

**REPORTS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN**

ISSN 2224-5227

Volume 5, Number 309 (2016), 245 – 251

A. V. Nitsenko¹, S. A. Trebukhov, A. K. Kasymzhanova, A. S. Shendyapin

«Center of Earth Sciences, Metallurgy and Ore Beneficiation» JSC, Almaty, the Republic of Kazakhstan

¹alina.nitsenko@gmail.com**DETERMINATION OF ARSENIC DIFFUSION
COEFFICIENT UNDER REDUCED PRESSURE**

Abstract. Arsenic is one of the admixture elements subject to prior removal out of metallurgical raw materials because of its negative effect on technology and environment. One of the most effective ways to its extract is a thermal treatment in vacuum. It is necessary to have knowledge of the physical laws of mass transfer and information about the kinetic coefficients for calculation and design of apparatus for raw materials processing. In consideration of the published papers on gas dynamics of sublimation processes, the lack of information about arsenic diffusion has been ascertained.

In this paper arsenic vapor diffusion in different conditions through argon and quartz layer has been experimentally studied. The study was conducted by a stationary flow by a vertical vacuum system with continuous weighing of sample under isothermal conditions. As a result of this work, numerical values of the diffusion coefficient of arsenic vapor through argon layer and quartz powder have been obtained. It is found that in both embodiments of the filter (argon or quartz) diffusion coefficient increases with increasing temperature and decreasing pressure. Furthermore, the more the size of the filter grain increases, the more total pore space raises, boosting in the diffusion coefficient. In the process of comparing the experimental and previously calculated data, we can conclude on the applicability of the selected method of calculation and determination of the diffusion coefficient.

Keywords: arsenic, quartz, diffusion, temperature, low pressure.

УДК 669.778-982:539.378.3

¹ **А.В. Ниценко, С.А. Требухов, А.К. Касымжанова, А.С. Шендяпин**

АО «Центр наук о Земле, металлургии и обогащения», Алматы, Казахстан

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ДИФФУЗИИ МЫШЬЯКА
ПРИ ПОНИЖЕННОМ ДАВЛЕНИИ**

Аннотация. Мышьяк является одним из примесных элементов, подлежащих предварительному удалению из металлургического сырья, вследствие его негативного воздействия на технологию и окружающую среду. Одним из эффективных способов его извлечения является термическая обработка в вакууме. Для расчета и проектирования аппаратов по переработке сырья необходимы знания физических закономерностей массопереноса и информация о кинетических коэффициентах. При рассмотрении опубликованных исследований газодинамики сублимационных процессов установлена недостаточная изученность диффузии мышьяка.

В данной работе экспериментально исследована диффузия паров мышьяка в различных условиях через аргон и слой кварца. Исследование проведено методом стационарного потока на вертикальной вакуумной установке с непрерывным взвешиванием навески в изотермических условиях. В результате проведенной работы были получены численные значения коэффициента диффузии паров мышьяка через слой аргона и порошка кварца. Установлено, что в обоих вариантах фильтра (аргон или кварц) коэффициент диффузии увеличивается с повышением температуры и понижением давления. Кроме того, при увеличении размера зёрен фильтра возрастает общее поровое пространство, что ведет к увеличению коэффициента диффузии. При сопоставлении экспериментальных и рассчитанных ранее данных можно сделать вывод о применимости выбранных методов расчёта и определения коэффициента диффузии.

Ключевые слова: мышьяк, кварц, диффузия, температура, пониженное давление.

Введение. В природе мышьяк встречается в основном в виде различных соединений, иногда в самородном состоянии. Например, в арсенидах он связан главным образом с железом, никелем и кобальтом, реже с медью и платиной. В сульфосолях (тиосолях) – с медью, свинцом, серебром и таллием. В арсенатах он ассоциирует с натрием, магнием, кальцием, барием, висмутом, алюминием, цинком, свинцом, никелем, кобальтом, марганцем, железом, медью, ураном [1-4].

В виде примеси мышьяк входит в состав и других сульфидов, что связано со способностью трехвалентного иона мышьяка образовывать различные химические соединения. Кроме того, многие элементы могут обнаруживаться в минералах мышьяка, в арсенидах и тиосолях в качестве примесей [2, 3, 5-7]. Возможно из-за такой способности мышьяк часто присутствует в минеральном сырье и накапливается в промпродуктах.

Примесь мышьяка является токсичной и трудноизвлекаемой, т.к. она осложняет получение товарного продукта, увеличивает потери цветных металлов с отвальными продуктами, а также в значительной мере загрязняет окружающую среду. Поэтому извлечение мышьяка в виде нетоксичных продуктов представляет собой актуальную и сложную задачу, решению которой в последнее время уделяется большое внимание.

Имеется множество различных гидро-, пиро- и комбинированных схем переработки мышьяксодержащих материалов, включающих стадию предварительного удаления мышьяка [8-13], но они характеризуются многостадийностью, дороговизной, а также выводом мышьяка в виде токсичных отходов, требующих организации дорогостоящего спецзахоронения.

Одним из перспективных направлений рационального природопользования и охраны окружающей среды является применение вакуумной пироселекции для предварительного извлечения мышьяка из различных видов сырья [10, 14-16], преимуществом которой является возможность высокой степени извлечения мышьяка в одну стадию с получением нетоксичных возгонов.

Для управления и оптимизации технологических параметров, совершенствования, моделирования и расчета аппаратуры, особенно при пониженном давлении, необходимо иметь сведения о термическом поведении извлекаемого вещества и о кинетических закономерностях процессов протекающих в пористых телах.

В металлургических процессах возгонка и испарение веществ обычно происходит из смесей с инертными компонентами, и лимитирующей стадией процесса в этом случае часто бывает диффузия летучих компонентов через пористые материалы. В вакууме общая скорость процесса редко лимитируется внешней диффузией, как правило – кинетикой или внутренней диффузией [17].

В литературе имеются весьма ограниченные сведения о влиянии пористости, состава и строения дисперсной среды на кинетические закономерности процессов разложения и испарения веществ в вакууме, а данных о поведении мышьяка и его соединений при нагревании в присутствии и отсутствии пористых тел в доступной нам литературе не найдены.

Ранее [18] нами было установлено, что мышьяк в диапазоне давлений 6,65-91,77 кПа начинает возгоняться при температурах 300-400 °С, а значительное увеличение скорости его возгонки относится к температурам выше 500 °С. На основании данных по зависимости скорости возгонки мышьяка от температуры при различном значении остаточного давления в системе была получена температурная зависимость давления пара мышьяка, описываемая уравнением: $\lg P \text{ (кПа)} = -6418,2/T + 9,4148$.

В работе [19] был выполнен расчет эффективного коэффициента диффузии мышьяка в нейтральную среду в диапазоне температур 200-600 °С и давлений 1,33-91,77 кПа по двум методикам: Чепмена-Энскога и Вильке-Ли. При сравнении расчётных данных с эмпирическими сделан вывод о применимости выбранных методик для расчёта коэффициента диффузии мышьяка в аргон, при этом уравнение Чепмена-Энскога является более приемлемым по сравнению с методом Вильке-Ли. Значения коэффициента диффузии, полученные по методу Чепмена-Энскога, при выбранных условиях находятся в диапазоне значений от $17,71 \cdot 10^{-4}$ до $394,76 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$.

В данной работе приведены результаты экспериментального изучения зависимости коэффициента диффузии мышьяка от основных факторов (температуры, давления, высоты и крупности зёрен фильтра). Эффективный коэффициент диффузии паров мышьяка определяли через газовый слой без фильтра и через слой пористого материала.

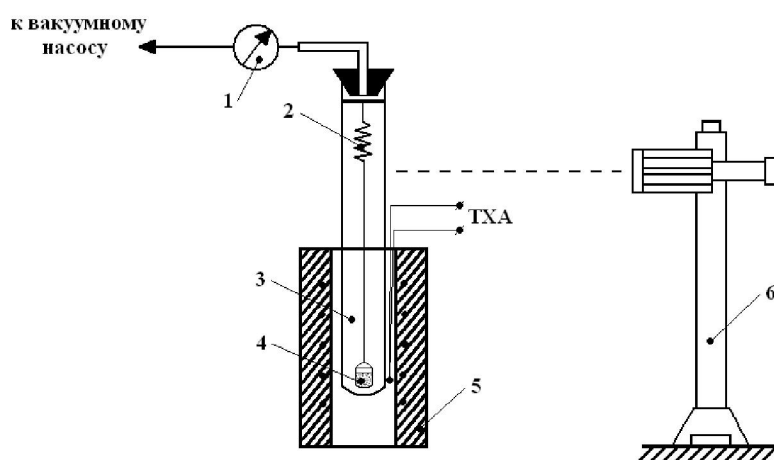
Материалы. В качестве нейтральной среды использовали аргон (ГОСТ 10157-79, содержащий 99,993 % Ar), а пористого вещества – кварц.

Порошок кварца готовили измельчением плавленного кварца и рассевом по четырем классам крупности.

Металлический мышьяк получали возгонкой из арсенопиритового концентрата при температуре 700 °С в вакууме 0,04 кПа и повторной возгонкой конденсата при температуре 500 °С. Суммарное содержание примесей в возгонах – 0,3 %, т.е. препарат содержал 99,7 % мышьяка.

Методика исследований. Исследование проведено методом стационарного потока на вертикальной вакуумной установке с непрерывным взвешиванием навески в изотермических условиях (рисунок 1).

Метод стационарного потока основан на пропускании паров исследуемого вещества с постоянной скоростью через слой газа, материала или смеси компонентов, определении концентрации паров в нижней и верхней частях слоя, расчёте скорости испарения (возгонки) и эффективного коэффициента диффузии.



1 – вакуумметры; 2 – пружина с нитью; 3 – кварцевый реакционный сосуд; 4 – кварцевый тигель с навеской; 5 – электропечь; 6 – катетометр КМ-8.

Рисунок 1 – Схема вертикальной вакуумной установки с непрерывным взвешиванием образца

Стадия диффузии может лимитировать скорость всего процесса только при значительном превышении давления окружающей среды над равновесным давлением пара исследуемых веществ. При отработке методики проведения экспериментов по возгонке мышьяка под кварцевым фильтром с целью выбора условий опытов установлено, что при большой скорости возгонки мышьяка порошок кварца выдувается из тигля потоком паров мышьяка. Вероятнее всего, это происходит за счёт перепада давления под слоем фильтра, возникающем при возгонке (испарении) вещества к непроницаемой для него поверхности [20]. Поэтому эмпирически были подобраны условия, предупреждающие вынос материала фильтра, при котором скорость возгонки мышьяка достаточна для регистрации.

Последовательность операций экспериментов состояла в следующем: навеску исследуемого материала помещали в кварцевый тигель 4 (площадь сечения – 0,5 см²), который подвешивали к пружинным весам 2. Кварцевую реторту 3 с размещенными в ней тиглем с навеской несколько раз промывали аргоном, помещали в нагретую до заданной температуры электропечь 5 и медленно создавали заданные условиями эксперимента давление в системе. С момента достижения заданного давления с помощью катетометра 6 регистрировали изменения массы навески во времени. После выдержки навески заданное время в печи реторту вынимали из печи и охлаждали. Кварцевый тигель вынимали из реторты, остаток навески взвешивали.

Уравнение, используемое для расчёта эффективного коэффициента диффузии, выглядит следующим образом:

$$\frac{\Delta C}{V} = R + h \frac{1}{D_{эф}}$$

где: ΔC – разность концентраций паров мышьяка под и над слоем, кг/м^3 , определяется исходя из ранее найденных значений давления насыщенного пара диффундирующего вещества при температуре опыта; V – скорость испарения диффундирующего материала, $\text{кг/м}^2 \cdot \text{с}$, определяется по потере массы материала в каждый момент времени; R – коэффициент, определяющий сопротивление внешнего массообмена, с/м ; h – высота слоя инертного материала над диффундирующим веществом, м ; $D_{эф}$ – коэффициент диффузии, $\text{м}^2/\text{с}$.

Величину ΔC , полагая давление пара вблизи поверхности возгонки равным давлению насыщения, а в парогазовой смеси вдали пренебрежимо малым, определяли из известных данных [21] о давлении пара мышьяка. Необходимую для расчетов скорость испарения рассчитывали как среднюю за сравнительно длительное время опыта. За высоту газового слоя принималось расстояние между поверхностью мышьяка и срезом тигля, которое варьировалось за счёт изменения высоты тигля при неизменной массе навески мышьяка.

Построив график зависимости $\Delta C/V$ от h , получили прямую, у которой угловой коэффициент выражает величину $1/D_{эф}$, а отрезок на оси ординат величину R .

Следует отметить, что определённый по расчётному уравнению коэффициент диффузии включает в себя и величину стефанова потока.

Результаты и их обсуждение. Для оценки влияния пористого фильтра на скорость возгонки мышьяка сначала были проведены опыты без фильтра, где измерялась скорость возгонки мышьяка из тиглей различной высоты. Условия и результаты опытов приведены в таблице 1, там же даны результаты теоретического расчёта по уравнению Чепмена-Энскога [19].

Таблица 1 - Влияние высоты слоя на скорость возгонки мышьяка через слой аргона

Условия		Степень возгонки A_s , %	Скорость возгонки A_s , $V \cdot 10^{-3}$, $\text{кг/м}^2 \cdot \text{с}$	Высота газового слоя, м	Коэффициент диффузии, $D \cdot 10^{-5}$, $\text{м}^2/\text{с}$	
температура, °C	давление, кПа				эксперимент	расчет [19]
420	100	33,71	0,44	7	5,05	8,06
		17,71	0,32	12		
		11,14	0,22	17		
		6,57	0,16	22		
440		35,43	0,46	7	5,78	8,49
		28,57	0,37	12		
		21,14	0,28	17		
		14,57	0,24	22		
460		64,68	0,82	7	7,07	8,92
		57,43	0,74	12		
		45,14	0,59	17		
		32,00	0,47	22		
480	100,0	1,43	7	7,74	9,37	
	95,43	1,24	12			
	73,14	0,92	17			
	65,14	0,84	22			
460	300	28,86	0,37	7	2,63	2,98
		24,29	0,29	12		
		17,71	0,22	17		
		14,86	0,19	22		
	690	20,00	0,26	7	0,71	1,23
		12,86	0,17	12		
		7,71	0,10	17		
		6,00	0,08	22		

Как видно из таблицы 1, скорость и степень возгонки мышьяка увеличивается с уменьшением высоты газового слоя, с повышением температуры процесса и понижением давления в системе. При сравнении теоретических и экспериментальных данных установлено, что опытные значения коэффициента диффузии несколько ниже расчётных, что, вероятно, связано с использованием при

расчёте приближенных значений, полученных с учётом других рассчитанных параметров. Кроме того, на величину погрешности влияет тот фактор, что при возгонке со временем слой газа над навеской увеличивается, что в свою очередь затормаживает процесс и уменьшает величину коэффициента диффузии.

В таблице 2 приведены условия и результаты опытов, проведенных в присутствии кварцевого фильтра, а также результаты теоретических расчётов коэффициента диффузии через пористую засыпку с учётом и без учета поправки на стефанов поток. Как видно, экспериментальные значения коэффициента диффузии пара мышьяка близки к теоретическим данным, если при расчёте исходить из табличного значения коэффициента диффузии пара мышьяка в аргоне с поправкой на стефанов поток.

Таблица 2 – Влияние высоты слоя на скорость возгонки мышьяка через фильтр кварца (класс крупности -0,2+0,16 мм)

Условия		Сте-пень воз-гонки As, %	Ско-рость воз-гонки As, $V \cdot 10^{-5}$, $\text{кг}/\text{м}^2 \cdot \text{с}$	Высота фильтра, м	Коэффициент диффузии, $D \cdot 10^{-5}$, $\text{м}^2/\text{с}$		
темпе-ратура, $^{\circ}\text{C}$	давле-ние, кПа				экспе-римент	расчет	
						с учетом поправки	без учета поправки
420	100	9,14	0,16	3	2,18	2,60	1,68
		8,57	0,15	8			
		5,14	0,09	13			
		1,71	0,07	18			
440		20,0	0,32	3	2,45	2,88	1,79
		18,86	0,25	8			
		10,29	0,17	13			
		8,0	0,13	18			
460		48,29	0,72	3	3,01	3,33	1,86
		27,14	0,4	8			
		22,86	0,35	13			
		15,71	0,27	18			
480	85,71	1,11	3	3,47	4,30	1,95	
	65,14	0,84	8				
	45,14	0,58	13				
	36,0	0,5	18				
460	300	22,86	0,38	3	0,78	0,96	0,62
		12,0	0,15	8			
		9,43	0,12	13			
		6,57	0,09	18			
	690	4,86	0,06	3	0,41	0,41	0,27
		2,86	0,04	8			
		2,86	0,04	13			
		2,29	0,03	18			

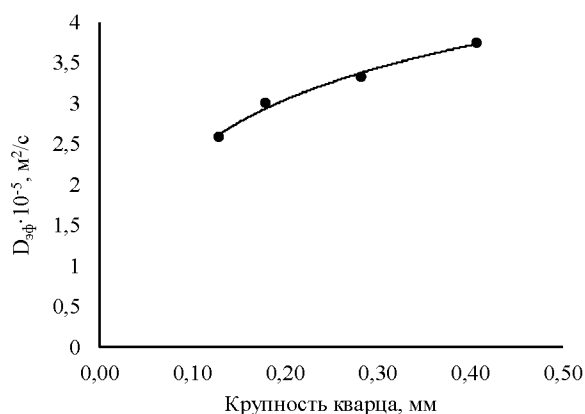


Рисунок 2 – Влияние крупности кварцевого песка на коэффициент диффузии мышьяка через него
Установлено, что при диффузии через фильтр кварцевого песка коэффициент диффузии

увеличивается с повышением температуры и понижением давления в системе.

Зависимость коэффициента диффузии мышьяка через кварцевую засыпку от крупности фильтра приведена на рисунке 2. Как видно, с ростом размера зёрен материала фильтра коэффициент диффузии мышьяка возрастает, что связано с увеличением размера пор, а, следовательно, и с увеличением общей площади пустот для прохода паров (живого сечения).

Выводы. Таким образом, в результате проведенной работы были получены численные значения коэффициента диффузии паров мышьяка через слой аргона и порошка кварца. Установлено, что в обоих вариантах фильтра (аргон или кварц) коэффициент диффузии увеличивается с повышением температуры и понижением давления. Кроме того, при увеличении размера зёрен фильтра возрастает общее поровое пространство, что ведет к увеличению коэффициента диффузии.

Хорошее совпадение экспериментальных и расчётных данных позволяет сделать вывод о применимости выбранных методов расчёта и определения коэффициента диффузии. Небольшое расхождение в данных относится к использованию при вычислении расчётного коэффициента диффузии приближенных значений некоторых параметров.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Горная энциклопедия: в 5 т. / под ред. Е. А. Козловского. – М.: Сов.энцикл., 1991. – Т. 5. – 451 с.
- [2] Бетехтин А. Г. Минералогия. – М.: Госгеолтехиздат, 1950. – 956 с.
- [3] Годовиков А. А. Минералогия. – М.: Недра, 1975. – 520 с.
- [4] Ручик А. С. Методы химического анализа мышьяковых руд и продуктов их переработки. – М.: Госхимиздат, 1958. – 110 с.
- [5] Исабаев С. М., Папинкин А. С., Мильке Э. Г., Жамбеков М. И. Физико-химические основы сульфидирования мышьяксодержащих соединений. – Алма-Ата: Наука КазССР, 1986. – 184 с.
- [6] Костов И. Минералогия. – М.: Мир, 1971. – 584 с.
- [7] Минералогические таблицы: Справочник. – М.: Недра, 1981. – 399 с.
- [8] Турьгин В. В., Смирнов М. К., Сметанин А. В., Жуков Э. Г., Федоров В. А., Томилев А. П. Получение мышьяка из промышленных отходов цветных металлов электрохимическим методом // Неорганические материалы. – 2008. – Т. 44, № 9. – с. 1065-1073.
- [9] Медиханов Д. Г., Алипбергенов М. К., Исабаев С. М., Кузгибекова Х. М. Теория и практика удаления мышьяка при производстве меди. – Караганда: Карагандинская полиграфия, 2003. – 240 с.
- [10] Храпунов В. Е., Исакова Р. А. Переработка упорных золотомышьяковых концентратов с применением вакуума. – Алматы: Гылым, 2002. – 266 с.
- [11] Попов В. А., Серегин П. С., Румянцев Д. В., Цемехман Л. Ш. Разработка технологии обжига мышьяковистых золотосодержащих концентратов с выделением мышьяка в низкотоксичный продукт с получением годного для дальнейшей переработки огарка. // Сб. докладов 7 Междунар. конгресса «Цветные металлы и минералы». – Красноярск (Россия), 2015. – С. 98-105.
- [12] Гуляшинов П. А., Палеев П. Л., Гуляшинов А. Н. Удаление мышьяка при обжиге скородитсодержащей руды в атмосфере водяного пара // Вестник ВСГУТУ. – 2015. – т. 55, № 4. – С. 26-30.
- [13] Копылов Н. И., Каминский Ю. Д., Очуроол А. П. Комбинированный способ удаления мышьяка из отвалов // Химическая технология. – 2011. – Т. 12, № 8. – С. 498-500.
- [14] Исакова Р. А., Храпунов В. Е., Володин В. Н. Вакуумные технологии переработки полиметаллического сырья и рафинирования металлов: разработки и перспективы // Цветные металлы. – 2012. – № 10. – С. 69-74.
- [15] Исакова Р. А., Нестеров В. Н., Челохсаев Л. С. Основы вакуумной пироселекции полиметаллического сырья. – Алма-Ата: Наука, 1973. – 255 с.
- [16] Пат. 87048 Украина. Агрегат для видалення миш'яку із залізвуглецевого розплаву під вакуумом /П. С. Харлашин, М. О. Ильяшов, Ю. О. Гуков, Е. О. Юшков, В. М. Сафонов; опубл. 18.10.2009, Бюл. № 18 – 5 с.
- [17] Жуховицкий А. А. Физико-химические основы металлургических процессов. – М.: Металлургия, 1973. 390 с.
- [18] Нищенко А. В., Храпунов В. Е., Исакова Р. А., Требухов С. А. Термическое поведение мышьяка при пониженном давлении // Комплексное использование минерального сырья. – 2012. – № 4. – С. 73-80.
- [19] Нищенко А. В. Расчетная оценка коэффициента диффузии пара мышьяка в нейтральной среде // Комплексное использование минерального сырья. – 2015. – № 4. – С. 47-53.
- [20] Ивановский М. Н., Сорокин В. П., Субботин В. Н. Испарение и конденсация металлов. – М.: Атомиздат, 1976. – 216 с.
- [21] Несмеянов А. Н. Давление пара химических элементов. – М.: Изд-во АН СССР, 1961. – 396 с.

REFERENCES

- [1] Mining encyclopedia: v 5 t. / pod red. E. A. Kozlovskogo. M.: Sov.jencikl., 1991. 5. 451 p. (in Russ).
- [2] Betekhtin A. G. Mineralogy. M.: Gosgeoltekhizdat, 1950. 956 p. (in Russ).
- [3] Godovikov A. A. Mineralogy. M.: Nedra, 1975. 520 p. (in Russ).

- [4] Ruchik A. S. Methods for chemical analysis of arsenic ores and their products. M.: Goshimizdat, **1958**. 110 p. (in Russ).
- [5] Isabaev S. M., Pashinkin A. S., Mil'ke Eh. G., Zhambekov M. I. Physical and chemical bases of arsenic compounds sulfidizing. Alma-Ata: Nauka KazSSR, **1986**. 184 p. (in Russ).
- [6] Kostov I. Mineralogy. M.: Mir, **1971**. 584 p. (in Russ).
- [7] Reference book: Mineralogical tables. M.: Nedra, **1981**. 399 p. (in Russ).
- [8] Turygin V. V., Smirnov M. K., Smetanin A. V., Zhukov Eh. G., Fedorov V. A., Tomilov A. P. *Inorganic materials*, **2008**, 44, 9, 1065-1073 (in Russ).
- [9] Medihanov D. G., Alipbergenov M. K., Isabaev S. M., Kuzgibekova H. M. Theory and practice of removing arsenic from copper production. Karaganda: Karagandinskaya poligrafiya, **2003**. 240 p. (in Russ).
- [10] Khrapunov V. E., Isakova R. A. Processing of refractory gold-arsenic concentrates with vacuum. Almaty: Gylym, **2002**. 266 c. (in Russ).
- [11] Popov V. A., Seregin P. S., Rumyancev D. V., Tsemekhman L. Sh. Development of sintering technology gold-arsenic concentrates with arsenic release into the slightly toxic product to give of suitable for further processing cinder. *7th International Congress «Non-ferrous metals & Minerals»*, **2015**, p. 98-105. (in Russ).
- [12] Gulyashinov P. A., Paleev P. L., Gulyashinov A. N. *Messenger of the VSGUTU*, **2015**, 55, 4, 26-30. (in Russ).
- [13] Kopylov N. I., Kaminskij Yu. D., Ochurool A. P. *Chemical technology*, **2011**, 12, 8, 498-500. (in Russ).
- [14] Isakova R. A., Khrapunov V. E., Volodin V. N. *Non-ferrous metals*, **2012**, 10, 69-74. (in Russ).
- [15] Isakova R. A., Nesterov V. N., Chelokhsaev L. S. Fundamentals of vacuum processing of complex ore materials. Alma-Ata: Nauka, **1973**, 255 p. (in Russ).
- [16] Pat. 87048 Ukraine. Aggregate for removing arsenic from iron-carbon melt under vacuum /P. S. Kharlashin, M. O. Ilyashov, Yu. O. Gukov, E. O. Yushkov, V. M. Safonov; publ. 18.10.2009, Bull. № 18 – 5 p. (in Ukr.)
- [17] Zhukhovickij A. A. Physical and chemical bases of metallurgical processes. M.: Metallurgiya, **1973**, 390 p. (in Russ).
- [18] Nitsenko A. V., Khrapunov V. E., Isakova R. A., Trebukhov S. A. *Complex Use of Mineral Resources*, **2012**, 4, 73-80. (in Russ).
- [19] Nitsenko A. V. *Complex Use of Mineral Resources*, **2015**, 4, 47-53. (in Russ).
- [20] Ivanovskij M. N., Sorokin V. P., Subbotin V. N. Evaporation and condensation of metals. M.: Atomizdat, **1976**, 216 p. (in Russ).
- [21] Nesmeyanov A. N. The vapor pressure of the chemical elements. M.: Izd-vo AN SSSR, **1961**, 396 p. (in Russ).

¹Ниценко А.В., Требухов С.А., Қасымжанова А.К., Шендяпин А.С.

АҚ «Жер туралы ғылымдар, металлургия және кен байыту орталығы»,
Алматы, Қазақстан Республикасы

ТӨМЕНДЕТІЛГЕН ҚЫСЫМ КЕЗІНДЕГІ МЫШЬЯКТЫҢ ДИФФУЗИЯ КОЭФФИЦИЕНТІН АНЫҚТАУ

Аннотация. Мышьяк қоспалы элементтердің бірі болып келеді, ол металлургиялық шикізаттан алдын ала жоюды талап етеді, өйткені оның бар болғаны технология мен қоршаған ортаға теріс әсер етеді. Оны бөліп алудың ұтымды әсерінің бірі вакуумда термиялық қайта өңдеу болып табылады. Шикізатты қайта өңдейтін аппаратты жобалау және есептеу үшін масса алмасудың физикалық заңдылықтары жайлы білімі және кинетикалық коэффициенттері жайлы мағлұматтары болу қажет. Сублимациялық үрдістердің газодинамикалық зерттеулерінің баспаға шыққандарын қарай отырып барлық айтылған орталардағы мышьяк диффузиясының жеткіліксіз зерттелген деген шешімге келдік.

Бұл жұмыста экспериментті мышьяк диффузия булары әр түрлі жағдайларда аргон және кварц қабаты арқылы зерттеледі. Зерттеу әдісі стационарлық ағын орнатылған тік вакуумдық үздіксіз өлшеумен изотермиялық ілме арқылы өткізіледі. Жүргізілген жұмыс нәтижесінде сандық диффузия коэффициентінің мәні мышьяк буларының қабаты аргон және ұнтақ кварц пен анықталды. Анықталғандай, екі нұсқалардағы сүзгілер (аргон мен кварц) температура арғынымен қысымның төмендеуімен диффузиялық коэффициенті өседі. Сонымен қатар, түйір көлемі ұлғайған жағдайда сүзгінің жалпы кеңістігін арттырады, бұл диффузия коэффициентіне әкеледі. Тандалған есептемелер диффузия коэффициентін анықтау әдістерін қолдануға болады деген қорытынды жасаймыз.

Түйін сөздер: мышьяк, кварц, диффузия, температура, төмендетілген қысым.