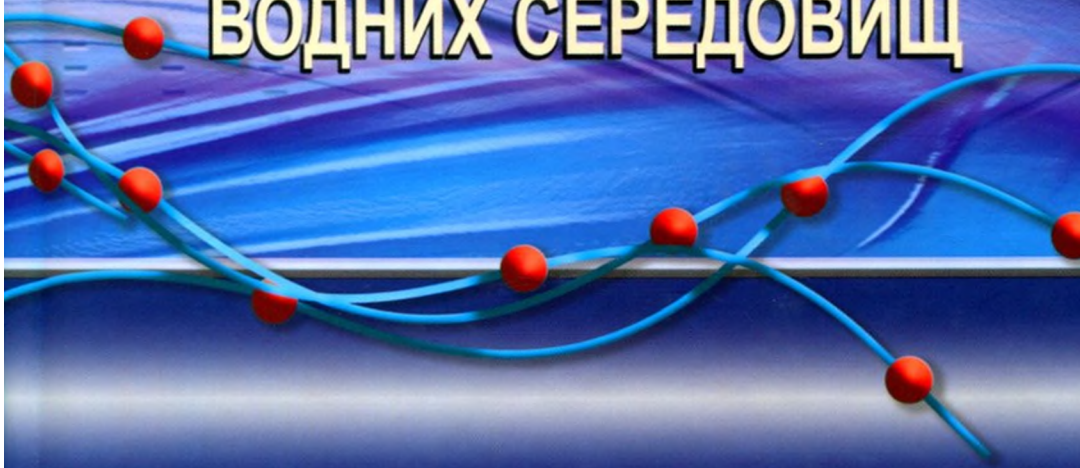


504.5  
П93



Г.М. ПШИНКО, В.В. ГОНЧАРУК

**НАУКОВІ ЗАСАДИ  
ПРОГНОЗУВАННЯ  
ПОВОДЖЕННЯ  
РАДІОНУКЛІДІВ  
У ДОВКІЛЛІ  
ТА ПРИ ДЕЗАКТИВАЦІЇ  
ВОДНИХ СЕРЕДОВИЩ**



НАЦІОНАЛЬНА  
АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ  
ІНСТИТУТ КОЛОЇДНОЇ ХІМІЇ  
ТА ХІМІЇ ВОДИ ім. А. В. ДУМАНСЬКОГО

NATIONAL ACADEMY  
OF SCIENCES OF UKRAINE  
A. V. DUMANSKY INSTITUTE  
OF COLLOID CHEMISTRY AND WATER  
CHEMISTRY

G. M. PSHINKO, V. V. GONCHARUK

**SCIENTIFIC BASIC  
FOR PREDICTING  
THE BEHAVIOR  
OF RADIONUCLIDES  
IN THE ENVIRONMENT  
AND IN THE DECONTAMINATION  
OF AQUATIC ENVIRONMENTS**

---

*“SCIENTIFIC BOOK”  
PROJECT*

---

KYIV  
• NAUKOVA DUMKA •  
2019

Г. М. ПШИНКО, В. В. ГОНЧАРУК

**НАУКОВІ ЗАСАДИ  
ПРОГНОЗУВАННЯ  
ПОВОДЖЕННЯ  
РАДІОНУКЛІДІВ  
У ДОВКІЛЛІ  
ТА ПРИ ДЕЗАКТИВАЦІЇ  
ВОДНИХ СЕРЕДОВИЩ**

---

*ПРОЕКТ  
“НАУКОВА КНИГА”*

---

КИЇВ  
• НАУКОВА ДУМКА •  
2019

УДК: 504.062.2: 546.79 [574.911574.63]

Запропоновано рішення екологічної проблеми створення наукових засад прогнозування міграційного поведження радіонуклідів залежно від їх хімічної природи у водних середовищах. На основі систематичних досліджень взаємодій у системах радіонуклід—компоненти природного середовища встановлено умови утворення іонних форм і розчинних комплексних сполук радіонуклідів, що визначають напрямок їх мірації. Досліджено фізико-хімічні аспекти поведження іонних форм радіонуклідів  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  та здатних до комплексо- й колоїдоутворення  $\text{U(VI)}$ ,  $^{152}\text{Eu}$ ,  $\text{Th(IV)}$ ,  $^{60}\text{Co}$  на прикладі стабільного ізоотопу  $\text{Co(II)}$  в об'єктах навколишнього середовища і в процесах їх дезактивації залежно від хімічної природи токсикантів, природи і концентрації комплексоутворювальних лігандів, структури мінеральних і синтетичних сорбентів. Перевагами запропонованих методів дезактивації порівняно з відомими є висока ефективність і універсальність (практично повне вилучення, наприклад, аніонних форм ураніл-іонів з вод із підвищеним вмістом солей, у тому числі карбонат-іонів, а попутно й інших токсичних іонів металів катіонної та аніонної природи в широкому інтервалі рН). Ця сфера досліджень інтенсивно розвивається і має велике значення для охорони і захисту навколишнього середовища.

Для фахівців науково-дослідних лабораторій, підприємств атомно-промислового комплексу, які працюють у галузі радіохімії та екології, викладачів, аспірантів, студентів хімічних та екологічних спеціальностей вузів.

**Рецензенти:**

доктор хімічних наук, професор *В. І. Максін*,  
доктор хімічних наук, професор *А. І. Самчук*,  
доктор хімічних наук, професор *Ю. О. Тарасенко*

*Рекомендовано до друку вченою радою Інституту колоїдної хімії  
та хімії води ім. А. В. Думанського НАН України  
(протокол № 7 від 07.07.2017 р.)*

**Видання здійснено за кошти Цільової комплексної програми  
“Створення та розвиток науково-видавничого комплексу  
НАН України”**

Науково-видавничий відділ медико-біологічної,  
хімічної та геологічної літератури

Редактор *Н. А. Серебрякова*

© Г. М. Пшинко, В. В. Гончарук, 2019  
© НВП «Видавництво “Наукова думка”  
НАН України», дизайн, 2019

ISBN 978-966-00-1711-5

## ЗМІСТ

---

<b>ВСТУП</b> .....	5
<b>Розділ 1 ЧИННИКИ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА МІГРАЦІЙНЕ ПОВОДЖЕННЯ ПРИРОДНИХ І ТЕХНОГЕННИХ РАДІОНУКЛІДІВ У ДОВКІЛЛІ, МЕТОДИ ДЕЗАКТИВАЦІЇ ВОДНИХ СЕРЕДОВИЩ І ҐРУНТІВ</b> .....	8
1.1. Форми знаходження і деякі аспекти міграції радіонуклідів природного й техногенного походження в об'єктах навколишнього середовища .....	8
1.2. Фізико-хімічні особливості дезактивації водних середовищ і ґрунтів .....	15
<b>Розділ 2 СОРБЦІЯ—ДЕСОРБЦІЯ ЦЕЗІЮ-137 І СТРОНЦІЮ-90 У ПРОЦЕСАХ МІГРАЦІЇ Й ДЕЗАКТИВАЦІЇ</b> .....	19
2.1. Сорбція цезію-137 і стронцію-90 природними глинистими мінералами з водних середовищ .....	22
2.2. Сорбція—десорбція цезію-137 і стронцію-90 .....	29
2.3. Очищення радіоактивно забруднених вод від цезію-137 і стронцію-90 .....	50
<b>Розділ 3 ВПЛИВ ГУМІНОВИХ РЕЧОВИН НА СОРБЦІЮ Eu(III) І Ce(III) НА ГЛИНИСТИХ МІНЕРАЛАХ</b> .....	91
3.1. Вплив фульвокислот, що містяться у водному середовищі, на сорбцію європію(III) глинистими мінералами .....	92
3.2. Сорбція церію(III) глинистими мінералами з осадженими гуміновими кислотами.....	103
<b>Розділ 4 ОЧИЩЕННЯ ОБ'ЄКТІВ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ВІД СПЛУК КОБАЛЬТУ(II) ТА ЙОГО ПОВОДЖЕННЯ В ПРИРОДНИХ УМОВАХ</b> .....	110
4.1. Вплив фізико-хімічних чинників на стан кобальту в об'єктах навколишнього середовища .....	111
4.2. Взаємодія кобальту(II) з природними органічними речовинами.....	114
4.3. Вилив органічних речовин на сорбцію кобальту мінералами .....	116
4.4. Десорбція радіонуклідів кобальту(II) у процесах очищення об'єктів навколишнього середовища .....	119
4.5. Взаємодія кобальту(II) з природними і техногенними комплексоутворювальними лігандами .....	121
4.6. Дослідження комплексоутворення кобальту з поліеталенімінами .....	126

## Зміст

4.7. Вплив комплексоутворювальних реагентів на сорбцію кобальту(II) зразками монтморилоніту з різним вмістом гумінових кислот .....	140
4.8. Вплив комплексоутворювальних лігандів на процеси десорбції кобальту(II) .....	143
<b>Р о з д і л 5 ФОРМИ ЗНАХОДЖЕННЯ І МІГРАЦІЙНЕ ПОВЕДЖЕННЯ ТОРІЮ(IV) В ОБ'ЄКТАХ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА</b> .....	147
5.1. Вплив фульвокислот на сорбцію торію(IV) на монтморилоніті .....	149
5.2. Чинники, що впливають на форми знаходження торію(IV) у водних розчинах .....	156
<b>Р о з д і л 6. СОРБЦІЯ—ДЕСОРБЦІЯ УРАНУ(VI) ГЛИНИСТИМИ МІНЕРАЛАМИ І МОДЕЛЬНИМИ КОМПОЗИЦІЯМИ ҐРУНТОВИХ КОМПОНЕНТІВ</b> .....	161
6.1. Уран(VI) у природних водах: дослідження форм знаходження .....	175
6.2. Вплив гумінових речовин на сорбцію урану(VI) природними алюмосилікатами .....	185
6.3. Вплив низькомолекулярних лігандів на сорбцію урану(VI) природними алюмосилікатами .....	194
6.4. Вплив гумінових кислот, осаджених на поверхні монтморилоніту, на сорбцію урану(VI) за наявності низькомолекулярних лігандів .....	205
6.5. Вилучення урану(VI) зі зразків природного монтморилоніту і монтморилоніту з осадженими гуміновими кислотами в статичних умовах .....	209
6.6. Вплив осаджених на поверхні монтморилоніту гідроксидів алюмінію і заліза на сорбцію урану (VI) .....	215
6.7. Вплив осаджених на поверхні монтморилоніту гідроксидів алюмінію(III) і заліза(III) на десорбцію урану(VI) .....	231
6.8. Використання глауконіту як модельного матеріалу для дослідження дезактивації урановмісних ґрунтів .....	237
<b>Р о з д і л 7 ВИЛУЧЕННЯ УРАНУ(VI) ІЗ ВОДНИХ СЕРЕДОВИЩ</b> .....	245
7.1. Очищення урановмісних вод сапонітовою глиною .....	247
7.2. Вплив природи кисневмісних мінералів на ефективність вилучення урану(VI) із водних середовищ .....	254
7.3. Сорбційно-коагуляційне очищення водних гумусовмісних середовищ від урану (VI) .....	264
7.4. Очищення радіоактивно забруднених вод від урану(VI) і стронцію-90 феритним методом .....	268
7.5. Вилучення сполук урану(VI) зі стічних вод із підвищеним солевмістом .....	276
7.6. Очищення урановмісних вод баромембранними методами .....	285
7.7. Монтморилоніт, модифікований поліетиленімінами — сорбент для вилучення урану(VI) зі стічних вод .....	293
7.8. Шаруваті подвійні гідроксиди, інтеркальовані етилендіамінтетраоцтовою кислотою — ефективні сорбенти для вилучення урану(VI) зі стічних вод .....	306
7.9. Процеси десорбції в системі уран(VI)—шаруватий подвійний гідроксид, інтеркальований етилендіамінтетраоцтовою кислотою .....	314

## Зміст

---

7.10. Вилучення урану(VI) із водних середовищ шаруватими подвійними гідроксидами цинку та алюмінію, інтеркальованим и діетилентриамін-пентаоцтовою кислотою .....	321
7.11. Моделювання процесів сорбції урану(VI) на основі закономірностей кінетики реакцій у розчинах .....	325
7.12. Вилучення урану(VI) із водних середовищ шаруватим подвійним гідроксидом, інтеркальованим гексаметилендіамінітраоцтовою кислотою .....	330
7.13. Вилучення урану(VI) із водних середовищ шаруватим подвійним гідроксидом цинку та алюмінію, інтеркальованим гексаціаноферат(II)-іонами .....	336
7.14. Вилучення урану(VI) із водних середовищ шаруватими подвійними гідроксидами магнію і заліза.....	341
ПІДСУМКИ .....	347
SUMMARY .....	350
СПИСОК ПРИЙНЯТИХ СКОРОЧЕНЬ І ПОЗНАЧЕНЬ .....	351
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ .....	354



## CONTENTS

INTRODUCTION .....	5
<b>Chapter 1. FACTORS INFLUENCING THE MIGRATION BEHAVIOR OF NATURAL AND TECHNOGENIC RADIONUCLIDES IN THE ENVIRONMENT, AND METHODS FOR THE DEACTIVATION OF AQUEOUS MEDIA AND SOILS</b> .....	8
1.1. Forms of location and some aspects of the migration of radionuclides of natural and technogenic origin in environmental objects .....	8
1.2. Physicochemical features of decontamination of aqueous media and soils .....	15
<b>Chapter 2. SORPTION-DESORPTION OF <sup>137</sup>Cs AND <sup>90</sup>Sr IN MIGRATION AND DEACTIVATION PROCESSES</b> .....	19
2.1. Sorption of <sup>137</sup> Cs and <sup>90</sup> Sr by natural clay minerals from aqueous media .....	22
2.2. Sorption—desorption of <sup>137</sup> Cs and <sup>90</sup> Sr in the processes of migration and deactivation.....	29
2.3. Purification of radioactive contaminated waters from <sup>137</sup> Cs and <sup>90</sup> Sr.....	50
<b>Chapter 3. EFFECT OF HUMIC SUBSTANCES ON Eu(III) AND Ce(III) SORPTION BY CLAY MINERALS</b> .....	91
3.1. Influence of fulvic acids in aqueous media on sorption of Eu(III) by clay minerals .....	92
3.2. Sorption of Ce(III) with clay minerals with deposited humic acids.....	103
<b>Chapter 4. CLEANING OF OBJECTS OF THE ENVIRONMENT FROM THE COBALT(II) AND ITS BEHAVIOR IN THE NATURAL CONDITIONS</b> .....	110
4.1. Influence of physico-chemical factors on the state of cobalt in the objects of the environment .....	111
4.2. Interaction of cobalt(II) with natural organic substances.....	114
4.3. Effect of organic substances on cobalt sorption by minerals .....	116
4.4. Desorption of radionuclides and heavy metals in the process of purifying environmental objects .....	119
4.5. Interaction of cobalt(II) with natural and technogenic complexing ligands.....	121
4.6. Investigation of cobalt complex formation with PEI .....	126
4.7. Influence of complexing reagents on sorption of cobalt(II) samples of montmorillonite with different contents of HA .....	140
4.8. Influence of complexing ligands on desorption processes Co(II) .....	143
<b>Chapter 5. FORMS OF LOCATION AND MIGRATION BEHAVIOR OF Th(IV) IN THE OBJECT ENVIRONMENT</b> .....	147
5.1. Effect of fulvic acids on Th(IV) sorption on montmorillonite .....	149
5.2. Factors influencing the formation of Th(IV) in water solutions.....	156
<b>Chapter 6. SORPTION-DESORPTION URANIUM(VI) BY CLAY MINERALS AND MODEL COMPOSITES OF SOIL COMPOUNDS</b> .....	161
6.1. Uranium(VI) in natural waters: study of occurrence forms.....	175

## Contents

6.2. Effect of humic substances on uranium(VI) sorption by natural aluminosilicates.....	185
6.3. Influence of low molecular weight ligands on sorption uranium(VI) by natural aluminosilicates.....	194
6.4. Influence of HA deposited on the surface of montmorillonite, on sorption of uranium(VI) in the presence of low molecular weight ligands.....	205
6.5. Evaporation of uranium(VI) from samples of natural montmorillonite and montmorillonite with sorbed HA under static conditions .....	209
6.6. Effect deposited on the surface of montmorillonite hydroxides of aluminum and iron on the sorption of uranium(VI).....	215
6.7. Effect deposited on the surface of montmorillonite hydroxides of aluminum and iron on the desorption uranium(VI) .....	231
6.8. Glauconite as model material for examining deactivation of uranium-containing soils .....	237
<b>Chapter 7. THE EXTRACTION OF URANIUM (VI) FROM AQUEOUS MEDIA .....</b>	<b>245</b>
7.1. Treatment of waters containing uranium with saponite clay .....	245
7.2. Influence of the nature of oxygen-containing minerals on their sorption ability toward uranium(VI) .....	254
7.3. Sorption-coagulation purification of water humic-containing media from uranium(VI) .....	264
7.4. Purification of radioactive contaminated waters from uranium(VI) and <sup>90</sup> Sr by ferrite method.....	268
7.5. Extraction of uranium(VI) compounds from uratewater with high salinity salt content .....	276
7.6. Purification of uranium-containing waters by baromembrane methods .....	285
7.7. Montmorillonite, modified with polyethylenimine—sorbent for the removal of uranium(VI) from sewage.....	293
7.8. Layer double hydroxides, intercalated EDTA — effective sorbents for removing uranium(VI) from sewage .....	306
7.9. Sorption-desorption processes in the uranium(VI) system are layered double hydroxide, intercalated EDTA .....	314
7.10. Removal of uranium(VI) from aqueous environments by layered double hydroxides Zn and Al, intercalated by DTPA.....	321
7.11. Modeling of sorption processes uranium(VI) on the basis of regularities of kinetics of reactions in solutions.....	325
7.12. Removal of uranium(VI) from aqueous media of layered double hydroxides, intercalated with hexamethylenediaminetetraacetic acid.....	330
7.13. Removal of uranium(VI) from aqueous media by a layered double hydroxide Zn and Al, intercalated hexacyanoferrate(II)-ions .....	336
7.14. Extraction of uranium(VI) from aqueous media by layered double hydroxides of magnesium and iron.....	341
CONCLUSION .....	347
SUMMARY .....	350
LIST OF ACCEPTED ABBREVIATIONS .....	351
LIST OF REFERENCES .....	354