

ХЕМОСОРБЕНТЫ ДЛЯ ПОГЛОЩЕНИЯ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА ИЗ ТЕХНОГЕННОЙ СРЕДЫ

Самбаева Дамира Асанакунова, д.т.н., профессор, Кыргызский государственный университет геологии, горного дела и освоения природных ресурсов им. академика У.Асаналиева, г.Бишкек, пр. Чуй 215

Баялы кызы Бегимай, магистрант, Кыргызско-Турецкий университет "Манас", Кыргызстан, 720038, г.Бишкек, мкр.Джал

Изаков Жанарбек Батырбекович, мл. научный сотрудник, Кыргызско - Турецкий университет "Манас", г.Бишкек, Кыргызстан, 720038, г.Бишкек, мкр.Джал, e-mail: faecondor@gmail.com, ORCID 0000-0002-1008-643X

Сыдыков Жыргалбек Дуйшекеевич, Кыргызский государственный технический университет им. И.Раззакова, 720044, г.Бишкек, пр. Ч.Айтматова 66

Шайкиева Нурзат Турганбековна, к.х.н., ст.преп., Кыргызско-Турецкий университет "Манас", Кыргызстан, 720038, г.Бишкек, мкр.Джал, e-mail: nurshay@mail.ru, ORCID 0000-0002-3929-8006

Маймеков Зарлык Капарович, д.т.н., профессор, академик ИА КР, Кыргызско-Турецкий университет "Манас", Кыргызстан, 720038, г.Бишкек, мкр.Джал, ORCID 0000-0002-9117-262X, e-mail: z.maymekov@mail.ru

Аннотация. В статье отмечены отдельные химические сорбенты типа: CaO; Ca(OH)₂; NaOH (3%) - Ca(OH)₂ (84%) - H₂O (13%); CaCl₂ - CaSO₄; SiO₂ - Mg(OH)₂ - Al(OH)₃; Ba(OH)₂ для поглощения CO₂ из газовой фазы. Из них рассмотрены системы с включением оксида кальция в среде диоксид углерод-вода при различных температурах. Рассчитаны термодинамические и физико-химические параметры системы CO₂-H₂O, CaO-H₂O-CO₂. Определяющим параметрам при оценке эффективности хемосорбента по отношению диоксида углерода служил водородный показатель (pH) системы. Построены графические зависимости типа: pH=f(t), Eh=f(t), TDS=f(t) и получены расчетные формулы. Установлено концентрационное распределение зависимых, независимых параметров, а также распределение газовой фазы в водной среде.

Ключевые слова: диоксид углерода, вода, оксид кальция, гидроксид кальция, концентрация.

CHEMISORBENTS FOR THE ABSORPTION OF CARBON DIOXIDE FROM THE TECHNOGENIC ENVIRONMENT

Sambaeva Damira Asanakunova, Doctor of Technical Sciences, Professor, Kyrgyz State University of Geology, Mining and Development of Natural Resources named after Academician U. Asanaliev, Bishkek, Ch.

Bayaly kyzy Begimay, master student, Kyrgyz-Turkish University "Manas", Kyrgyzstan, 720038, Bishkek, Jal microdistrict

Izakov Zhanarbek Batyrbekovich, Junior Researcher, Kyrgyz-Turkish University "Manas", Bishkek, Kyrgyzstan, 720038, Bishkek, Jal microdistrict, e-mail: faecondor@gmail.com, ORCID 0000-0002-1008-643X

Sydykov Zhyrgalbek Duishekeevich, Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakov, 720044, Bishkek, Ch. Aitmatov Ave. 66

haikieva Nurzat Turganbekovna, Ph.D., senior lecturer, Kyrgyz-Turkish University "Manas", Kyrgyzstan, 720038, Bishkek, microdistrict Jal, e-mail: nurshay@mail.ru, ORCID 0000-0002-3929-8006

Maymekov Zarlyk Kaparovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of the IA KR, Kyrgyz-Turkish University "Manas", Kyrgyzstan, 720038, Bishkek, microdistrict Jal, e-mail: z.maymekov@mail.ru, ORCID 0000-0002-9117-262X

Annotation. The article notes some chemical sorbents of the type: CaO; Ca(OH)₂; NaOH (3%) - Ca(OH)₂ (84%) - H₂O (13%); CaCl₂ - CaSO₄; SiO₂ - Mg(OH)₂ - Al(OH)₃; Ba(OH)₂ to absorb CO₂ from the gas phase. Systems with the inclusion of calcium oxide in a carbon dioxide-water medium at various temperatures are considered. The thermodynamic and physicochemical parameters of the CO₂-H₂O, CaO-H₂O-CO₂ system have been calculated. The hydrogen indicator (pH) of the system served as the determining parameters in assessing the effectiveness of the chemisorbent in relation to carbon dioxide. Graphical dependencies of the type: pH = f (t), Eh = f (t), TDS = f (t) were built and calculation formulas were obtained. The concentration distribution of dependent, independent parameters, as well as the distribution of the gas phase in the aqueous medium, have been established.

Key words: carbon dioxide, water, calcium oxide, calcium hydroxide, concentration.

Введение. В инженерной практике эффективно используются хемосорбенты диоксида углерода типа [1-24]: 81% Ca(OH)₂, 3% NaOH, 16% H₂O; SiO₂, Mg(OH)₂, Al(OH)₃, CaCl₂, CaSO₄, 6,5% SiO₂, Mg(OH)₂, Al(OH)₃, 4% цеолит, Ba(OH)₂. Отдельные хемосорбенты имеют сложный химический состав (%): Ca(OH)₂ -57, цемент -18, кизельгур - 7,5, NaOH - 1,5, KMnO₄ - 3, H₂O - 13. Здесь перманганат калия применяется в качестве окислителя в хемосорбенте, а цемент-для повышения устойчивости, кизельгур - повышает пористости сорбента [2-5]. Натронная известь (4 % - NaOH, 84 % - Ca(OH)₂, 16 -18% - H₂O) используется в качестве сорбента CO₂ в патронных элементах противогазов. Известь (96% Ca(OH)₂, 4% NaOH, влажность 13-19%) используется в качестве хемосорбента [10-24], и имеют следующие недостатки: при эксплуатации она рассыпается, образуется пыль, и показывает низкую устойчивость. Соответственно, проводятся работы по усовершенствованию формы увлажненной извести в виде: листа, ленты и рулона. С учетом изложенных выше обстоятельств в настоящей работе изучена системы: CO₂ – H₂O и CaO – CO₂ – H₂O с целью определения концентрационного распределения элементов в растворе и расчета термодинамических ее параметров.

Материалы и методика исследования. Физико-химическое моделирование системы диоксид углерод-вода, оксид кальция-диоксид углерод-вода осуществлено путем поиска потенциально возможных в равновесии фаз, распределяемых компонентов и частиц, а также состав системы по химическим элементам при минимизации изобарно-изотермического потенциала [25-27]. Расчет включил использование элементного состава рассматриваемой

системы, учета мольных долей компонентов, а также вычисление термодинамических характеристик системы при различных температурах (278-298 К) и концентрациях диоксида углерода. Проверка и сопоставление различных базовых источников, а также обработка, корректировка и визуализация термодинамических параметров изучаемой выше системы, проведены с учетом мольного соотношения всех компонентов в широких пределах изменения температуры.

Обсуждение результатов исследований. Изучена система: диоксид углерод-вода при $T=278,15$, $CO_2=0,1$ моль. Рассчитаны термодинамические параметры системы (ΔG , ΔH , ΔS , ΔU), равновесные составы, рН, Eh, ионная сила (I) раствора. Установлены величины концентрационного распределения отдельных компонентов и частиц (катионов и анионов) в водном растворе (табл. 1).

Таблица 1.

Физико-химические и термодинамические характеристики системы: диоксид углерода-вода при $T=278,15$ К, $CO_2=0,1$ моль

температура, К	278,15	G, МДж	-13,33	Eh, В	0,86
давление, МПа	0,1	H, МДж	-16,16	-	-
объем, м ³	0,01	S, кДж/К	3,79	рН	5,96
масса, кг	1,044	U, МДж	-16,16	ионная сила	10,00
плотность, кг/м ³	189,103	Ср, кДж	1,86	TDS, мг/кг раствора	510,95

параметры фаз

фаза	объем, м ³	мольное число	масса, кг	плотность, кг/м ³	весовая доля, %
водный раствор	3,55e-08	4,17e-09	1,55e-07	4,38e-06	1,55e-08
газ	1,84e-06	7,94e-11	2,20e-09	1,21e-09	2,20e-10
жидкость	5,31e-03	5,56e-05	1,00e-03	1,89e-07	1,00e-04
карбонат	4,30e-10	4,90e-10	4,91e-08	1,13e-04	4,89e-09
доломит	6,60e-10	4,32e-10	7,96e-08	1,20e-04	7,92e-09

распределение элементов

элемент	Химический потенциал	моляльность	мг/кг раствора	химический потенциал
Na	0,0018	1,47e+01	3,38e+05	-79612
Ca	0,0011	1,83e+00	7,32e+04	-169198
Mg	0,0005	1,42e+00	3,44e+04	-144083
C	0,1025	4,03e-11	4,84e-07	-90674
Cl	0,0007	1,06e+00	3,75e+04	-11866
S	0,0008	1,04e+01	3,34e+05	-111178
N	0,0002	0,00e+00	0,00e+00	455
K	5,58e-05	6,86e-01	2,68e+04	-86887
H	111,0194	8,79e-06	8,86e-03	-27100
O	55,71979	4,16e+01	6,66e+05	-3026

распределение катионов и анионов в растворе

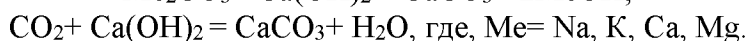
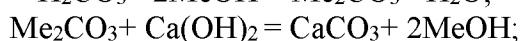
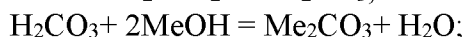
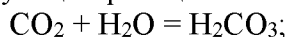
компонент	gt, МДж/моль	мол-ность	мольное число	растворе мг/кг	log моль	коэф. актив.	log коэф. актив	ln актив
раствор								
Ca ⁺²	-0,54	9,6e-01	7,87e-05	3,88e+01	-0,01	40,07	1,60	-0,28
CaCl ⁺	-0,67	8,6e-01	6,99e-05	6,50e+01	-0,07	6,69	0,83	-2,19
Cl ⁻	-0,13	7,1e-07	5,82e-11	2,54e-05	-6,15	1e+05	5,03	-6,51
HCO ₃ ⁻	-0,61	4,0e-11	3,28e-15	2,46e-09	-10,40	1e+05	4,35	-17,8
K ⁺	-0,28	6,8e-01	5,58e-05	2,68e+01	-0,16	0,31	-0,50	-5,48
Mg ⁺²	-0,44	1,4e+00	1,15e-04	3,44e+01	0,15	836,00	2,92	3,14
Na ⁺	-0,25	1,4e+01	1,18e-03	3,33e+02	1,16	1,53	0,19	-0,84

NaCl	-0,38	1,9e-01	1,60e-05	1,15e+01	-0,71	5,66	0,75	-3,83
SO ₄ ²⁻	-0,68	1,0e+01	8,46e-04	1,00e+00	1,02	1,03e+10	10,01	21,46
H ⁺	-0,03	8,7e-06	7,15e-10	8,86e-06	-5,06	0,05	-1,30	-18
H ₂ O	-0,24	2,2e+01	1,81e-03	3,27e-02	1,35	1,00		-0,83
газовая фаза								
CO ₂	-0,40		1,44e-07	0,29	-6,84	1,00		-6,31
N ₂			7,91e-05	99,62	-4,10	1,00		
O ₂	-0,03		2,39e-10	0	-9,62	1,00		-12
H ₂ O	-0,24		1,18e-07	0,1	-6,93	1,00		-6,51
жидкая фаза								
CO ₂	-0,40		1,01e-01	0,44	-1,00	1,00		-6,31
O ₂	-0,03		1,68e-04	0	-3,78	1,00		-12
H ₂ O	-0,24		5,54e+01	99,41	1,74	0,00	-2,74	-6,31
твердая фаза								
NaCl	-0,38		5,98e-04	21,37	-3,22	1,00		
CaCO ₃	-1,13		4,90e-04	30	-3,31	1,00		
ДОЛО-Т	-2,15		4,32e-04	48,63	-3,37	1,00		

параметры газа

газ	фугитив-ть	log фуг.	парц. давл.	log парц.давл.	коэф. фуг.
CO ₂	1,82e-03	-2,74e+00	1,82e-03	-2,74e+00	1
N ₂	9,97e-01	-1,44e-03	9,97e-01	-1,44e-03	1
O ₂	3,01e-06	-5,52e+00	3,01e-06	-5,52e+00	1
H ₂ O	1,51e-03	-2,82e+00	1,51e-03	-2,82e+00	1

Полученные результаты показали, что водородный показатель системы диоксид углерод-вода при содержании CO₂=0,1 моль равна 5,96. Отмечено, что процессы хемосорбции диоксида углерода оксидами щелочных и щелочноземельных металлов из газовой фазы протекают на основе следующих реакций:



С учетом изложенных выше обстоятельств изучена система оксид кальций-диоксид углерод-вода при различных содержаниях газовой фазы и найдены распределения компонентов отдельных элементов в растворе, построены зависимости: pH, Eh, TDS от температуры и получены рабочие формулы (табл.2, рис.1-3).

Таблица 2.

Физико-химические и термодинамические характеристики системы: оксид кальций-диоксид углерод-вода при T=283,15 К, CO₂=1 моль

температура, К	283,15	G, МДж	-14,24	Eh, В	0,58
давление, Мпа	0,10	H, МДж	-17,15	-	-
объем, м ³	0,00	S, кДж/К	3,75	pH	10,38
масса, кг	1,10	U, МДж	-16,94	ионная сила	0,00
плотность, кг/м ³	1099,7	Ср, кДж	4,27	TDS, мг/кг растворе	15,64

параметры фазы

фаза	объем, м ³	мол.число	масса, кг	плотность, кг/м ³	вес., %
водный раствор	0,001	5,55e+01	1,00	1,00e+03	90,90
арагонит	0,00	1,00e+00	0,10	0,00e+00	9,10

распределение элементов

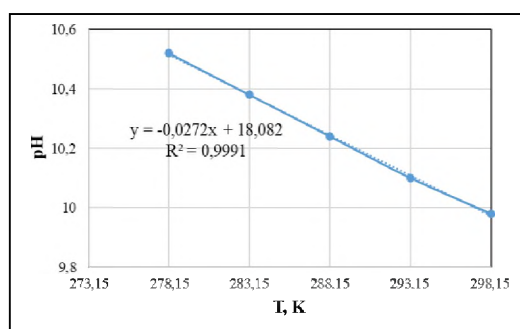
Э	хим. пот-л	дис.масс бал.	мол-ть	мг/кг растворе или вес, %	хим. потенциал	log мол-ть
Ca	1,00	7,24e-10	1,56e-04	6e+00	-164379,	-3,81
C	1,00	-3,54e-11	1,56e-04	1,8e+0	-97196	-3,81
H	111,02	1,29e-07	1,46e-04	1,4e-01	-26940	-3,84
O	58,51	-4,00e-08	5,40e-04	8,6e+0	-2555,00	-3,27

распределение катионов и анионов в растворе

КОМП-Т	gt, МДж/моль	МОЛЯЛ-ТЬ	число молей	мг/кг раствор или вес., %	log моль	коэф актив	log коэф акт	ln акт.
водный раствор								
CO ₂ [*]	-0,43	8,53e-09	8e-09	3,7e-04	-8,0	1,00	0,00	-22
CO ₃ ⁻²	-0,55	6,10e-05	6,1e-05	3,6e+00	-4,2	0,91	-0,04	-13
CaCO ₃ [*]	-1,13	1,07e-05	1,0e-05	1,0e+00	-4,9	1,00	0,00	-15
Ca(HCO ₃) ⁺	-1,18	1,01e-07	1,0e-07	1,0e-02	-6,9	0,98	-0,01	-20
Ca ⁺²	-0,58	1,34e-04	1,3e-04	5,3e+00	-3,8	0,91	-0,04	-13
CaCO ₃ [*]	-1,13	1,07e-05	1,0e-05	1,0e+00	-4,9	1,00	0,00	-15
CaOH ⁺	-0,76	8,39e-08	8,3e-08	4,7e-03	-7,0	0,98	-0,01	-20
HCO ₃ ⁻	-0,61	7,31e-05	7,3e-05	4,4e+00	-4,1	0,98	-0,01	-13
O ₂ [*]	-0,02	5,25e-08	5,2e-08	1,6e-03	-7,2	1,00	0,00	-20
OH ⁻	-0,18	7,31e-05	7,3e-05	1,2e+00	-4,1	0,98	-0,01	-13
H ⁺	-0,06	4,30e-11	4,3e-11	4,3e-08	-10	0,98	-0,01	-27
H ₂ O	-0,24	5,55e+01	5,55e+0	1,00e+0	1,74	1,00	0,00	0,00
арагонит								
CaCO ₃	-1,13	1,00E+00	100,00	0,00	1,00	0,00	0,00	

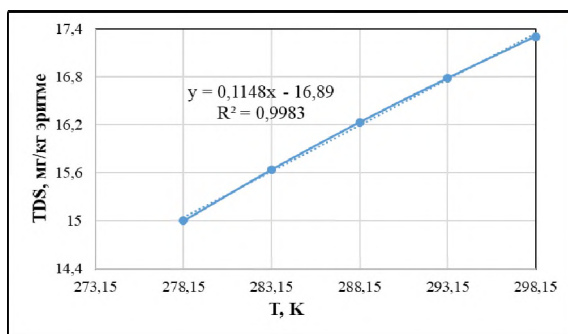
параметры газа

к-т	фугитив-ть	log фуг.	парц. давл.	log парц. давл.	log коэф. фуг.	коэф, фугитив -ти
CO ₂	1,57e-07	-6,8e+00	1,57e-07	-6e+00	0	1,00
O ₂	3,09e-05	-4,5e+00	3,09e-05	-4e+00	-	1,00
H ₂ O	1,02e-02	-1,9e+00	1,02e-02	-1e+00	-	1,00



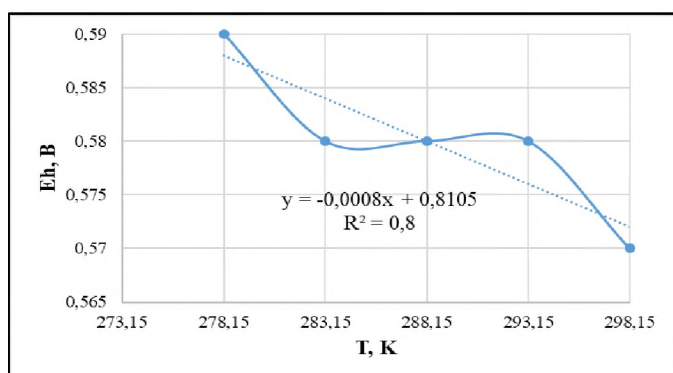
T, K	pH
278,15	10,52
283,15	10,38
288,15	10,24
293,15	10,1
298,15	9,98

Рис.1. Зависимость водородного показателя от температуры: система оксид кальция-диоксид углерод-вода. CaO=1 моль, CO₂=1 моль



T, К	TDS, мг/кг эритме
278,15	15,00
283,15	15,64
288,15	16,23
293,15	16,78
298,15	17,3

Рис.2. Зависимость растворимости твердой фазы от температуры: система оксид кальция-диоксид углерод-вода. CaO=1 моль, CO₂=1 моль



T, К	Eh, В
278,15	0,59
283,15	0,58
288,15	0,58
293,15	0,58
298,15	0,57

Рис.3. Зависимость окислительно-восстановительного потенциала от температуры: система оксид кальция-диоксид углерод-вода. CaO=1 моль, CO₂=1 моль

Из полученных данных видно, что (табл.2, рис.1) водородный показатель системы в системе оксид кальция -диоксид углерод-вода изменяется в широких пределах при поглощении газа с хемосорбентом, в частности водным раствором оксида кальция. Аналогичные исследования проведены и другими хемосорбентами типа: 3% NaOH - 84% Ca(OH)₂ - 13% H₂O; CaCl₂ – CaSO₄; SiO₂-Mg(OH)₂ -Al(OH)₃; Ba(OH)₂) [28,29]. Таким образом, определяющим параметром при оценке эффективности хемосорбента по отношению диоксида углерода служил водородный показатель (pH) системы и отмечено, что более приемлемым поглотителем для CO₂ служит соединения кальция (CaO, Ca(OH)₂).

Выводы

Рассмотрены химические сорбенты для диоксида углерода из газовой фазы: (CaO; Ca(OH)₂; 3% NaOH - 84% Ca(OH)₂ - 13% H₂O; CaCl₂ – CaSO₄; SiO₂ – Mg(OH)₂ – Al(OH)₃; Ba(OH)₂). Исследованы системы: H₂O - CO₂ и CaO - CO₂ - H₂O при различных температурах, найдены распределения компонентов и отдельных элементов в растворе, построены зависимости: pH, Eh, TDS от температуры и получены рабочие формулы.

Литература

1. Gerlach, T.M. Present-day CO₂ emissions from volcanoes: Eos, Transactions / T.M. Gerlach // American Geophysical Union, 72 (23), -1992. –P. 254–255.
2. Keeling, R.F. Seasonal and interannual variations in atmospheric oxygen and implications for the global carbon cycle / R.F. Keeling, S.R. Shertz // Nature (358), - 1992. –P. 723-727.
3. Archer, D. Fate of fossil fuel CO₂ in geologic time / D.Archer // J. Geophys. Res., 110, C09S05, doi:10.1029/2004JC002625, -2005. –P.1-6.
4. Кляшторин, Л. Б. Водное дыхание и кислородные потребности рыб / Л. Б.Кляшторин. - М. : Легкая пищевая промышленность, 1982-168 с.

5. Ennis-King, J. Coupling of geochemical reactions and convective mixing in the long-term geological storage of carbon dioxide / J. Ennis-King, L. Paterson // *Int. J. Greenh. Gas Con.* 2007. V. 1. P. 86 – 93.
6. Yokoyama, K. Hita-chi's carbon dioxide scrubbing technology with new absorbent for coal fired power plants / K. Yokoyama, S. Takamoto, H. Kikkawa, T. Katsube // *10th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies, Energy Procedia.* 2011. V. 4. P. 245 – 252.
7. Самонин, В.В. Сорбирующие материалы, изделия, устройства и процессы управляемой адсорбции / В.В. Самонин, М.Л. Подвязников, Е.А. Спиридонова, В. Ю. Никонова, СПб.: Наука, 2009. 89 с.
8. Rao, A.V. Evaluation of potential cost reductions from improved amine-based CO₂ capture systems / A.V. Rao, E.S. Rubin, D.W. Keith, M.G. Morgan // *Energ Policy.* 2006. V. 34. P. 3765 – 3772.
9. Mosadegh Sedghia S. Chemical alteration of LDPE hollow fibers exposed to monoethanolamine solutions used as absorbent for CO₂ capture process / S. Mosadegh Sedghia, Josée Brissonb, D. Rodriguea // *Separation and Purification Technology.* 2011. V. 80. Issue 2. P. 338 – 344.
10. Siriwardane, R. Optimization of pressure swing adsorption and fractionated vacuum pressure swing adsorption processes for CO₂ capture / R. Siriwardane, L.T. Biegler // *Industry Eng. Chem. Research.* 2005. V. 44. P. 8084 – 8094.
11. Reynolds, S.P. Carbon dioxide capture from flue gas by pressure swing adsorption at high temperature using a K-promoted HTlc: effects of mass transfer on the process performance / S.P. Reynolds, A.D. Ebner, J.A. Ritter // *Environ. Prog.* 2006. V. 25. P. 334 – 342.
12. Tlili, N. Carbon dioxide capture and recovery by means of TSA and/or VSA / N. Tlili, G. Grevillot and C. Vallieres // *Int. J. Greenhouse Gas Con.* 2009. V. 3. P. 519 – 527.
13. Carlos, A.G. Electric swing adsorption as emerging CO₂ capture technique / A.G. Carlos, P.L.R. Rui, L.G.O. Eduardo // *Energy Procedia.* 2009. V. 1. P. 1219 – 1225.
14. Tuinier, M.J. Cryogenic CO₂ capture using dynamically operated packed beds / M.J. Tuinier, M.V. Annaland, G.J. Kramer, J.A.M Kuipers. // *Chem. Eng. Sci.* 2010. V. 65. P. 114 – 119.
15. Mansourizadeh, A. A developed asymmetric PVDF hollow fiber membrane structure for CO₂ absorption / Amir Mansourizadeh, Ahmad Fauzi Ismail. // *Intern. J. of Greenhouse Gas Control.* 2011. V. 5. Issue 2. P. 374 – 380.
16. Шаронов, В.Е. Регенерируемые поглотители диоксида углерода на основе оксида кальция и карбонатов щелочных металлов: Авто-реф. дис. канд. хим. наук. Новосибирск, 2004. -15 с.
17. Пат. 2420352 РФ, МПК В 01 J 20/22. Адсорбент для улавливания, концентрирования и хранения CO₂ / В.И. Исаева, В.И. Богдан; ООО «Энвайрокет». 2001.
18. Millward, A.R. Metal-organic frameworks with exceptionally high capacity for storage of carbon dioxide at room temperature / A.R. Millward, O.M. Yaghi // *J. Amer Chem. Soc.* 2005. 127. P. 17998–17999.
19. Marco-Lozar, J.P. MOF-5 and activated carbons as adsorbents for gas storage / J.P. Marco-Lozar, J. Juan-Juan, F. Suárez-García // *Intern. J. of Hydrogen Energy.* 2011. V. 3.
20. ГУ ГПС МВД РФ. Концепция развития газодымозащитной службы в системе Государственной противопожарной службы МВД России. М., 1999. 15с.
21. Evaluating methods of training of mineworkers for hot inspired air when wearing self-rescuers / Mines Rescue Service Limited in association with RPS Business Healthcare for the Health and Safety Executive. 2008.
22. Pat. 2401484 US, МПК А 62 d 9/00. Composition for purification of air a process of making same / Mine Safety Appliances Co. 1946.
23. Гладышев, Н.Ф. Известковые поглотители нового поколения / Н.Ф. Гладышев, Т.В. Гладышева, Б.В. Путин, С.Б. Путин, - М. : Издательский дом «Спектр», 2012. – 136 с. – 400 экз.

24. Кузьмина, И.А. Диоксид углерода в природных водах: Методические указания / Составитель Кузьмина И.А. – НовГУ, Великий Новгород, 2007-12с.
25. Karpov, I.K. The convex programming minimization of five thermodynamic potential other than Gibbs energy in geo-chemical modeling / I.K. Karpov, K.V. Chudnenko, D.A. Kulik, V.A. Bychinskyi // American J. Science., V.302, (2002), 281-311.
26. Helgeson, H.C. Summary and critique of the thermodynamic properties of rock-forming minerals / H.C. Helgeson, J.M. Delany, H.W. Nesbitt, D.K. Bird // American J. Science., (1978), 278-A: 1-229.
27. Karpov, I.K. “Modeling chemical mass transfer in geochemical processes: Thermodynamic relations, conditions of equilibria, and numerical algorithms” / I.K. Karpov, K.V. Chudnenko, D.A. Kulik // American J. Science., Vol.297, (1997), 767-806.
28. Баялы кызы, Б. Моделирование системы диоксид углерод - оксид кальций - вода и уменьшение влияние газовой фазы в окружающей среде - Магистерская диссертация- Бишкек: КТУМ, 2020-97с.
29. Маймеков, З.К. Деструкция отработанного совтала в электрооборудованиях и утилизация токсичных хлорсодержащих веществ на основе оксида бария / З.К. Маймеков, Т.З. Маймеков, Д.А. Самбаева, Н.Т. Шайкиева, Ж.Б. Изаков, А.М. Маратбекова // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова – 2010 - № 50. – С. 312 – 319