

03.02.08 – Экология  
03.02.08 – Экология  
03.02.08 – Ecology

УДК 628.16  
ББК 28.5

**КИНЕТИКА СОРБЦИОННОГО  
ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ  
УРАНОСОДЕРЖАЩИХ ДРЕНАЖНЫХ  
ВОД ОТ ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ  
С ПРИМЕНЕНИЕМ АУ<sup>400</sup>**

*Бободжоновна Зиннатджон Хакимджоновна – докторант PhD Худжандского государственного университета имени академика Бободжона Фафурова (Республика Таджикистан, г.Худжанд), e-mail: [bobojonova-2020@mail.ru](mailto:bobojonova-2020@mail.ru)*

**КИНЕТИКАИ РАВАНДИ СОРБСИОНИИ  
ТОЗАКУНИИ ОБҶОИ УРАНДОРИ  
ЗАҲБҶҮРҶО АЗ ИОНҶОИ МЕТАЛЛҶОИ  
ВАЗНИН БО ИСТИФОДАИ АФ<sup>400</sup>**

*Бобочонова Зиннатҷон Ҳакимҷоновна – докторанти PhD Донишгоҳи давлатии Хучанд ба номи академик Бобоҷон Ғафуров (Ҷумҳурии Тоҷикистон, ш. Хучанд), e-mail: [bobojonova-2020@mail.ru](mailto:bobojonova-2020@mail.ru)*

**KINETICS OF THE SORPTION PROCESS  
OF PURIFICATION OF URANOSE-  
CONTAINING DRAINAGE WATER FROM  
HEAVY METAL IONS WITH THE  
APPLICATION OF AC<sup>400</sup>**

*Bobojonova Zinnatjon Hakimjonovna – PhD of the Khujand State University by name Academic Bobojon Gafurov, (Tajikistan Republic, Khujand), e-mail: [bobojonova-2020@mail.ru](mailto:bobojonova-2020@mail.ru)*

**Ключевые слова:** месторождения, дренажные воды, тяжелые металлы, очистка, сорбция, активированный уголь.

В данной статье приводятся результаты исследования кинетики сорбционного процесса очистки ураносодержащих дренажных вод, вытекающих из-под хвостохранилища I-II очереди г.Истиклола (Таджикистан) от некоторых тяжелых металлов. Эффективная энергия активации сорбционного процесса ниже 20 кДж/моль, сорбция протекает в диффузионной области и реакция проходит между ионами с сорбентом.

**Вожаҳои калидӣ:** конҳо, обҳои урандори заҳбурӣ, металлҳои вазнин, тозакуни, сорбсия, карбони фаъол.

Дар мақола натиҷаҳои омӯзиши кинетикаи раванди сорбсиони тозакуни аз баъзе металлҳои вазнин обҳои урандори заҳбурӣ, ки аз зери партовгоҳҳои радиоактиви марҳилаҳои I-II Истиқлол (Тоҷикистон) ҷоришаванда, оварда шудааст. Аз рӯи арзиши энергияи фаъол, самараноки раванди сорбсионӣ аз 20 кҶ/мол кам мебошад, сорбсия дар минтақаи диффузионӣ ва реаксияи байни ионҳо бо сорбент ба амал меояд.

**Key words:** deposits, drainage water, heavy metals, purification, sorption, activated carbon.

This article presents the results of a study of the kinetics of the sorption process of purification of uranium-containing drainage water flowing out from under the tailing dumps of the I-II stages of Istiklol (Tajikistan) from some heavy metals. Judging by the value of the effective activation energy of the process below 20 kJ/mol, sorption occurs in the diffusion region and the reaction between ions with the sorbent.

Вода как один из основных и наиболее динамичных компонентов окружающей среды уязвима к факторам воздействия антропогенного характера. Проблема анализа состава и свойств сточных промышленных вод и их очистка от тяжелых металлов (ТМ) является одной из важных экологических задач. Для решения этой задачи необходимо изучить сорбционные свойства металлов в зависимости от времени, pH концентрации изучаемых катионов на различных сорбентах [1,4].

**Цель данной работы** – заключалась в изучение кинетики сорбционного процесса очистки ураносодержащих дренажных вод, от ионов ТМ с применением активированного угля (АУ<sup>400</sup>).

**В качестве объектов исследования** - выбраны урансодержащие дренажные воды, вытекающие из-под хвостохранилища I-II очереди г.Истиклола (Таджикистан).

**Предмет исследования:** определение степени очистки и процент сорбции, а также кинетические и энергетические показатели процесса сорбционной очистки урансодержащих вод.

**Методы исследования.** Отбор проб, пробоподготовка осуществлялись по стандартизованным методикам. В ходе экспериментов применялся атомно-абсорбционный анализ для определения наличия ТМ в исследуемых растворах с использованием спектрометра AAnalyst 800 (PerkinElmer, США) и вольтамперметрический метод с использованием прибора марки АВС-1.1. В ходе исследования для определения наличия микроэлементов, также использован спектральный атомно-эмиссионный метод [2].

### Результаты и обсуждение

Установлено, что с увеличением времени и температуры остаточные концентрации ТМ (Pb, Zn, Cu) в дренажных и шахтных урансодержащих водах уменьшаются. Это свидетельствует о протекании оптимального сорбционного процесса. Особенно в течение первого часа быстрым темпом вода очищается от ионов ТМ (Pb, Zn, Cu). Также при высоких температурах процесс сорбции протекает более интенсивно, чем при низких (табл. 1).

Таблица 1

Остаточные концентрации ТМ (мг/л) в дренажных водах, вытекающих из-под хвостохранилища I-II очереди г. Истиклола после сорбционной очистки с применением АУ<sup>400</sup>

Наименование ТМ	Температура воды при сорбции, °С	Время сорбции, час			
		0	1	2	3
Свинец	20	0,05	0,0043	0,0002	0,0001
	40		0,0011	0,0001	0,0001
	60		0,0002	0,00006	0,00002
	80		0,0001	0,00002	0,00001
Цинк	20	0,006	0,0056	0,0052	0,0048
	40		0,0050	0,0048	0,0030
	60		0,0036	0,0030	0,0019
	80		0,0030	0,0021	0,0016
Медь	20	0,14	0,037	0,0024	0,0012
	40		0,0071	0,0003	0,0001
	60		0,0005	0,00008	0,00005
	80		0,0001	0,00005	0,00004

Кинетические кривые процесса сорбции имеют параболический характер. Истинная скорость сорбции ТМ (Pb, Zn, Cu) дренажных вод, которые вытекают из-под хвостохранилища I-II очереди г.Истиклола находятся в пределах:

- для свинца – от 1,96 до 2,48 моль/л·мин;
- для цинка – от 0,12 до 1,60 моль/л·мин;
- для меди – от 1,54 до 2,36 моль/л·мин (табл. 2,3).

Таблица 2

Степень сорбции тяжелых металлов (мг/кг) с АУ<sup>400</sup> из дренажных вод, вытекающих под хвостохранилища I-II очереди г.Истиклола

Наименование ТМ	Температура воды при сорбции, °С	Время сорбции, час		
		1	2	3
Свинец	20	4,57	4,98	4,989
	40	4,89	4,99	4,99
	60	4,98	4,994	4,998
	80	4,99	4,998	4,999
Цинк	20	0,04	0,08	0,12
	40	0,1	0,12	0,30
	60	0,24	0,30	0,41
	80	0,30	0,39	0,44

Медь	20	10,30	13,76	13,88
	40	13,29	13,97	13,99
	60	13,95	13,992	13,995
	80	13,99	13,995	13,996

Сорбционная очистка ТМ (Pb, Zn, Cu) с использованием АУ<sup>400</sup> из дренажных вод, вытекающих под хвостохранилища I-II очереди г.Истиклол протекает по разному [3]. Свинец и медь очищаются очень хорошо. Степень сорбции свинца и меди в течение одного часа уже составляет более 90% (рис. 1). При этом ионы цинка сорбируются медленно, в течении определенного времени.

Таблица 3

Процент сорбции тяжелых металлов с АУ<sup>400</sup> дренажных вод вытекающих из-под хвостохранилища I-II очереди г.Истиклола

Наименование ТМ	Температура воды при сорбции, °С	Время сорбции, час		
		1	2	3
Свинец	20	91,4	99,6	99,78
	40	97,8	99,8	99,8
	60	99,6	99,88	99,96
	80	99,8	99,96	99,98
Цинк	20	6,67	13,33	20
	40	16,67	20	50
	60	40	50	68,33
	80	50	65	73,33
Медь	20	74	98	99
	40	95	99,8	99,9
	60	99,6	99,9	99,96
	80	99,9	99,96	99,97

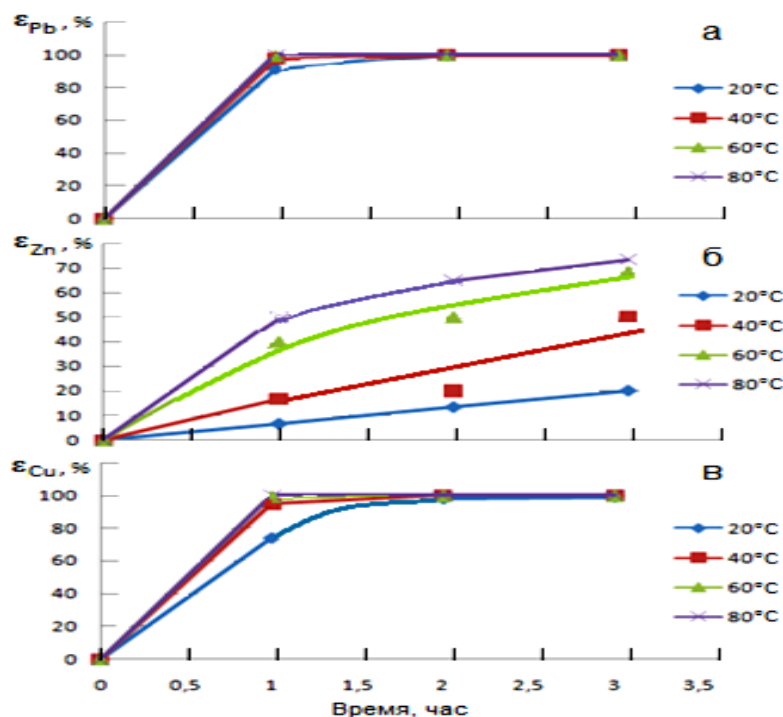


Рисунок 1. Зависимость процента сорбции ТМ с применением АУ<sup>400</sup> из дренажных вод от времени и при различных температурах: а) свинец; б) цинк; в) медь

Построенный график зависимости  $\lg(1/(1-\alpha))$  от времени (рис. 2) представляет собой прямые линии, имеющие наклон, равный:  
 - для свинца – 30-40°;

- для цинка – 7-37°;
- для меди – 18-33°.

Константы скорости сорбции ТМ рассчитывали по кинетическому уравнению первого порядка.

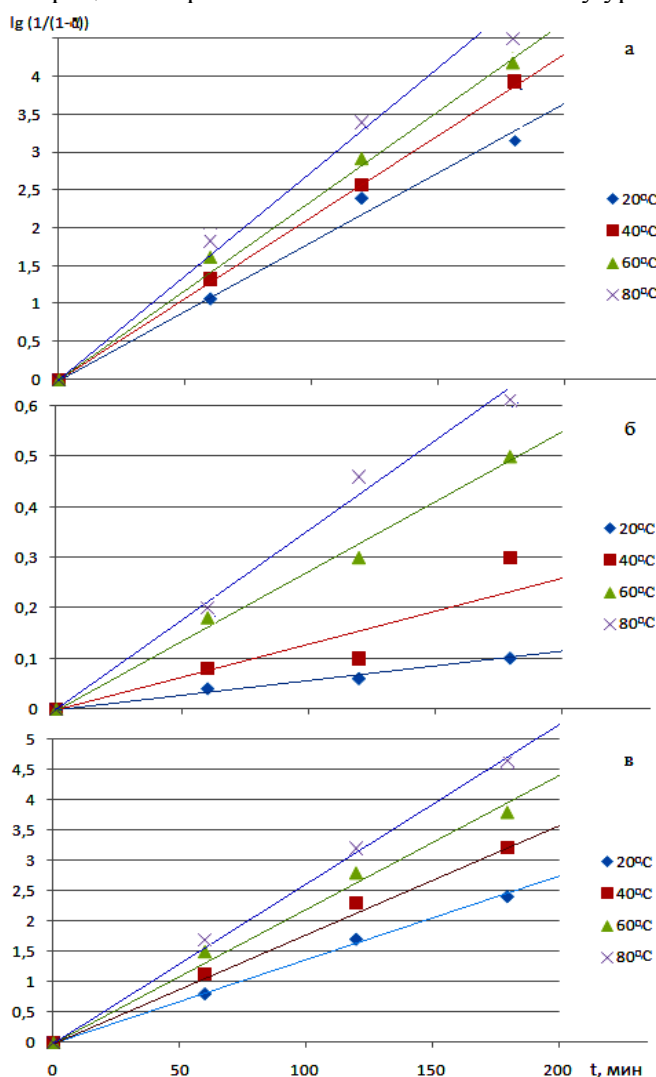


Рисунок 2. Зависимость  $\lg(1/(1-a))$  от времени: а) для свинца; б) для цинка; в) для меди.

Изменение константы скорости сорбции ТМ из дренажных ураносодержащих вод от температуры процесса подчиняется закону Аррениуса, что подтверждается этими линиями при зависимости  $\lg k$  от обратной и абсолютной температуры (рис. 3).

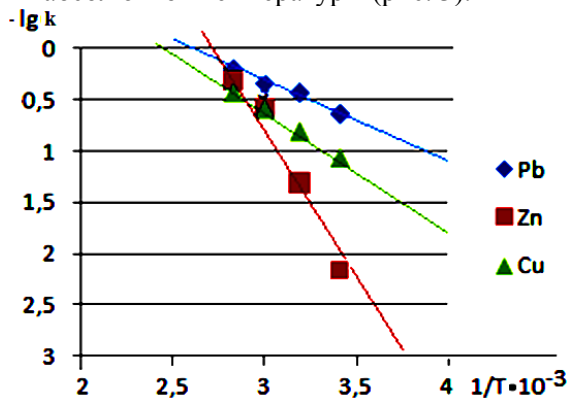


Рисунок 3. Зависимость  $\lg k$  от обратной абсолютной температуры

Эффективная энергия активации процесса сорбции ТМ (Pb, Zn, Cu) рассчитывались по уравнению:  $E = -R \lg \alpha$ , которая составила:

- для свинца – 3,53 кДж/моль;

- для цинка – 13,31 кДж/моль;
- для меди – 5,61 кДж/моль (табл.4).

Таблица 4

Кинетические и энергетические параметры процесса сорбции ТМ с использованием АУ<sup>400</sup>

Наименование ТМ	Температура воды при сорбции, К	Истинная скорость сорбции ТМ, моль/л·мин	Эффективная энергия активации и сорбции ТМ, кДж/моль
Свинец	293	1,96	3,53
	313	2,05	
	333	2,25	
	353	2,48	
Цинк	293	0,12	13,31
	313	0,34	
	333	0,93	
	353	1,60	
Медь	293	1,54	5,61
	313	2,05	
	333	2,36	
	353	2,61	

Численное значение эффективной энергии активации свидетельствует о протекании сорбционного процесса в диффузионной области.

Истинная скорость сорбции ТМ (Pb, Zn, Cu) из дренажных вод, вытекающих из-под хвостохранилища I-II очереди г. Истиклол, находятся в интервале 0,12 – 2,48 моль/л·мин. Определены энергии активации процесса сорбции, величина для свинца равна 3,53 кДж/моль, для цинка – 13,31 кДж/моль и для меди – 5,61 кДж/моль. Энергии активации процесса сорбции ТМ (Pb, Zn, Cu) из шахтных урансодержащих вод при первичной сорбции: для свинца равна 5,61 кДж/моль, для цинка – 8,31 кДж/моль и для меди – 10,64 кДж/моль, а при вторичной сорбции эти величины находятся в интервале от 4,80 – до 22,84 кДж/моль. Численное значение эффективной энергии активации свидетельствует о протекании сорбционного процесса в диффузионной области. Установлены технологические параметры сорбционного процесса ТМ (Pb, Zn, Cu) и урана из шахтных и дренажных урансодержащих вод.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Хомидов, Б.О. Разработка сорбционного варианта очистки промышленных стоков от канцерогенных металлов / Б.О. Хомидов, М.Н. Раджабова, Г. Султонбеков, Б. Мирзоев // Сборник тезисов докладов семинара «Современное состояние водных ресурсов Таджикистана – проблемы и перспективы рационального использования. – Душанбе. АН РТ. 2003. – С.117-118
2. Елизарьева, Е.Н. Сорбенты для удаления тяжелых металлов из сточных вод / Е.Н. Елизарьева // Доклады Башкирского университета. 2016. Т.1. №4. - С.716-719.
3. Урановые месторождения Таджикистана / З.А. Разыков, Э.Г. Гусаков, А.А. Марущенко и [др.]. – Худжанд: ООО «Хуросон», 2001. – 212 с.
4. Хакимов, Н. Физико-химические и технологические основы получения урановых концентратов из отходов гидрометаллургических заводов и технических вод / второе издание, переработанное / Под ред. У.Мирсаидова – Душанбе: Мавлави, 2012. – 120 с.

## REFERENCES

1. Khomidov, B.O. Development of a sorption option for cleaning industrial wastewater from carcinogenic metals / B.O. Khomidov, M.N. Radjabova, G. Sultonbekov, B. Mirzoev // Collection of abstracts of the seminar "The current state of water resources in Tajikistan - problems and prospects of rational use. - Dushanbe. AN RT. 2003. - pp.117-118
2. Elizariyeva, E.N. Sorbents for the removal of heavy metals from wastewater / E.N. Elizariyeva // Reports of the Bashkir University. 2016. Vol. 1. No. 4. – pp.716-719.
3. Uranium deposits of Tajikistan / Z.A. Razykov, E.G. Gusakov, A.A. Marushchenko and [others]. - Khujand: LLC "Khuroson", 2001. - 212 p.
4. Khakimov, N. Physicochemical and technological foundations of obtaining uranium concentrates from wastes of hydrometallurgical plants and industrial waters / second edition, revised / Ed. U. Mirsaidova - Dushanbe: Mavlavi, 2012. - 120 p.