

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛУЧЕНИЯ ФЕРРОНИКЕЛЯ ИЗ ОКИСЛЕННЫХ НИКЕЛЕВЫХ РУД КАЗАХСТАНА

А.С. Колесников

Приведены термодинамические исследования системы «никельсодержащая руда – углерод» с целью получения ферроникеля из оксидных руд Казахстана, в частности руд месторождения «Бугетколь». Теоретические исследования системы методом термодинамического моделирования осуществляли в интервале температур 1000–1700 К и давлении $P = 0,1$ МПа. Для количественного термодинамического моделирования процессов извлечения металлов, в частности железа, никеля и кобальта был использован программный комплекс «Астра-4», основанный на принципе максимума энтропии. Проведенные исследования представлены степенью перехода никеля в Ni_k 100 % в температурном интервале 1000–1300 К и степенью перехода кобальта в Co_k 100 % в температурном интервале 1000–1300 К.

Ключевые слова: окисленные никелевые руды, ферроникель, металлы, никель, кобальт, термодинамический анализ.

На оксидных месторождениях сосредоточено 72 % мировых запасов никеля, однако в настоящее время только 42 % металла получают из латеритных руд (на начало 2005 г.). Дело в том, что сульфидные залежи богаче по содержанию никеля и меди, кроме того, в этих рудах присутствует больше редких и благородных металлов, которые извлекаются попутно. Эти попутные продукты часто делают больший вклад в доходы производителя, чем целевой никель. Однако сульфидные руды есть только в Канаде и России [1].

Общие запасы никеля в мире оцениваются Геологической службой США в 160 млн т (на конец 2002 г.). Уникальными месторождениями (более 20 млн т) обладают Австралия (25 млн т) и Куба (23 млн т), очень крупными (10–15 млн т) – Новая Каледония и Канада (15 млн т), Индонезия (13 млн т), ЮАР (12 млн т), Филиппины (11 млн т) [1].

Мировые подтвержденные запасы никеля составляли на начало 2003 г. 58 млн т. Крупнейшие запасы находятся в Австралии (20 млн т), затем идут Россия и Канада (по 6,6 млн т), Куба (5,6 млн т), Новая Каледония (4,5 млн т), Китай (3,7 млн т), Индонезия (3,2 млн т), ЮАР (2,5 млн т) [1].

Кроме того, в железо-марганцевых конкрециях на дне Мирового океана ресурсы никеля оценивают в 1 млрд т при среднем содержании 1,3 % никеля.

Республика Казахстан располагает значительными запасами никелевых руд.

К настоящему времени в Республике Казахстан обнаружено около 40 месторождений силикатных оксидных никелевых руд, представляющих промышленный интерес.

Руды содержат в среднем 1,4 % никеля, а в отдельных участках – до 1,5–3,0 %. Чаще всего месторождения состоят из цепочек рудных залежей, разобщенных участками пустых пород. Размеры залежей различают: минимальные – при

длине 220–360 м и ширине 50–140 м и максимальные – при длине 1500–2000 м и ширине 320–700 м. Добыча ведется дешевым открытым способом, но при этом из карьеров вынимают много пустой породы.

В настоящее время разрабатываются месторождения Кимперсайского рудного района, Ново-Бурановское, Тайкеткенское, Батамшинское, Ново-Батамшинское, Промежуточное, Чугаевское и Октябрьское. Представлены к добыче Бурановское, Рождественское, Ново-Саздыкское, Щербаковское, Старо-Тайкетенское, Каменный Кобчик.

В настоящее время в мировой практике перерабатываются руды, как правило, содержащие более 1,4 % никеля, но наблюдается тенденция к переработке все более бедных руд [2].

Добываемые на казахстанских месторождениях руды в настоящее время перерабатываются в Российской Федерации: на комбинате «Южуралникель» (г. Орск) и частично на Режском и Верхнеуфалейском никелевых заводах. Организация собственного промышленного производства никеля из имеющегося в Казахстане в значительном количестве никелевого сырья бесспорно является актуальной задачей.

Таким образом, теоретические исследования термодинамического моделирования распределения элементов в системе «никелевая руда – углерод» с помощью программного комплекса «Астра-4» [3], методика которого описана в работе [4], являются новыми и представляют научную новизну и практическую значимость для металлургической промышленности Казахстана и экономики в целом.

С целью теоретического исследования возможности получения ферроникеля из системы «никелевая руда – углерод» было проведено термодинамическое моделирование с помощью программного комплекса «Астра-4», основанного на максимуме энтропии в интервале температур

1000–1700 К и давлении $P = 0,1$ МПа. Основой для моделирования послужил процесс электротермической плавки никелевой руды в дуговой рудно-термической печи.

Для проведения исследований была использована окисленная никельсодержащая руда месторождения Бугетколь, химический состав которой приведен в таблице.

В системе «окисленная никельсодержащая руда – углерод» с помощью термодинамического моделирования рассмотрено влияние температуры на распределение железа (Fe), никеля (Ni), кобальта (Co), кремния (Si), натрия (Na), магния (Mg), алюминия (Al), кальция (Ca), хрома (Cr), марганца (Mn), углерода (C), и кислорода (O_2).

В результате термодинамического моделирования процесса электротермической плавки никелевой руды выяснилось, что в системе «никелевая руда – углерод» происходит образование более 8 элементов: Fe, Ni, Co, Na, Mg, Cr, Mn, C и 17 соединений: Fe_3C_k , $FeSiO_{3k}$, $Fe_2Al_4Si_{8k}$, SiO, SiO_{2k} , SiO_2 , $CaSiO_{3k}$, $CaMnSiO_{4k}$, Mn_2SiO_{4k} , Na_2CO_{3k} , MgO_k , $CaAl_{12}O_{19k}$, Cr_2O_{3k} , CrO_k , MnO_k , CO, CO_2 .

Из рис. 1 следует, что степень перехода Fe в системе «окисленная никельсодержащая руда – углерод» составляет для соединения Fe_3C_k максимально при $T = 1200$ К до 64,3 %, для соединения $FeSiO_{3k}$ до 92,5 % при $T = 1000$ К и с увеличением температуры до 1700 К уменьшается до 43,7 %, а для соединения $Fe_2Al_4Si_{8k}$ 7,47 % в температурном интервале 1100–1200 К.

Степень перехода никеля, в системе «окисленная никельсодержащая руда – углерод» показана на рис. 1. Из которого следует, что степень перехода никеля (Ni) в Ni_k составляет 100 % в температурном интервале 1100–1300 К и с увеличением температуры до 1700 К снижается до 99,97 %, начиная переходить в газовую фазу.

Степень перехода кобальта (Co) в системе «окисленная никельсодержащая руда – углерод»

показана на рис. 1. Из которого следует, что степень перехода кобальта аналогично никелю, распределяется в Co_k и составляет 100 % в температурном интервале 1100–1300 К и с увеличением температуры до 1700 К снижается до 99,69 % начиная переходить в газовую фазу.

Информация о степени распределения кремния, натрия, магния, алюминия, кальция, хрома, марганца, углерода и кислорода в системе «окисленная никельсодержащая руда – углерод» приведены на рис. 2–4.

Таким образом, по результатам исследования термодинамическим моделированием системы «никельсодержащая руда – углерод» следуют выводы:

– степень перехода Fe в системе составляет для соединения Fe_3C_k максимально при $T = 1200$ К до 64,3 %, для соединения $FeSiO_{3k}$ до 92,5 % при $T = 1100$ К и с увеличением температуры до 1700 К уменьшается до 43,7 %, а для соединения $Fe_2Al_4Si_{8k}$ 7,47 % в температурном интервале 1100–1200 К;

– степень перехода никеля (Ni) в Ni_k составляет 100 % в температурном интервале 1100–1300 К и с увеличением температуры до 1700 К снижается до 99,97 %, начиная переходить в газовую фазу;

– степень перехода кобальта аналогично никелю, распределяется в Co_k и составляет 100 % в температурном интервале 1100–1300 К и с увеличением температуры до 1700 К снижается до 99,69 %, начиная переходить в газовую фазу;

– проведенные термодинамическое исследование показало теоретическую возможность переработки окисдных никельсодержащих руд месторождения «Бугетколь» путем моделирования технологического процесса электротермической плавки с получением ферроникеля. Однако об определении качества предполагаемого ферроникеля и его соответствии стандарту можно будет судить лишь после проведения опытных экспериментов.

Химический состав окисленной никельсодержащей руды месторождения «Бугетколь»

Никельсодержащая оксидная руда «Бугетколь»	Содержание, %
Fe_2O_3	33,62
NiO	1,76
CoO	0,11
SiO_2	39,4
NaO	0,39
CaO	0,9
MgO	11,25
Al_2O_3	3,21
Cr_2O_3	0,84
MnO	2,6
C	7,0
Прочее	1,52

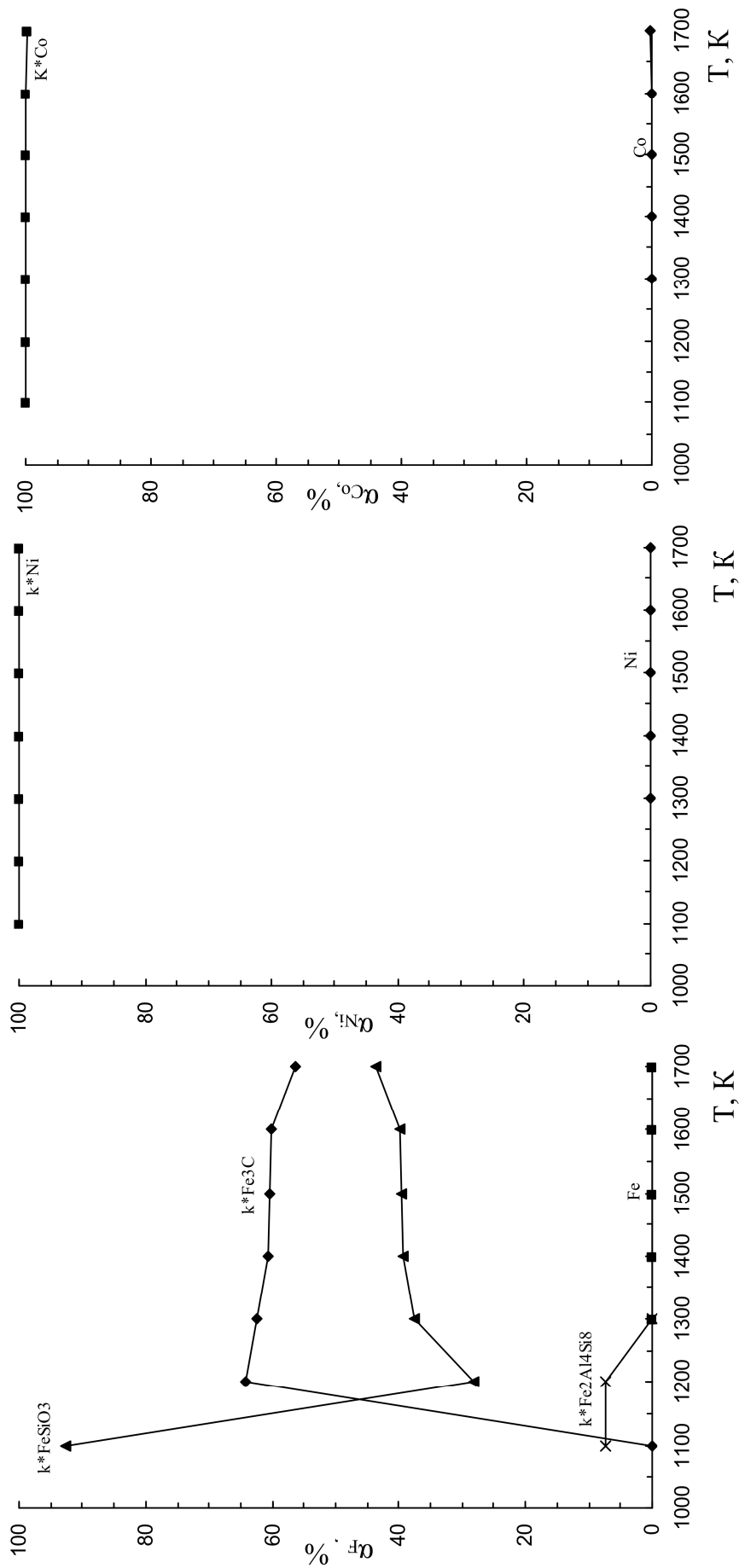


Рис. 1. Влияние температуры на степень распределения Fe, Ni, Co в системе «окисленная никельсодержащая руда – углерод»

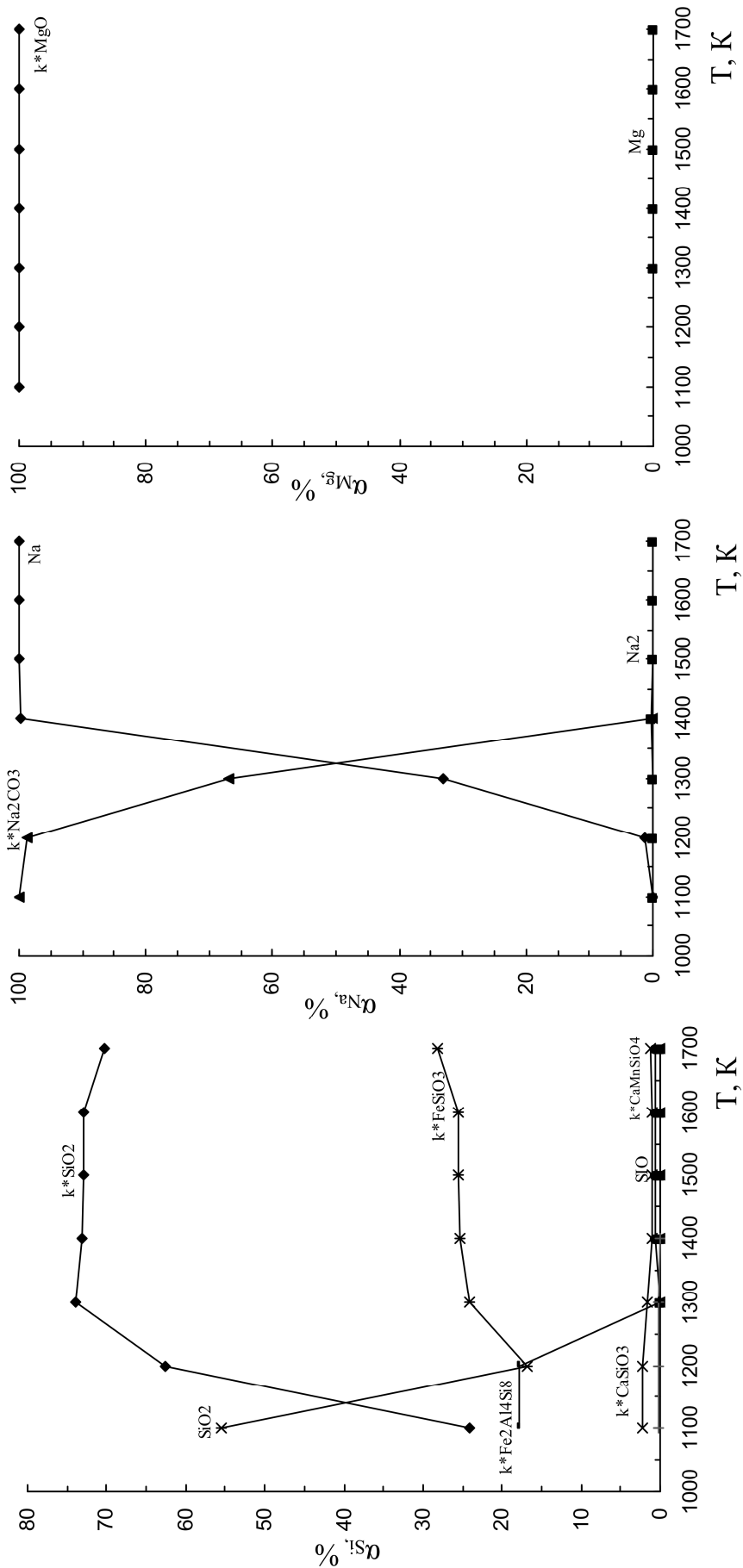


Рис. 2. Влияние температуры на степень распределения Si, Na, Mg в системе «окисленная никельсодержащая руда – углерод»

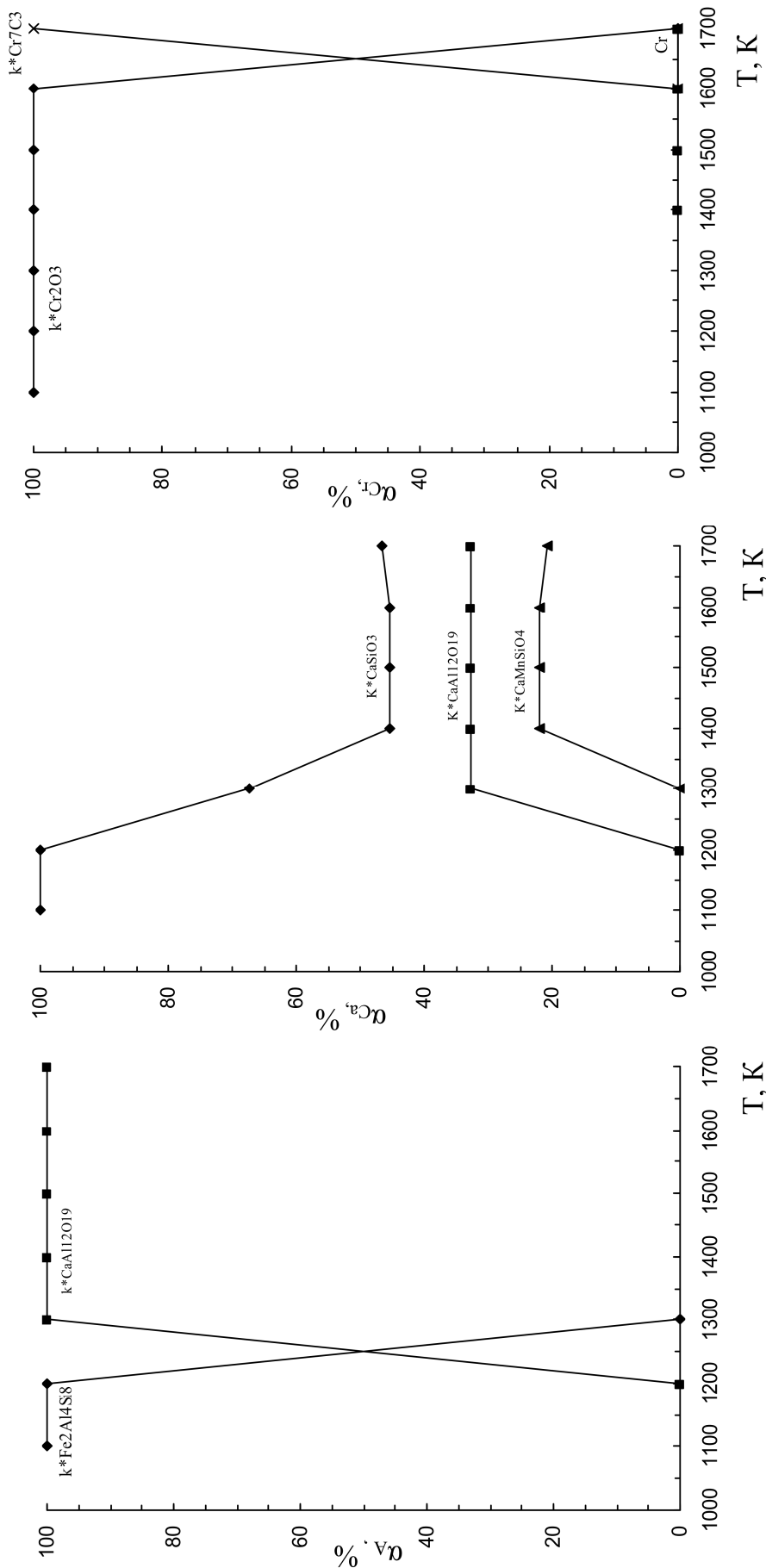


Рис. 3. Влияние температуры на степень распределения Al, Ca, Cr в системе «окисленная никельсодержащая руда – углерод»

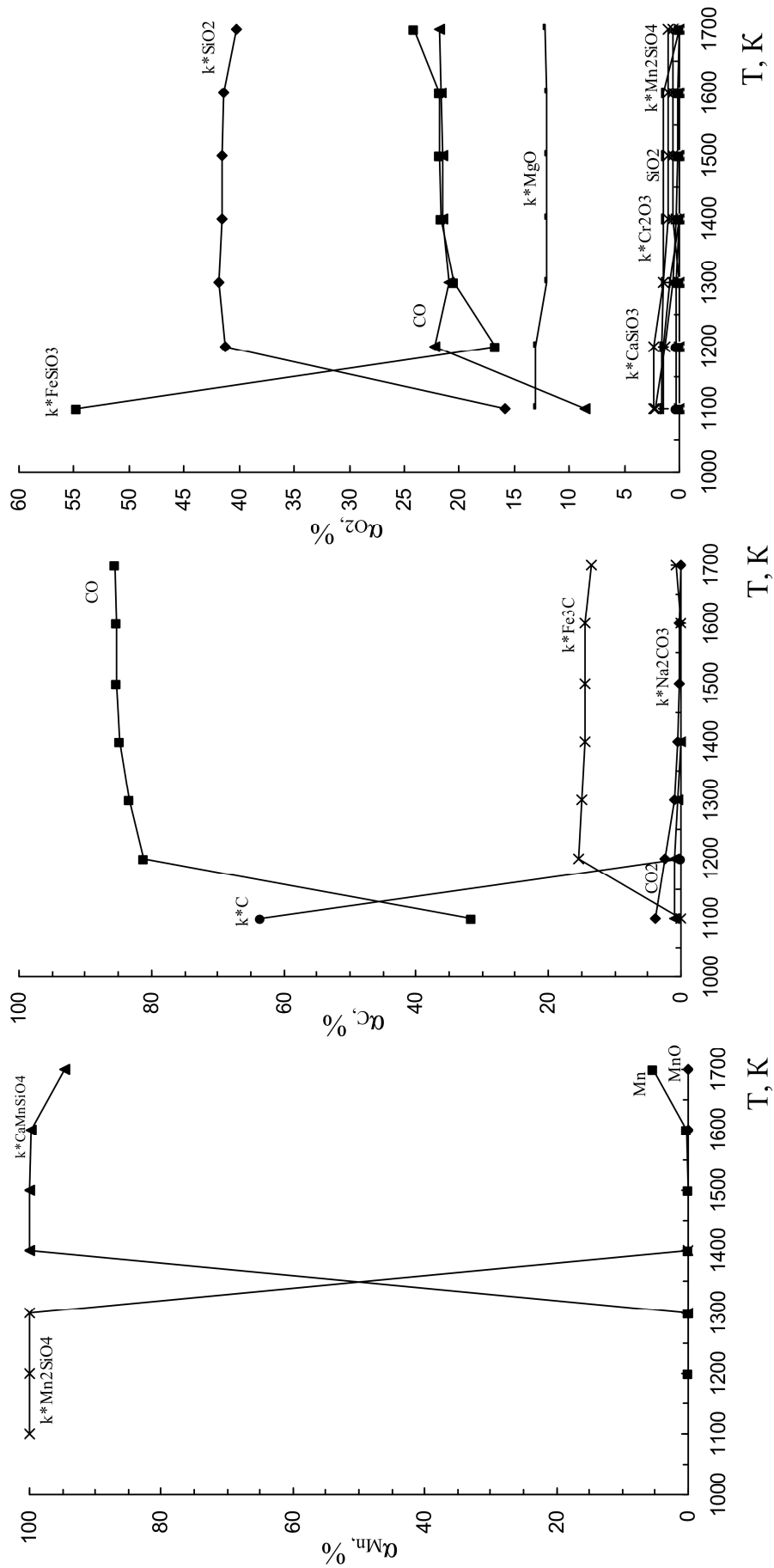


Рис. 4. Влияние температуры на степень распределения Mn, C, O₂ в системе «окисленная никельсодержащая руда – углерод»

Литература

1. Резник, И.Д. *Никель: в 3 т.* / И.Д. Резник, Г.П. Ермаков, Я.М. Шнеерсон. – М.: ООО «Наука и технология», 2001. – Т. 2. – 468 с.
2. Борбат, В.Ф. *Новые процессы в металлургии никеля и кобальта* / В.Ф. Борбат, И.Ю. Лещ. – М.: Металлургия. 1976. – 360 с.
3. Трусов, Б.Г. *Термодинамический метод анализа высокотемпературных состояний и про-*

цессов и его практическая реализация: дис. ... д-ра техн. наук / Б.Г. Трусов. – М., 1984. – 292 с.

4. Колесников, А.С. *Термодинамическое моделирование получения ферросплава и возгонов цветных металлов в системе клинкер вельцевания – углерод* / А.С. Колесников // *Электронное научное издание «Актуальные инновационные исследования: наука и практика»*. – 2013. – № 2.

Колесников Александр Сергеевич, канд. техн. наук, заведующий кафедрой технологии электротермических производств и металлургии, Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова. (г. Шымкент); kas164@yandex.ru.

Поступила в редакцию 16 декабря 2013 г.

**Bulletin of the South Ural State University
Series “Metallurgy”
2014, vol. 14, no. 1, pp. 12–18**

THERMODYNAMIC MODELLING OF OBTAINING FERRONICKEL FROM KAZAKHSTAN OXIDIZED NICKEL ORES

A.V. Kolesnikov, M. Auezov South Kazakhstan State University, Shymkent, Kazakhstan, kas164@yandex.ru

The paper deals with thermodynamic investigations of the nickel ore-carbon system aimed at obtaining ferronickel from Kazakhstan oxide ores, in particular, from Bugetkol deposit ores. Theoretical investigations of the system using the thermodynamic modelling method were carried out within a temperature range of 1000–1700 K and pressure $P=0.1$ MPa. For quantitative thermodynamic modelling of extraction processes of metals, in particular, iron, nickel and cobalt, the «Astra-4» software complex was used based on the principle of maximum entropy. Investigations predict the transition degree of Ni to Ni_k and Co to Co_k reaching 100 % within a temperature range of 1000–1300 K.

Keywords: oxidized nickel ore, ferronickel, metals, nickel, cobalt, thermodynamic analysis.

References

1. Reznik I.D., Ermakov G.P., Shneerson Ya.M. *Nikel'* [Nickel]. Moscow, Nauka i Tekhnologii Publ., 2001, vol. 2. 468 p.
2. Borbat V.F., Leshch I.Yu. *Novye protsessy v metallurgii nikelya i kopal'ta* [New Processes in Nickel and Cobalt Metallurgy]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1976. 360 p.
3. Trusov B.G. *Termodinamicheskiy metod analiza vysokotemperaturnykh sostoyaniy i protsessov i ego prakticheskaya realizatsiya*. Dokt. Diss. [A Thermodynamic Method of Analysis of High-Temperature States and Processes and Its Practical Realization. Doct. Diss.]. Moscow, 1984. 292 p.
4. Kolesnikov A.S. [Thermodynamic Modelling of Obtaining a Ferroalloy and Non-Ferrous Metal Vapours in the Waelz Clinker–Carbon System]. *Aktual'nye innovatsionnye issledovaniya: nauka i praktika* [Topical Innovation Issues: Research and Implementation], 2013, no. 2. Available at: http://www.actualresearch.ru/nn/2013_2/Article/science/kolesnikov_2013_2.htm. (in Russ.)

Received 16 December 2013