский центр ВКГТУ, г. Зыряновск

**ВЫБОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ для  
УТИЛИЗАЦИИ ПУСТОЙ ПОРОДЫ В ЗАКЛАДКУ**

Отходы горно-обогатительного производства на территории Республики Казахстан занимают огромные территории и являются источником экологического риска из-за попадания вредных составляющих в атмосферу, почву и воду. Одним из путей, позволяющих снизить негативное влияние отходов производства на экологическую обстановку, является утилизация пустой породы от проходческих работ в закладку без выдачи ее на поверхность.

В настоящее время назрела потребность в дополнении и уточнении методов определения эффективности способов утилизации породы от проходческих работ в закладку, в том числе ее доставки и возведения комбинированных закладочных массивов в пустотах отработанных камер с учетом горно-технологических возможностей горнорудных предприятий и уровня экономической эффективности ее утилизации на основе законов рыночной экономики и с учетом воздействия горных работ на окружающую среду.

Затраты на возведение комбинированного закладочного массива складываются из капитальных и эксплуатационных затрат на доставку пустой породы самоходными погрузочно-доставочными машинами (ПДМ) от проходческих забоев или мест складирования породы до закладываемых камер (рис. 1), а также затрат на частичную закладку камер твердеющими смесями.

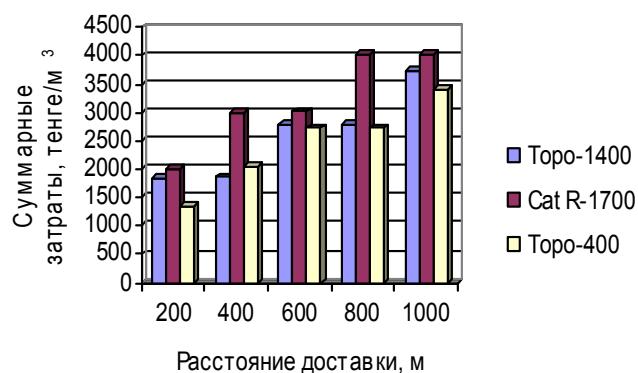


Рис. 1. Зависимость суммарных эксплуатационных затрат на доставку пустой породы самоходны-

ми ПДМ от расстояния доставки на Малеевском руднике АО «Казцинк»

При складировании породы от проходческих работ в пустоты отработанных камер снижаются объемы подаваемой с поверхности бетонозакладочного комплекса твердеющей закладки. При этом породную закладку необходимо размещать в отработанной камере таким образом, чтобы на контакте комбинированного закладочного массива с рудным массивом соблюдалось условие достижения необходимой нормативной прочности искусственного массива.

Экономическая эффективность утилизации породы  $\mathcal{E}$  (тенге) в закладку самоходными ПДМ без выдачи ее на поверхность определится из выражения:

$$\mathcal{E} = (3 - 3_{ym.por}) \cdot V_{ym.por} + C_3 \cdot (V_{ym} - V_{np}), \quad (1)$$

где  $3$  – удельные затраты на выдачу породы и складирование ее на поверхностных породных отвалах, тенге/ $m^3$ ;

$C_3$  – стоимость материалов твердеющей закладки без накладных расходов (по данным Малеевского рудника стоимость вспомогательных материалов – 678, 78 тенге/ $m^3$ ; электроэнергии и сжатого воздуха – 39,62 тенге/ $m^3$ ; заработной платы – 16,66 тенге/ $m^3$ ;  $C_3 = 735,06$  тенге/ $m^3$ );

$3_{ym.por}$  – удельные затраты на утилизацию породы в закладку самоходными ПДМ без выдачи ее на поверхность, тенге/ $m^3$ ;

$V_{ym.por}$  – годовой объем утилизации породы в закладку,  $m^3$ ;

$V_{np}$  – объем твердеющей закладки, пропитывающей верхнюю часть навала пустой породы,  $m^3$ .

При нахождении значений удельных затрат на выдачу породы и складирование ее на поверхностных породных отвалах в расчетах учтено, что на Малеевском руднике расстояние доставки породы от проходческих забоев до рудоспусков ориентировочно составляет 400 м.

Объем твердеющей закладки, пропитывающей верхнюю часть навала пустой породы, при формировании породного навала с верхней подсечки самоходными ПДМ, когда уровень подсечки расположен выше формируемого навала породы (рис. 2), нами предложено определять из выражения:

$$V_{np} = S \cdot h_{np} \cdot p, \quad (2)$$

где  $S$  – площадь навала пустой породы в камере,  $m^2$ ;

$h_{np}$  – глубина проникновения твердеющей закладки в породный навал, м;

$p$  – коэффициент пустотности пустых пород, доли единиц.

Годовой эффект от утилизации породы от проходческих работ в объеме 96,2 тыс.  $m^3$ , со-поставимый с годовым объемом породы от проходческих работ, в закладку самоходными ПДМ и замене твердеющей закладки на породную на Малеевском руднике показан на рис. 3, 4.

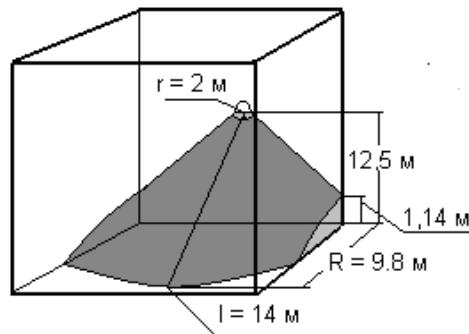


Рис. 2. Схема закладки пустот камеры самоходными ПДМ пустой породой

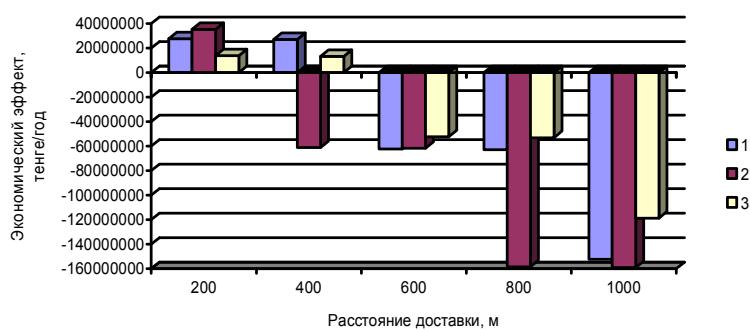


Рис. 3. Годовая экономическая эффективность утилизации породы в закладку самоходными ПДМ без ДУ в сравнении с вариантом выдачи породы по стволу шх. «Малеевская»: 1 – Торо-1400; 2 - Cat R-1700; 3 – Торо-400

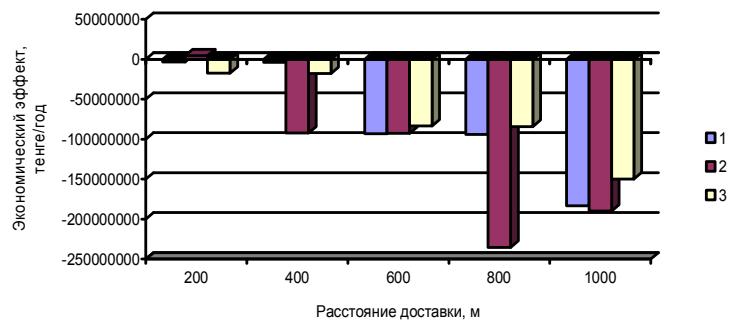


Рис. 4. Годовая экономическая эффективность утилизации породы в закладку самоходными ПДМ в сравнении с вариантом выдачи породы по стволу шх. «Вентиляционная»: 1 – Торо-1400; 2 - Cat R-1700; 3 – Торо-400

При использовании на утилизации породы в объеме 96,2 тыс. м<sup>3</sup> самоходных ПДМ максимальное граничное экономически выгодное расстояние доставки пустой породы составляет: в сравнении с вариантом выдачи породы по стволу шх. «Малеевская» для Торо-1400 – 400 м, Cat R-1700 – 300 м, Торо-400 – 500 м; в сравнении с вариантом выдачи породы по стволу шх. «Вентиляционная» для Cat R-1700 – 300 м, Торо-400 – 100 м.

Как видно из представленных выше диаграмм, экономическая эффективность утилизации пустой породы в закладку без выдачи ее на поверхность достигается при неболь-

ших расстояниях доставки. Очевидно, что повышение эффективности утилизации породы на достаточно большие расстояния доставки связано с применением самоходных транспортных машин. Согласно расчетам, для утилизации годового объема породы от проходческих работ достаточно иметь в парке одну транспортную машину Торо-35.

Зависимость суммарных удельных затрат на погрузку и доставку пустой породы комплексом самоходного оборудования «ПДМ Торо-400 - транспортная машина Торо-35» от расстояния доставки представлена на рис. 5.

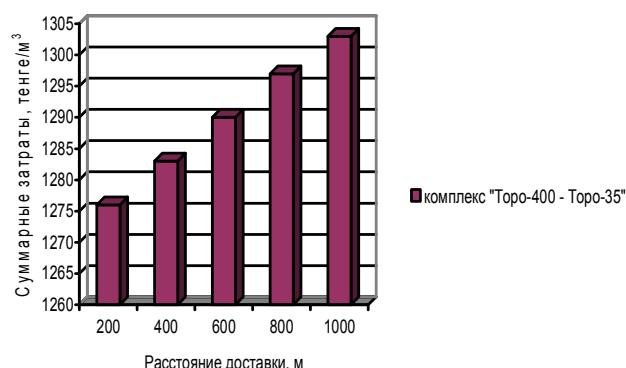


Рис. 5. Суммарные удельные затраты на погрузку и доставку пустой породы комплексом самоходного оборудования «ПДМ без ДУ Торо-400 -транспортная машина Торо-35»

Оценка экономической эффективности утилизации породы от проходческих работ в закладку в условиях рыночной экономики сводится к расчету чистой дисконтированной стоимости (Net Present Value - NPV).

На рис. 6–8 показаны накопленные дисконтированные потоки денежных средств при различных схемах утилизации годового объема породы от проходческих работ при расстоянии доставки породы самоходными ПДМ Cat R-1700 в шахте 300 м и ставке дисконта 0,15 за период 2006 – 2008 годов.

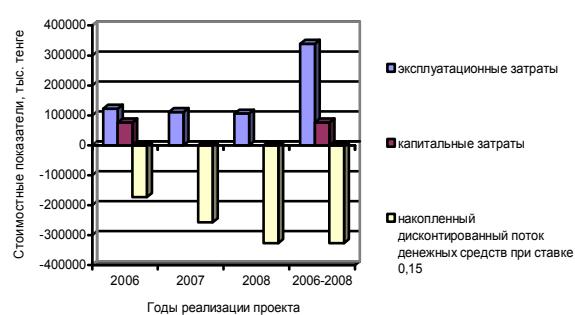


Рис. 6. Накопленные дисконтированные потоки денежных средств при утилизации годового объема породы от проходческих работ самоходными ПДМ Cat R-1700

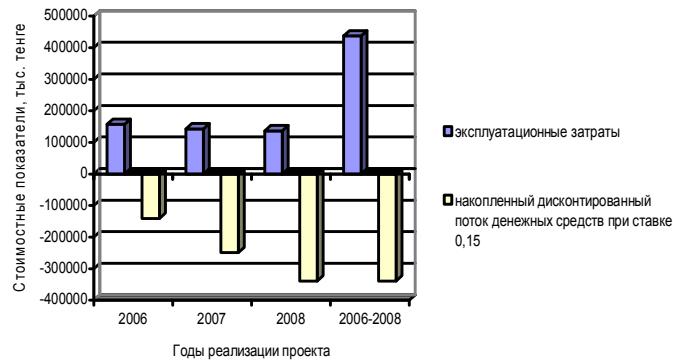


Рис. 7. Накопленные дисконтированные потоки денежных средств при выдаче на поверхность годового объема породы от проходческих работ по рудовыдачному стволу на поверхность

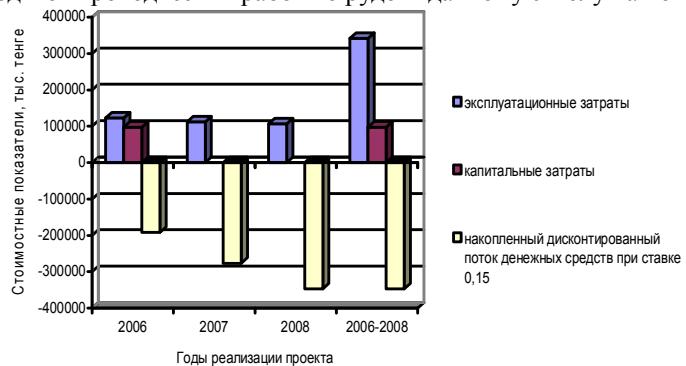


Рис. 8. Накопленные дисконтированные потоки денежных средств при утилизации годового объема породы от проходческих работ комплексом самоходного оборудования «ПДМ Торо-400 - транспортная машина Торо-35»

В результате проведенных расчетов накопленных дисконтированных потоков денежных средств при утилизации пустой породы в закладку комплексом самоходного оборудования «ПДМ Торо-400 - транспортная машина Торо-35» установлено, что в сравнении с вариантом утилизации породы в закладку самоходными ПДМ Cat R-1700 значительный экономический эффект достигается при достаточно больших расстояниях доставки пустой породы (более 300 - 500 м) в пустоты отработанных камер (рис. 9).

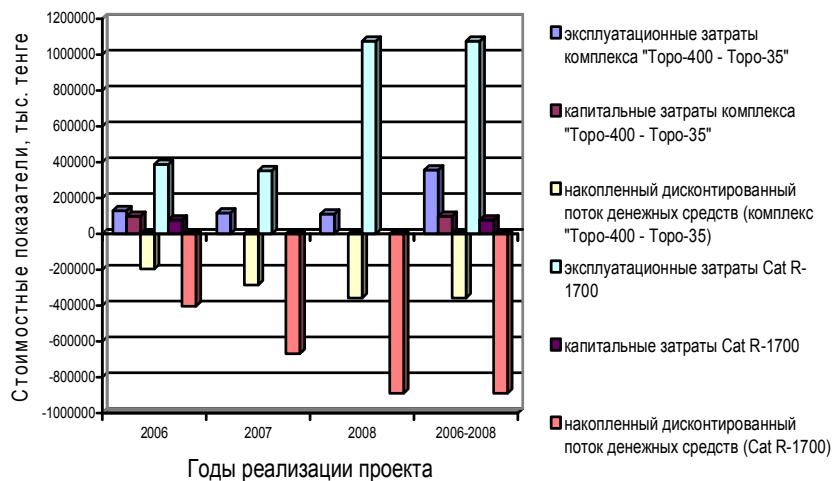


Рис. 9. Накопленные дисконтированные потоки денежных средств при утилизации годового объема породы от проходческих работ самоходными ПДМ Cat R-1700 и комплексом самоходного оборудования «ПДМ Торо-400 - транспортная машина Торо-35» при расстоянии доставки 1000 м за период 2006 – 2008 годов при ставке дисконта 0,15

Получено: 10.05.06.

УДК 669.295(574.42)

**А.А.Курмангалиев**

АО «УК ТМК», г.Усть-Каменогорск

#### АНАЛИЗ РЫНКА ТИТАНА

Начиная с 1998 г., ситуация в мировой титановой промышленности по сравнению с предыдущими годами резко ухудшилась. Основной причиной явился азиатский финансовый кризис и события 11 сентября 2001 года, повлекшие за собой резкое сокращение производства в аэрокосмической области. Отметим, что титановая промышленность США примерно на 70 % зависит от состояния авиакосмической промышленности, в Европе этот показатель составляет около 64 %. В Европе масштабы производства металлического титана также снизились, но доля его потребления в аэрокосмической сфере осталась достаточно высокой. В несколько лучшем положении находилась титановая промышленность Китая, где на авиакосмическую отрасль приходилось только 10-15 % потребления титана. В Японии гражданская авиация составляет всего 2, 3 % спроса; химические перерабатывающие предприятия - 30 %; атомные станции и электростанции, работающие на природном топливе - около 20 %; остальную долю составляет строительство, медицина и спорт, поэтому титановая промышленность Японии пострадала меньше

всего.

Мировое производство титановой губки в 2002 году составило 72 тыс. тонн, не включая производство в США, а 2003 году - 65 тыс. тонн также без данных по США, в том числе в России - 23 тыс. тонн, Японии - 23 тыс. тонн, Украине - 6,7 тыс. тонн. В Казахстане из 65 тысяч тонн мирового производства титановой губки выпущено 12 тыс. тонн.

Производители титановой продукции, начиная с конца 2003 года, начали увеличивать объемы производства. По мнению многих специалистов, для укрепления позиций титана на влиятельных рынках необходимым является не только возвращение благоприятной конъюнктуры, но и нужны технологии, позволяющие существенно снизить затраты на производство титана.

Титановая промышленность стремится к развитию новых областей применения титана в попытках сбалансировать текущую зависимость от состояния аэрокосмического сектора, который слишком подвержен колебаниям рынка. Использование титана в аэрокосмическом секторе является доминирующим (более 50 %) в мировом масштабе, оставшуюся часть ниши занимают разнообразные небольшие области применения - промышленность, связанная с химической обработкой, медицина, производство спортивного оборудования и т. д.

Использование титана в качестве пигмента является одной из масштабных и перспективных областей его применения. По уровню потребления этого вещества на душу населения можно судить о качестве жизни населения, так как спрос на пигментный диоксид обусловлен ростом объемов строительства, машиностроения, производства товаров народного потребления и других отраслей экономики, продукция которых требует нанесения стойких покрытий. В экономически развитых странах на эти цели расходуется до 95 %  $TiO_2$ . По оценке американской компании IBMA, мировое потребление данной продукции в 2002 году должно было достигнуть 4,1 млн тонн. При этом доля потребления пигментного диоксида титана производителями лакокрасочных материалов должна была составить 59 %, производителями пластмасс - 20 % и производителями ламинированной бумаги - 13 %. Ожидается, что в ближайшие годы наиболее высокими темпами будет расти потребление диоксида титана в производстве бумаги (5-6 % в год) и пластмасс (4 % в год).

Мощностями по производству пигментного диоксида титана, наряду с высокоразвитыми странами, располагают в настоящее время страны с развивающейся экономикой, такие, как Мексика, Бразилия, Малайзия и другие. Следует отметить, что в производстве пигментного диоксида титана используется около 90 % ежегодно добываемых титановых минералов.

В автомобилестроении титан используется в двигателях гоночных автомобилей, следующее поколение титановых сплавов может быть достаточно эффективным для применения во всех возможных витых деталях автомобилей. Япония и европейские страны используют титан в различных соединительных тягах и компонентах системы клапанов для пассажирских автомобилей.

В Японии титан используется в архитектуре более 25 лет. Много случаев применения титана в архитектурных решениях таких стран, как Перу и Египет. Крупные строительные проекты с использованием титана будут осуществлены в Сингапуре и Швейцарии.

Другим направлением применения титана является гольф. Более 90 % покупаемых наконечников и головок для клюшек содержат титан, более 90 % профессиональных игроков в гольф в США используют такие клюшки.

Эксперты из ИТА(International Titanium Association - Международная ассоциация по

титану) полагают, что титан найдет наибольшее применение в нефте - и газодобывающей отраслях в трубных магистралях для подъема продуктов добычи с больших глубин.

Титан используется в самом разнообразном подводном оборудовании. Примерно 5 % мирового спроса на титан приходится на «подводное» применение, главным образом в нефте - и газодобывающей отраслях.

По данным Metal Bulletin Research, развитие материаловедения в последние годы приводит к тому, что рост заказов на самолеты вовсе не означает автоматического роста заказов на металл. Через несколько лет начнет выполняться программа строительства нового огромного самолета «Эйрбас» A380. Из-за своих огромных размеров верхняя часть фюзеляжа и части планера выполняются из композитных материалов, а не из металлов.

По сравнению с аэрокосмической промышленностью, в других промышленных отраслях, работающих с титаном так называемым коммерческой чистоты CP (commercially pure), перспективы более благоприятные. Ожидается рост спроса на CP на рынке опреснительных устройств.

В существующих непростых условиях компаний титановой отрасли направляют усилия на снижение производственных затрат и концентрацию на тех рынках, которые пока остаются прибыльными и растущими.

Для Республики Казахстан в связи с подъемом экономики страны и начавшимся строительным бумом особое значение имеет рост производства пигментного диоксида титана. В настоящее время основным сырьем для получения пигментного диоксида титана являются ильменитовые концентраты. Однако для увеличения содержания  $TiO_2$  в шихту добавляется синтетический рутил или титановый шлак. Доля природного рутила как сырья для производства пигмента в последние годы сократилась с 20 % в начале 70-х годов до 5 % к 1997 году.

В 1998 г. диоксид титана производили 44 завода в 26 странах мира. На 27 заводах применялась сульфатная технология, на 20 – хлородная; шесть заводов использовали обе технологии. Суммарная производственная мощность всех заводов составила (тыс. т): в 1992 г. - 3640, а в 1998 г. - 4203.

Крупнейшим производителем пигментного диоксида титана является компания «E.I. du Pont de Nemours & Co. Inc», на долю которой приходится 22 % мирового производства этого продукта.

В России фактически не существует производителей указанного выше продукта. Свыше 80 % потребностей России (около 52 тыс. тонн в год) в диоксиде титана удовлетворяют украинские производители. Отметим, что из-за развития лакокрасочной продукции (57 % всего потребления диоксида титана) и увеличения производства качественной бумаги (12 %) потребности в пигменте к 2010 г. в России могут возрасти вдвое - до 110 тыс. тонн.

Организация производства высококачественной пигментной двуокиси титана в Казахстане может идти по двум направлениям:

- 1) приобретение лицензионных технологий с элементами «ноу-хая»;
- 2) разработка и внедрение собственных оригинальных технологий с привлечением компаний - резидентов РК.

Каждый из этих путей имеет положительные и отрицательные стороны. Первый отличается быстротой и рациональностью, но требует значительных единовременных затрат. Второе направление сопряжено повышенными инвестиционными и технологическими рисками. Вме-

сте с тем, не исключено совместное взаимовыгодное рассмотрение двух направлений.

При этом наличие свободных мощностей на АО «УК ТМК», а также перспективы развития собственной сырьевой базы (месторождение Сатпаевское), облегчают поставленную задачу.

Для организации производства высококачественной пигментной двуокиси титана необходимо построить модульный цех, включающий технологические переделы, начиная от сжигания четыреххлористого титана с последующей модификацией поверхности пигмента и заканчивая затариванием готовой продукции.

С целью снижения единовременных капитальных затрат на строительство и ускорения организации производства пигмента целесообразно вводить в работу отдельные модули по сжиганию и поверхности модификации мощностью 20 тыс. тонн пигмента в год, что одновременно позволит диверсифицировать производство.

Производство пигмента возможно разместить на площадке УК ТМК, затраты на приобретение технологии и строительство «под ключ» одного модуля по оценкам составляют около 50 млн долларов США.

За указанную идею говорит следующее:

- 1) потенциально емкий и растущий рынок сбыта готовой продукции;
- 2) наличие на УК ТМК резервных мощностей по получению чистого четыреххлористого титана, газоочистные сооружения, энергетические и транспортные коммуникации, позволяющие производить 40-80 тыс. тонн в год пигментной двуокиси титана;
- 3) полная адаптируемость хлоридной технологии производства пигментного диоксида титана к основной технологии УК ТМК;
- 4) возможность диверсификации производства на УК ТМК и достижение им большей независимости от колебаний конъюнктуры рынка;
- 5) развитие производства пигментной двуокиси титана способно дать толчок развитию других отраслей промышленности Республики Казахстан.

Трудности, с которыми может столкнуться предприятие при осуществлении этой идеи, заключаются в следующем:

- 1) отсутствие работающей законодательной базы по охране интеллектуальной собственности, что, в случае попытки приобретения лицензионной технологии с элементами «ноу-хау», может встретить противодействие со стороны владельца технологии;
- 2) отсутствие у УК ТМК сети сбыта готовой продукции. Рынок пигментной двуокиси титана достаточно конкурентен, причем на нем работают крупные компании. Емкость рынка Казахстана на настоящий момент не очень велика;
- 3) жесткая конкуренция на Российском рынке в случае осуществления проекта по созданию производства пигментного диоксида титана в России компанией ARICOM;
- 4) необходимость значительных единовременных затрат.

В связи с изложенным, оптимальным представляется создание совместного предприятия между УК ТМК, имеющим резервные мощности, и зарубежной компанией - крупным производителем пигментной двуокиси титана, способной внести на совместное предприятие технологию, опыт производства и действующую сеть сбыта готовой продукции.

Безусловно, эта задача не относится к числу легкоразрешимых, однако, при наличии льгот и преференций для инвестиционного проекта, а также решении проблемы охраны интеллектуальной собственности, указанный проект может стать привлекательным для

потенциальных участников.

УДК 556.535 (282.256.162.26)

**А.Н. Логиновская**

ВКГУ им. С. Аманжолова

**АНАЛИЗ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА И ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СТОКА  
РЕКИ БУХТАРМЫ (ЮГО-ЗАПАДНЫЙ АЛТАЙ)**

Среднегорный и высокогорный рельеф бассейна Бухтармы, доступность большей части склонов горных хребтов влагоносным потокам западных направлений предопределили высокую водоносность реки и её притоков. Среднемноголетние модули стока в бассейне достигают  $49,8 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$  (р. Хамир – с. Масляха). Годовой модуль стока самой Бухтармы в замыкающем створе ( с. Лесная Пристань) составляет в среднем  $19,3 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$ . В целом, благодаря высокой внутрибассейновой зарегулированности, изменчивость стока невелика. Коэффициент вариации его годовых величин в замыкающем створе составляет 0,24, колебляясь на отдельных притоках от 0,19 до 0,30.

По характеру водного режима Бухтарма относится к рекам алтайского типа с характерным для них гребенчатым профилем гидрографа весенне-летнего половодья.

Основная доля годового стока на реках бассейна приходится на весенне-летний период (апрель - июль) – в среднем от 67 до 90 %, причем с ростом высоты водосборов наблюдается увеличение весенне-летнего стока. На Бухтарме у с. Лесная Пристань в весенне-летний сезон проходит в среднем 85,3 % годового стока. Доля стока осеннего (август - ноябрь) и зимнего (декабрь-март) сезонов составляет соответственно 7,6 и 7,1 %.

В некоторой степени аномальное распределение стока по сезонам года свойственно Левой Берёзовке. Доля весенне-летнего стока здесь составляет в среднем 52,8 %, осеннего - 26,4% и зимнего - 20,8 %.

Внутригодовой режим стока рек обусловлен соотношением и динамикой источников их питания. Бухтарме присущ смешанный тип питания с преобладанием снегового, средняя многолетняя величина которого на реках бассейна колеблется от 42 до 52 %. На втором месте по значимости стоит грунтовое питание - от 35 до 37 %. Вклад дождевого питания в годовой сток - от 12 до 21 %. В верховьях бассейна вблизи истоков рек некоторую роль играет ледниковое питание, однако в целом для Бухтармы его значение невелико.

Основным типом питания р. Левая Берёзовка является грунтовое - в среднем 61 %. Снеговое и дождевое соответственно равны 29 и 10 %.

В формировании максимальных расходов половодья на реках бассейна наибольшую роль играют талые снеговые воды. Весенне-летнее половодье начинается обычно в первых числах апреля и заканчивается (в зависимости от высотного положения водосбора) в начале июля. Продолжительность половодья колеблется в среднем от 89 дней на Левой Берёзовке до 152 дней на Бухтарме у с. Лесная Пристань. Средний за многолетний период максимальный расход половодья равен  $1350 \text{ м}^3/\text{с}$ . Наивысший расход весенне-летнего половодья отмечен в 1973 г. и составил  $2510 \text{ м}^3/\text{с}$ . Расходы дождевых паводков на реках

бассейна достаточно высоки и в отдельные годы могут даже превышать максимумы весеннего половодья. Так, 3 октября 1976 г. пик дождевого паводка на р. Бухтарме у с. Лесная Пристань составил  $1360 \text{ м}^3/\text{с}$ , что на  $50 \text{ м}^3/\text{с}$  оказалось выше наблюдавшегося в том же году максимального расхода половодья.

Меженный сток, когда река переходит на грунтовое питание, формируется после прохождения весеннего половодья. В бассейне Бухтармы летне-осенняя межень выражена слабо. Минимальные летние расходы самой Бухтармы в замыкающем створе составляют в среднем  $89,7 \text{ м}^3/\text{с}$ , зимние - значительно ниже и равны  $26,1 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Начало летне-осенней межени зависит от высотного положения водосборов. В низкогорной зоне её наступление обычно приходится на июль, в среднегорной и высокогорной - на начало или середину августа. Продолжительность межени колеблется от 60 до 100 дней.

Водность рек в межень различна: средние модули меженного стока изменяются от  $18,8 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$  (р. Тургусун - с. Кутиха) до  $3,03 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$  (р. Левая Берёзовка - с. Средигорное).

Зимняя межень более устойчива и продолжительна (120-150 дней) и длится с ноября по март. Водность её колеблется от  $6,49 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$  (р. Тургусун) до  $2,55 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$  (р. Левая Берёзовка).

Весной переход температуры воды через  $0,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$  в верховьях бассейна происходит в конце марта - начале апреля, в среднем и нижнем течении - в середине апреля, причём наиболее ранняя дата этого перехода отмечена на р. Урыль - 23 февраля 1963 г., а осенью - в первой или во второй декадах ноября (р. Бухтарма у с. Берель - в среднем 4 ноября, р. Бухтарма у с. Лесная Пристань - 14 ноября).

Наибольшего прогрева вода в реках достигает в июле. В верховьях Бухтармы (с. Берель) среднемноголетняя месячная температура составила  $10,9 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , на реке Урыль -  $8,9 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , а в замыкающем створе на р. Бухтарме -  $17,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . На Бухтарме у с. Берель максимум температуры ( $16,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ) был отмечен 28 июня 1968 г., а в замыкающем створе р. Бухтармы - 8 июля 1962 г. ( $24,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Рекордный прогрев воды ( $28,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ) зафиксирован на р. Черновая у с. Черновое 14 июля 1969 г.

Появление ледовых образований в низовьях Бухтармы (на реках Урыль, Сарымсакты) приходится на первую декаду ноября, а в верховьях бассейна (р. Бухтарма - с. Берель) - на третью декаду октября.

Ледостав на реках бассейна, в зависимости от местных условий, устанавливается в разные сроки: конец второй - начало третьей декады ноября (р. Бухтарма в замыкающем створе, рр. Черновая, Белая, Черемошка, Левая Берёзовка), начало - середина декабря (рр. Бухтарма - с. Берель, Белая Берель, Урыль, Сарымсакты, Тургусун). Толщина льда на реках к концу зимы достигает в среднем 70-80 см. В суровые зимы мощность ледяного покрова рек может быть значительно выше.

Весенний ледоход начинается обычно со второй декады апреля и продолжается от 3 (р. Бухтарма - с. Печи) до 17 дней (р. Белая Берель - с. Берель). Продолжительность ледовых явлений -  $150 \div 179$  дней, продолжительность ледостава -  $89 \div 106$  дней.

Средняя мутность воды Бухтармы в замыкающем створе невелика -  $74 \text{ г}/\text{м}^3$ , изменяясь на притоках от 18 (р. Тургусун - с. Кутиха) до  $170 \text{ г}/\text{м}^3$  (р. Левая Берёзовка - с. Средигорное).

Суточные значения мутности рек могут быть весьма отличительными. Так, на самой

Бухтарме 30 апреля 1956 г. мутность достигала  $930 \text{ г/м}^3$ , а на Левой Берёзовке 16 апреля 1964 г. она составила  $4800 \text{ г/м}^3$ . Расход взвешенных наносов р. Бухтармы у с. Лесная Пристань составляет 15 кг/с.

Внутригодовое распределение стока наносов характеризуется крайней неравномерностью. Основная его доля приходится на период половодья. В остальное время года сток наносов незначителен. С учётом возможной доли влекомых наносов суммарный среднемноголетний годовой вынос твёрдого вещества с поверхности бассейна в створе с. Лесная Пристань составляет 473 тыс. т или  $44,2 \text{ т/км}^2$ .

По химическому составу воды Бухтармы и её притоков относятся к гидрокарбонатно-кальциевым. Минерализация их невелика (до 200 мг/л). Более высокая минерализация воды отмечается у Левой Берёзовки (до 467 мг/л).

В бассейне Бухтармы находится крупный промышленный центр – город Зыряновск, в котором сложилась острая геоэкологическая ситуация. Ниже города Зыряновска в водах Бухтармы прослеживаются растворённые вещества антропогенного происхождения – ионы меди, цинка, фенолы и другие загрязняющие ингредиенты. Загрязнение города обусловлено деятельностью предприятий по добыче полиметаллических руд, фабрики по обогащению и котельных установок. Здесь расположен Зыряновский свинцовый комбинат, перерабатывающий руду, добываемую на Зыряновском, Греховском и Малеевском месторождениях. При проведении горнорудных работ в реки Берёзовку и Бобровку сбрасываются шахтные воды.

Характер загрязнения рек бассейна изменяется в зависимости от водности по гидрологическим периодам. В период зимней межени ярко выражено загрязнение нефтепродуктами. Весенне-паводковые воды снижают загрязнённость реки нефтепродуктами, однако увеличивается загрязнение медью и цинком.

В распределении стока по территории отчетливо прослеживается влияние двух основных факторов – экспозиции горных склонов относительно господствующих влагонесущих потоков и средней высоты речного водосбора. В бассейне р. Бухтармы наименее обеспечены влагой сравнительно низкогорные водосборы левобережья (бассейн р. Берёзовки) и участки, прилегающие к Бухтарминскому водохранилищу. Особенности орографии и значительная вертикальная расчленённость рельефа создают благоприятные условия для формирования здесь высотной поясности природных условий, и в частности речного стока. Анализ показал, что в бассейне р. Бухтармы можно выделить пять зависимостей среднемноголетних значений стока от средней высоты речных бассейнов (рис. 1).

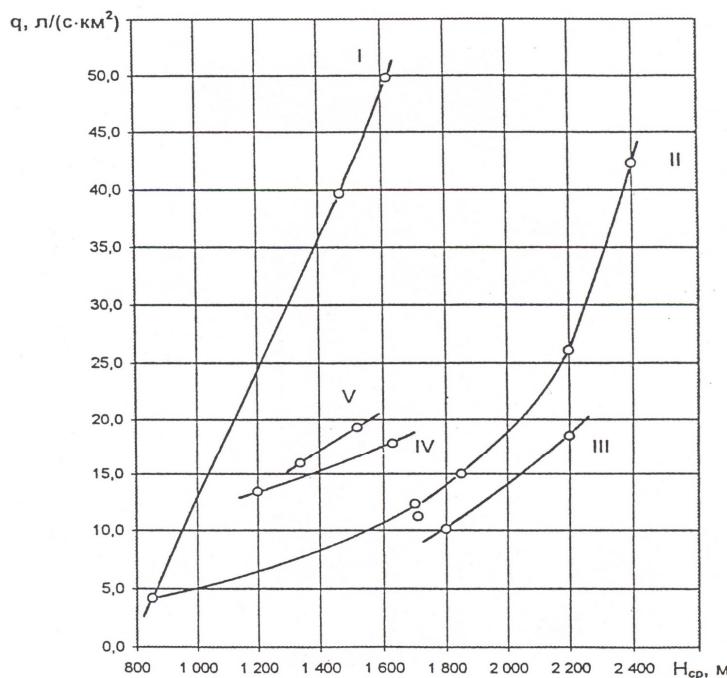


Рис. 1. Зависимость среднегодового стока в бассейне р. Бухтармы от средней высоты речных водо-сборов

На приведённом рисунке зависимость I соответствует юго-западным наветренным склонам хребтов Ульбинский и Холзун. Среднемноголетние модули стока в бассейнах рек Тургусун и Хамир достигают  $40-50 \text{ л}/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$  и выше. Градиенты стока составляют  $6,0 - 6,7 \text{ л}/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$  на каждые 100 м высоты или 190 – 210 мм в виде слоя воды.

Зависимость II характеризует в большей степени левобережные, подверженные юго-западным ветрам склоны бассейна р. Бухтармы. Северо-западные потоки приносят сюда меньше влаги. Модули речного стока изменяются в среднем от  $0,80 \text{ л}/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$  на 100 м в нижней части кривой до  $8,00 \text{ л}/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$  в её верхней части или от 25 до 250 мм на каждые 100 м поднятия и опускания, соответственно.

Кривая III охватывает бассейн р. Ураль и верховья Бухтармы (р. Бухтарма - с. Берель). Модуль стока в верховьях р. Бухтармы, несмотря на достаточно большие высоты, сравнительно невелик –  $18,5 \text{ л}/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$ , что, очевидно, связано с особенностями орографии этой части её бассейна. Средний градиент стока составляет  $2,10 \text{ л}/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$  на 100 м.

Зависимость IV соответствует положению водосборов правых притоков реки Бухтармы, включая р. Белую и р. Черемошку. Средние многолетние модули годового стока колеблются от  $13,4 \text{ л}/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$  (Черемошка – с. Усть-Язовая) до  $17,8 \text{ л}/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$  (Белая – с. Белое). Средний градиент стока невелик и составляет  $1,02 \text{ л}/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$  на 100м или 32 мм слоя. Бассейны этих рек сравнительно открыты юго-западным воздушным потокам, чем и можно объяснить их повышенный, по сравнению с районом зависимости II, сток.

Кривая V характеризует сток в среднем и нижнем течении Бухтармы (с. Заводинский и с. Лесная Пристань), интегрирующий приток со всего бассейна (верховья, правые и левые склоны).

Среднемноголетняя величина слоя стока в бассейне р. Бухтармы колеблется от

90-100 мм в её низовьях до 150-1600 мм в верховьях рек Тургусун и Хамир.

Внутрибассейновая зарегулированность стока реки Бухтармы достаточно высока. Коэффициенты вариации ( $C_v$ ), характеризующие среднюю относительную величину изменений годового стока во времени, изменяются в пределах от 0,19 до 0,30, при этом отчётливо проявляется обратная зависимость этих значений от средней высоты речных бассейнов.

#### Список литературы

1. Гидрологические ежегодники рек бассейна Оби и Иртыша. 1954 - 2004 гг. //Материалы фонда ВК ЦГМ.

Получено: 21.06.06.

---

УДК 622.013.364

**Е.К. Нуржумин**

КазГАТУ им. С. Сейфуллина, г. Астана

#### СУЩЕСТВУЮЩИЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТЕРЬ И РАЗУБОЖИВАНИЯ РУДЫ ПРИМЕНЯТЕЛЬНО К УСЛОВИЯМ СИСТЕМ С ОБРУШЕНИЕМ

В единых правилах охраны недр при разработке месторождений твердых полезных ископаемых отмечено [1], что «Для обеспечения более полного использования запасов полезных ископаемых, как дополнение к параметрам действующих кондиций на минеральное сырье, по разрешению вышестоящих организаций, согласованному с органами Гостехнадзора, могут применяться предельные браковочные содержания полезного компонента в добываемом полезном ископаемом. Браковочные содержания должны относиться к определенной выемочной единице или их группе и определяться с учетом конкретных горно-геологических, технологических и экономических условий».

Необходимость выполнения данного пункта вызвана:

- изменчивостью природных условий разрабатываемых месторождений;
- действием в течение длительного времени однажды установленных для средних условий месторождения постоянных кондиций;
- наличием методических допущений при установлении минимального промышленного содержания для месторождения в целом или достаточно крупных его участков.

Применение единых для месторождения параметров кондиций при оперативном планировании добычных работ может приводить к нерациональному использованию не только минерального сырья, но и материальных, трудовых и финансовых ресурсов. При этом не учитываются неравномерность содержания полезного компонента в балансовых запасах и изменчивость горно-геологических условий отдельных разрабатываемых участков месторождений.

В этих условиях даже при выбранных по существующей методике определения экономических последствий потерь полезных ископаемых и применяемых в настоящее время на рудниках вариантов систем разработки совершаются или сверхнормативные потери полезных ископаемых при добыче, или неоправданные затраты на извлечение излишнего объема пустых пород.

Основные источники и виды потерь и разубоживания:

- 1) разубоживание руды при выпуске под обрушенными налагающими породами;
- 2) разубоживание руды при выпуске на контакте с ранее отработанными на данном горизонте и обрушенными блоками;
- 3) потери отбитой руды на поверхности лежачего бока при углах падения менее 65-70 °C;
- 4) разубоживание руды вследствие подрезки лежачего бока для сокращения потерь руды, остающейся на поверхности лежачего бока.

Многие способы извлечения потерянных запасов вызывают снижение качества добываемого полезного ископаемого. Если известна функциональная зависимость  $K_h = f(a)$ , то уровень экономически целесообразного извлечения потерь можно установить по показателю предельного содержания полезного компонента в добываемом полезном ископаемом:

$$a = \frac{C_o + C_{mp} + C_{nep}}{0,001\bar{C}_o I}, \quad (1)$$

где  $a$  – предельное содержание полезного компонента в добываемом полезном ископаемом;

$C_o$  – затраты на добычу, тенге/т;

$C_{mp}$  – затраты на транспортирование, тенге/т;

$C_{nep}$  – затраты на переработку, тенге/т;

$\bar{C}_o$  – оптовая цена 1 т металла в концентрате, тенге/т;

$I$  – извлечение полезного компонента в концентрат, доли ед.

Оставшаяся неизвлеченная часть потерянных запасов относится к категории нормативных потерь.

Поскольку потери полезного ископаемого применительно к системам разработки с массовым обрушением происходят в очистном пространстве блока вследствие смешивания руды с обрушенными налагающими породами, то оптимальное соотношение между потерями и разубоживанием, соответствующее максимальному значению прибыли на 1 т погашенных балансовых запасов, может быть найдено по браковочному содержанию в последней дозе выпуска (1).

$$a_{op} = \frac{C_o + C_{nep}}{0,01\bar{C}_o I}, \quad (2)$$

где  $a_{op}$  – браковочное содержание металла (или условного металла) в последней дозе, %;

$C_{nep}$  – затраты на транспортирование и переработку, тенге/т;

$C_o$  – затраты на выпуск, тенге/т.

Существует другая точка зрения. Предельное разубоживание в последней дозе содержание металла в породах, засоряющих руду.

$$P_{npeo} = \frac{A_{pyo} - A_{min} K}{A_{pyo}}, \quad (3)$$

где  $A_{pyo}$  – содержание металла в руде (а не в рудной массе);

$A_{min}$  – промминимум;

$K$  – поправочный коэффициент (меньше единицы), учитывающий, что часть затрат по добыче рудной массы уже произведена и потому промминимум может быть снижен по сравнению с  $A_{min}$ , установленным для руды в массиве и принимается равным 0,6 – 1; меньшие значения относятся к рудной массе из разных блоков, смешивающейся в рудоспуске.

Предельное засорение руды в последней дозе выпуска при условии, когда вмещающие породы содержат металл, будет равно

$$P_{\text{пред}} = \frac{A_{\text{руд}} - A_{\text{мин}} \cdot K}{A_{\text{руд}} - A_{\text{нор}}}, \quad (4)$$

где  $A_{\text{нор}}$  – содержание металла в породах, засоряющих руду.

*Пример.* Если на полиметаллическом руднике содержание металла в рядовой руде составит 1,2 %, в разубоживающей породе 0,1 %, а промминимум равен 0,5 %, то для рядовой руды, принимая  $K = 0,8$ , получим

$$P_{\text{пред}} = \frac{1,2 - 0,5 \cdot 0,68}{1,2 - 0,1} = 0,72,$$

а для бедной руды с содержанием ведущего металла 0,7 % при  $K = 1 = 0,72$

$$\frac{0,7 - 0,5 \cdot 1,0}{0,7 - 0,1} = 0,33.$$

Предельное засорение руды в последней дозе выпуска 0,6...0,8 - при рядовой руде и 0,25...0,35 - при бедной руде типично для многих рудников.

Во всех случаях при этом минимально-кондиционное (браковочное) содержание полезного компонента в выпускаемой из блока рудной массе принимается постоянным для данного месторождения, что является серьезным недостатком выше предельных методов определения нормативных потерь и разубоживания руды.

В работе [8] отмечается, что оптимальные соотношения между потерями и разубоживанием руды определяются по критерию «максимальной прибыли» горно-обогатительного предприятия. Имеют место два соотношения между потерями и разубоживанием, при которых достигается максимальная прибыль: а) с 1 т товарной руды; б) с 1 т балансовых запасов.

В первом случае обеспечивается получение максимального количества металлов в данный момент времени за счет снижения разубоживания, во втором – за весь период отработки за счет снижения потерь.

Для выбора оптимальных соотношений потерь и разубоживания руды сравниваются ущербы от них. Если ущерб от потерь больше, чем ущерб от разубоживания, что имеет место, например, на рудниках, дорабатывающих месторождения, то за оптимальные берутся соотношения, обеспечивающие максимальную прибыль с 1 т балансовой руды. Если ущерб от разубоживания больше, чем ущерб от потерь, за оптимальные принимаются потери и разубоживание, обеспечивающие получение максимальной прибыли с 1 т товарной руды. В настоящее время это характерно для подавляющего большинства золоторудных рудников.

В данной работе рассматриваются две крайности (в практике существуют та и другая). Однако следует разработать и внедрить научно обоснованный метод установления нормативных потерь и разубоживания руды.

В горно-технической литературе рекомендуется другой принцип получения максимальной прибыли при эксплуатации отдельного выемочного участка [2]. При извлечении запасов в общем случае соблюдается правило: чем выше уровень их извлечения, тем больше сумма расходуемых средств на добычу (с учетом последующих переделов до конечной продукции) и интенсивнее ее рост.

Эту закономерность в общем виде можно изобразить на графике (рис. 1, кривая 1). Ес-

ли коэффициент извлечения при последующей переработке принять постоянным, то извлекаемая ценность будет прямо пропорциональна коэффициенту извлечения полезного ископаемого из недр  $K_h$  (рис. 1, прямая 3).

Основным недостатком этого метода является искусственное усреднение товарной руды различного качества, выдаваемой в первой (без разубоживания) и второй (с разубоживанием) стадиях выпуска из блока в течение длительного времени (1-2 года), так как при системах с массовым обрушением во второй стадии выпуска руды разубоживание интенсивно нарастает.

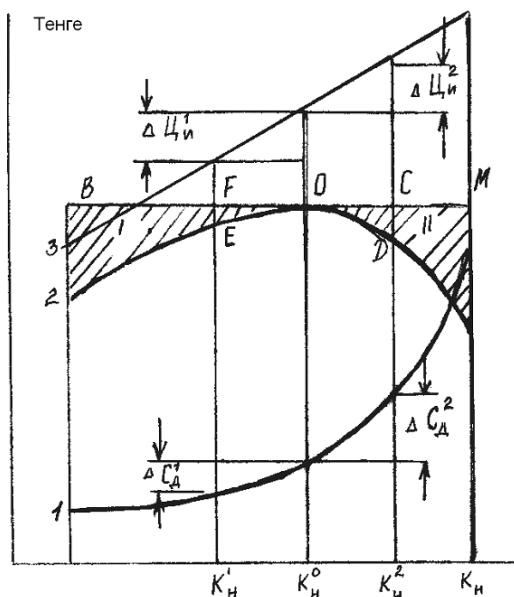


Рис. 1. Принцип получения максимальной прибыли при эксплуатации отдельного выемочного участка

Список литературы

ПО СТРАНИЦАМ

1. Единые правила охраны недр при разработке месторождений. - М., 1986. - 52 с.
2. Агошков М.И. Технико-экономическая оценка извлечения полезных ископаемых /М.И. Агошков, В.В. Никаноров, Е.И. Пафилов. - М., 1977. - 196 с.
3. Сборник инструктивных материалов по охране и рациональному использованию полезных ископаемых. - М.: Недра, 1977. - 196 с.



Получено: 10.04.06.

## ЭЛЕКТРОННЫЙ ПСИХРОМЕТР

Для измерения температуры и относительной влажности воздуха в последнее время все чаще используются электронные психрометры.

Прибор, изготовленный на одном из предприятий Зеленограда, фиксирует значения температуры и влажности с интервалом от 15 до 120 с и в своей внутренней памяти хранит до 10 000 показаний с привязкой к реальному времени.

Конструктивно психрометр состоит из измерительного зонда и блока индикации. Зонд можно установить на удалении от индикатора, соединив их кабелем. Показания в цифровом виде выводятся на жидкокристаллический дисплей. А при передаче результатов измерений на компьютер, снабженный несложной программой, их можно представить в еще более наглядном виде, например, графиком или таблицей.

Электронные психрометры удобно использовать в автоматических системах контроля и регулирования климатических параметров помещения.

«Наука и жизнь» № 4, 2006

УДК 621.762

**Г.С. Рычков, Б.В. Сырнев**

ВКГТУ, г. Усть-Каменогорск

**Ю.В. Шахворостов, В.В. Савчук, Б.Л. Зорин**

АО «УМЗ», г. Усть-Каменогорск

#### ВЛИЯНИЕ НЕКОТОРЫХ ПРИМЕСЕЙ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ГОРЯЧЕПРЕССОВАННОГО БЕРИЛЛИЯ

Прочностные свойства спеченного бериллия определяются содержанием примесей, гранулометрическим составом исходных порошков и режимами их консолидации [1]. Анализ производственной статистики показывает, что прочностные свойства горячепрессованного бериллия, выпускаемого по ТУ 469, имеют значительный разброс. Так, например, предел прочности (в поперечном направлении) при среднем значении 364 МПа изменяется от 300 до 420 МПа. А индекс воспроизводимости, учитывающий среднее квадратическое отклонение данной характеристики и требования ТУ 469 (min 350 МПа), составляет 0,9, что указывает на недостаточную надежность технологии вакуумного горячего прессования.

С использованием методов статистики были разработаны несколько математических моделей, прогнозирующих прочностные свойства горячепрессованного бериллия (рис. 1).

Корреляционный анализ показал, что из всех изученных примесей наиболее стабильное (отрицательное) влияние на прочностные свойства оказывает содержание кремния. Причем с увеличением содержания кремния с 0,01-0,02 до 0,02-0,03 % коэффициент корреляции увеличивается с -0,38 до -0,45, а предел прочности снижается с 371 до 358 МПа.

Цель работы состояла в исследовании влияния содержания кремния на структуру и прочностные свойства горячепрессованного бериллия.

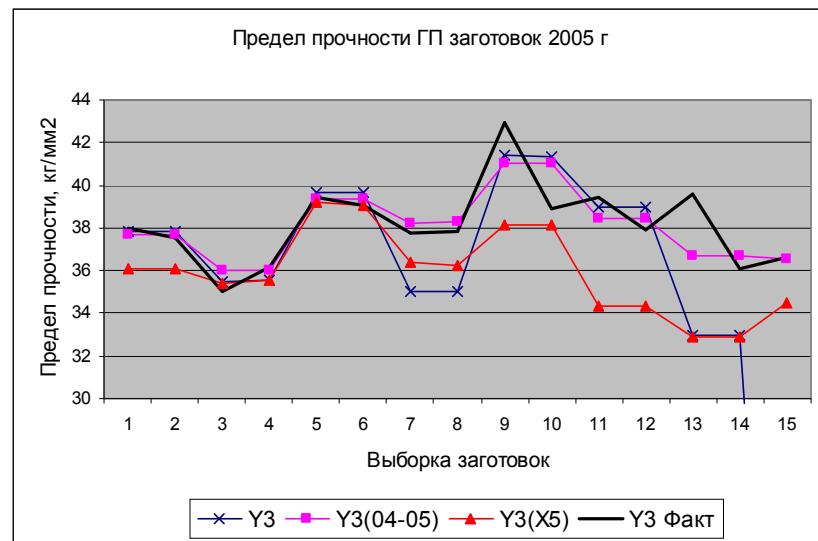
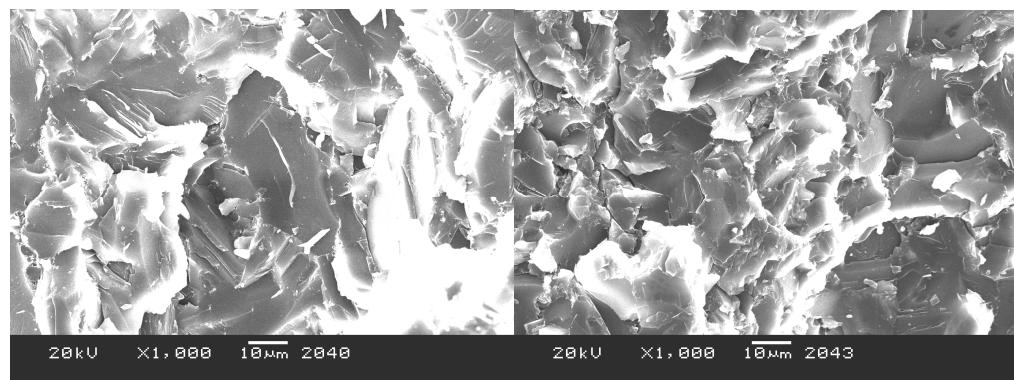


Рис. 1. Фактические и прогнозируемые значения предела прочности по результатам аттестации в ГП заготовок

Для сравнительных фрактографических исследований характера разрушения образцов были отобраны заготовки с различными прочностными свойствами: ( $\sigma_B = 315$  МПа, Si=0,023 %, Al=0,022 %) и ( $\sigma_A = 415$  МПа, Si=0,012 %, Al=0,027 %). Были исследованы топография поверхности изломов и химический состав вторичных фаз с помощью растрового электронного микроскопа – микроанализатора Jeol ISM 5610 (рис. 2).



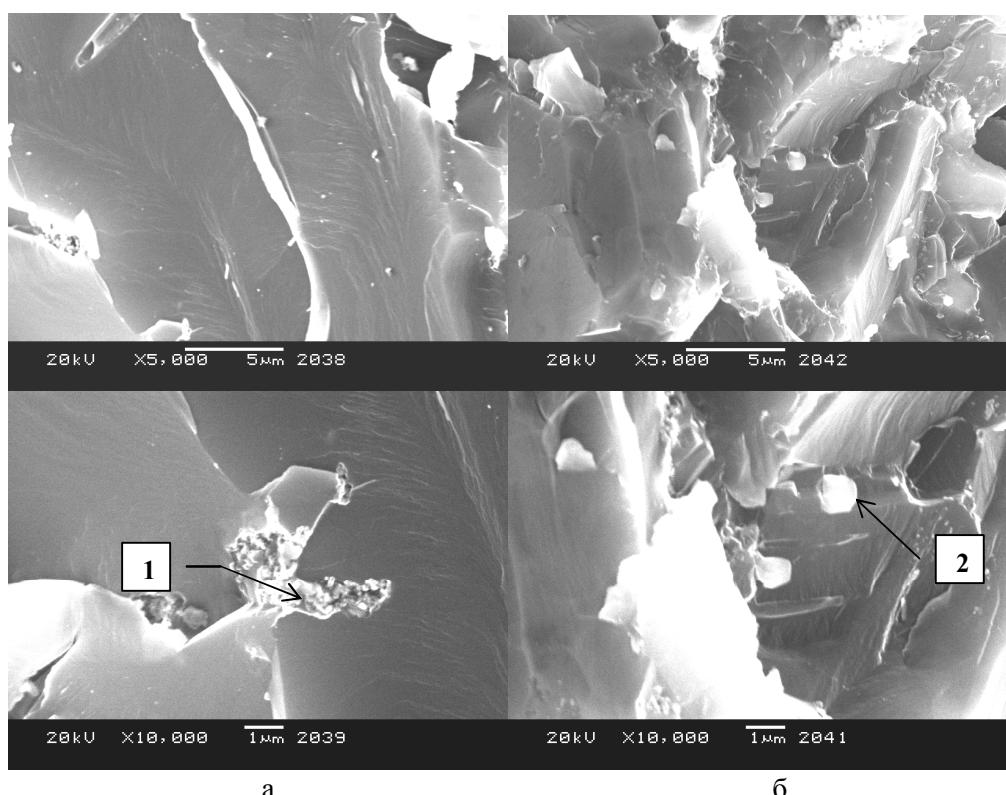
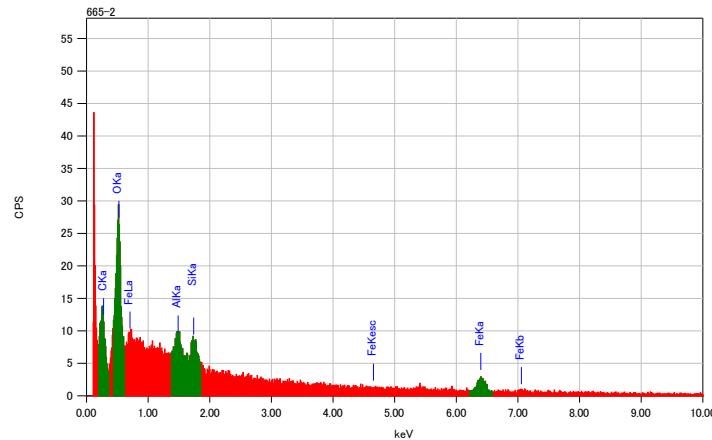


Рис. 2. Микрофрактография изломов горячепрессованного берилля с содержанием кремния 0,023 %,  $\sigma_B = 315 \text{ MPa}$  (а) и 0,012 %,  $\sigma_B = 410 \text{ MPa}$  (б)

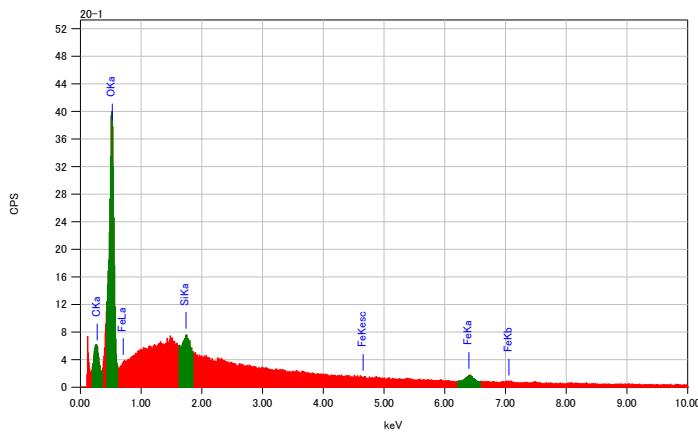
Анализ результатов показал, что в зоне излома образца с повышенным содержанием кремния имеются зоны с крупным зерном, около 60 мкм и скопления вторичных фаз (т.1) – кластеров размером 4-5 мкм. В изломе образца с низким содержанием кремния – излом более равномерный, мелкозернистый, а на поверхности разрушения имеются вторичные фазы – «моночастицы» (2) размером около 1 мкм.

Элементный состав вторичных фаз в изученных заготовках позволяет идентифицировать их как состоящие, в основном, из оксида берилля (основная доля – кислород: 55-75 %, при том, что элемент бериллий не определяется), но отличается тем, что во вторичных фазах заготовки (с Si = 0,023 %), кроме Si и Fe, присутствует Al (рис. 3).



Element	(keV)	Mass %	Error %	At %
C K	0,277	<b>36,23</b>	051	44,94
O K	0,525	<b>55,79</b>	1,23	51,96
Al K	1,486	<b>1,84</b>	0,42	1,02
Si K	1,739	<b>1,70</b>	0,38	0,90
Fe K	6,398	<b>4,44</b>	1,08	1,19
Total		100,00		100,00

a)



б)

Element	(keV)	Mass %	Error %	At %
C K	0,277	<b>21,53</b>	0,15	27,28
O K	0,525	<b>75,20</b>	0,25	71,55
Si K	1,739	<b>1,02</b>	0,12	0,55
Fe K	6,398	<b>2,24</b>	0,34	0,61
Total		100,00		100,00

Рис. 3. Элементный состав в т. 1 (а) и в т. 2 (б) (см. рис.5)

Существенные различия в морфологии микроструктуры и вторичных фаз на основе оксида бериллия, которая является упрочняющей, по-видимому, связаны с тем, что образующаяся легкоплавкая эвтектика Be-Al-Si [3] имеет различные свойства (температуру плавления, угол смачивания оксида Be) в зависимости от соотношения Al/Si. Наименьшая температура плавления 430 °C соответствует соотношению Al/Si=1 [4]. Кроме того,

известно, что жидкий кремний имеет угол смачивания оксида берилля  $70\text{--}80\ ^\circ\text{C}$ , а алюминий практически не смачивает оксид (угол смачивания  $180\ ^\circ\text{C}$ ) [2]. Можно предположить, что эвтектика, обогащенная кремнием, образуясь при более низких температурах ( $430\ ^\circ\text{C}$ ) и хорошо смачивая оксид берилля, в результате снижения межфазной энергии обволакивает частички разрушающегося при нагреве оксида берилля на поверхности частиц берилля и способствует коагуляции мелкодисперсных частиц оксида в поликристаллические кластеры, которые формируются в тройных стыках бериллиевых зерен. В результате происходит очистка границ зерен от оксида и создаются условия для миграции границ и роста зерен микроструктуры берилля. А эвтектика с преобладанием алюминия ( $\text{Al/Si}=2,25$ ), которая образуется при более высоких температурах и к тому же плохо смачивает оксид берилля, не проникает в трещины между частицами разрушающейся пленки оксида. Эвтектика, богатая алюминием, контактируя с оксидом по внешнему контуру участвует в коагуляции оксида берилля в монокристаллические частицы величиной около 1 мкм по «растворно-осадительному» механизму Гиббса-Томсона. В соответствии с предложенной моделью равновесная растворимость оксида в жидкой фазе зависит от формы и радиуса межфазной границы. Образующаяся при температуре спекания разность концентраций оксида берилля в жидкой фазе во впадинах ( $C_r$ ) и выступах ( $C_R$ ) обуславливает формирование диффузионных потоков и массоперенос с поверхности оксидной фазы к центру.

$$C_r - C_R = C_0 \left( e^{\frac{2\sigma V}{rKT}} - e^{\frac{2\sigma V}{RKT}} \right),$$

где  $C_0$  – равновесная концентрация оксида берилля в жидкой фазе при плоской поверхности раздела,

$\sigma$  – межфазовая поверхностная энергия,

$V$  – атомный объем твердой фазы,

$K$  – газовая постоянная,

$T$  – температура,  $K$ .

Далее алюминий, находящийся на поверхности кластеров или «моночастиц», при температурах горячего прессования может растворяться в бериллии (предельная растворимость Al в Be при  $630\ ^\circ\text{C}$  составляет 0,05 %, в то время как кремний практически нерастворим [5]). По этой причине алюминий не обнаруживается на поверхности «моночастиц» оксида берилля, но присутствует в оксидных кластерах.

Указанное влияние примеси кремния на морфологию микроструктуры и наноструктуры границ зерен горячепрессованного берилля (укрупнение зерен берилля и дисперсных частиц упрочняющей оксидной фазы) обуславливают наблюдаемую зависимость прочностных свойств от содержания кремния в бериллии (рис. 4).

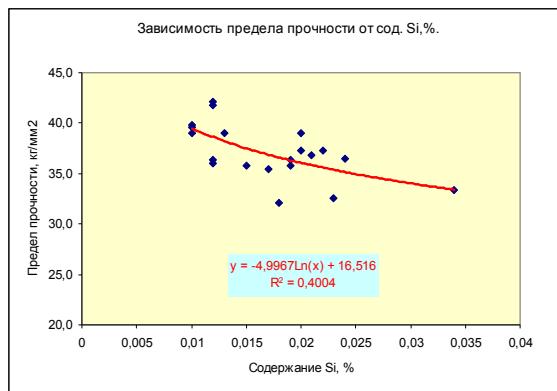


Рис. 4. Зависимость предела прочности ГП-заготовок от содержания кремния

При охлаждении заготовки после прессования происходит выделение из берилля растворенного железа как в виде  $\text{FeBe}_{11}$ , так и связывание Al и Si в виде тройных соединений  $(\text{Si})\text{AlFeBe}_4$  [3]. Указанный процесс в некоторой степени нивелирует разупрочняющее влияние кремния и тем в большей степени, чем большее соотношение Fe/Si.

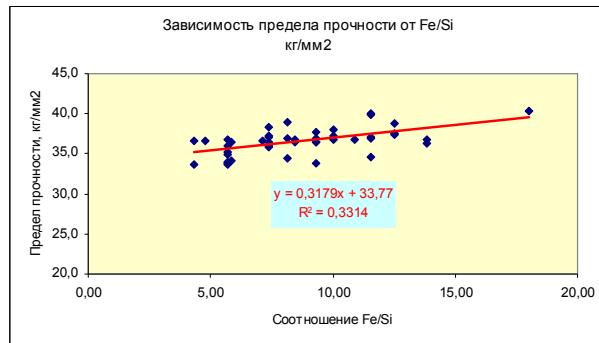


Рис. 5. Зависимость предела прочности ГП-заготовок от отношения Fe/Si

Проведенные исследования показали, что примесь кремния в горячепрессованном бериллии существенно влияет на морфологию микроструктуры и упрочняющей оксидной фазы. Увеличение содержания кремния с 0,01-0,02 до 0,02-0,03 % интенсифицирует процесс коагуляции оксида берилля на границах зерен, при этом отмечается изменениеnanoструктуры и морфологии упрочняющей оксидной фазы: вместо «моночастиц» размером порядка 1 мкм преобладают оксидные кластеры размером 4-5 мкм, и кроме того, в результате очистки границ зерен активируется собирательная рекристаллизация и зональный рост зерен. Полученные результаты качественно согласуются с результатами исследований изостатически прессованного берилля [6].

## Список литературы

1. Бериллий наука и технология /Под ред. Д. Вебстера. - М.: Металлургия, 1984.
2. Беляев Р.А. Окись берилля. - М.: Атомиздат, 1962
3. Папиров И.И. Структура и свойства сплавов берилля. - М.: ЭИ, 1981.
4. Папиров И.И. Бериллий в сплавах. - М.: Энергоатомиздат, 1986.
5. Ананьев В.М. и др. Диффузионные процессы в бериллии. - М.: ЭИ, 1981.
6. Рычков Г.С., Савчук В.В., Сырнев Б.В., Шахворостов Ю.В., Шестаков И.А. Дисперсно-зернограничное упрочнение изостатически прессованного берилля //«Материаловедение». - 2000. - № 12.

Получено: 15.05.06.