

Г.Ж. Қосжанова\*, Н.А. Бектенов  
Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті,  
Алматы қ., Қазақстан

## АУЫР ЖӘНЕ СИРЕК МЕТАЛДАРДЫҢ ИОНЫН СОРБЦИЯЛАЙТЫН ВЕРМИКУЛИТ НЕГІЗІНДЕ МОДИФИКАЦИЯЛАНҒАН СОРБЕНТТЕРГЕ ҚЫСҚАША ШОЛУ

### Аңдатпа

Бұл жұмыста ауыр және сирек металдармен рұқсат етілген мөлшерден шектен тыс көп мөлшермен ластанған су мен топырақты тазарту мақсатында табиғи вермикулит негізінде модификацияланған сорбенттерді қарастырады. Модификациялау жолдары мен сорбциялау қасиеттері зерттелінген жұмыстарды талдау жұмысын қамтиды. Артықшылықтары мен кемшіліктері қарастырылады. Вермикулитті цирконий оксидімен модификациялау арқылы оның никель (II) ионының сорбциясы зерттелінген. Минералды тұз қышқылымен тазарту арқылы, оның кеуектілігін арттырып, мыстың (II) ионын сорбциялануы қарастырылды. Вермикулитті хитозанмен модификациялау арқылы композитті материал алып, күшәннің (II) ионын сорбциялануын зерттелінген. Вермикулитті парафинмен, лигносульфаттармен, целлюлозамен өңдеу арқылы анылған модификацияланған өнімнің мұнай қалдықтарын сорбциялануы қарастырылғанымен, оның металл иондарын сорбциялану қасиеті болжанған.

**Түйін сөздер:** вермикулит, сорбент, сіңірілу қасиеті, модификацияланған вермикулит.

Косжанова Г.Ж.\*, Бектенов Н.А.  
Казахский национальный педагогический университет имени Абая,  
г.Алматы, Казахстан

## КРАТКИЙ ОБЗОР МОДИФИЦИРОВАННЫХ СОРБЕНТОВ НА ОСНОВЕ ВЕРМИКУЛИТА, СОРБИРУЮЩИХ ИОНЫ ТЯЖЕЛЫХ И РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ

### Аннотация

В данной работе рассмотрены модифицированные сорбенты на основе природного вермикулита для очистки воды и почвы, загрязненных тяжелыми и редкими металлами. Методы модификации и сорбционные свойства включают анализ исследованных работ. Рассмотрены преимущества и недостатки. Путем модификации вермикулита оксидом циркония изучена сорбция ионов никеля(II). Путем очистки минерала соляной кислотой, увеличения его пористости, учитывалась сорбция иона меди(II). Путем модификации вермикулита хитозаном получен композиционный материал и исследована сорбция иона (II). Хотя рассматривается сорбция нефтяных остатков модифицированного продукта, обусловленная обработкой вермикулита парафином, лигносульфатами и целлюлозой, предполагается его свойство сорбции ионов металлов.

**Ключевые слова:** вермикулит, сорбент, сорбционная способность, модифицированный вермикулит.

*Koszhanova G. \*, Bektenov N.  
Abai Kazakh National Pedagogical University,  
Almaty, Kazakhstan*

## **A BRIEF OVERVIEW OF MODIFIED VERMICULITE-BASED SORBENTS THAT SORB HEAVY AND RARE METAL IONS**

### *Abstract*

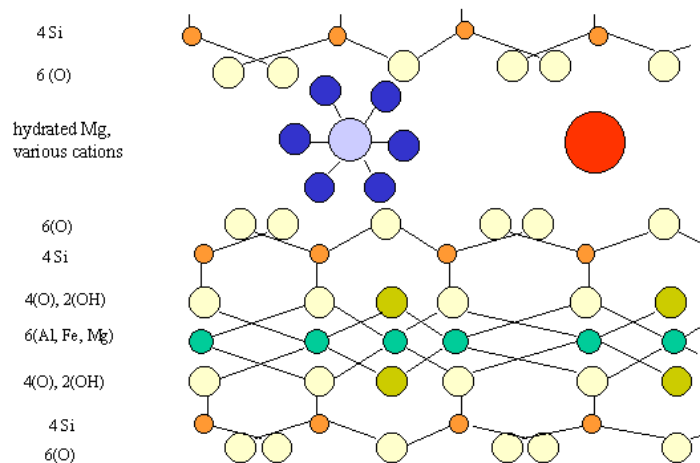
This study discusses modified sorbents based on natural vermiculite for the purification of water and soil contaminated with heavy and rare metals. Modification methods and sorption properties include an analysis of the studies studied. The advantages and disadvantages are considered. By modifying vermiculite with zirconium oxide, the sorption of nickel (II) ions by it was studied. By purifying the mineral with hydrochloric acid and increasing its porosity, the sorption of copper (II) ion was taken into account. By modifying vermiculite with chitosan, a composite material was obtained and the sorption of ion (II) was studied. Although the sorption of oil residues of the modified product due to the treatment of vermiculite with paraffin, lignosulfates and cellulose is considered, its property of sorption of metal ions is assumed.

**Keywords:** vermiculate, sorbent, sorption capacity, modified vermiculite.

**Негізгі ережелер.** Бүгінде ғылыми бағыттағы мамандықтардың негізгі мақсаты ғылымның дамуына ықпал етуші жас ғалымдарды тәрбиелеу, оқыту, үйрету. Жас ғалымдардың негізгі мақсаты әлемдік мәселелердің шешу жолдарын табу. Көбіне, экологиялық мәселелерді шешу жолдарын табу ғалымдарға жүктелген. Су және жер қорларының ауыр және сирек металлдармен ластануы аса көңілмен қаралу керек мәселе. Бұның шешімі экологиялық зиянсыз сорбенттер ғана болады.

**Кіріспе.** Жылдан жылға антропогендік іс-әрекеттерге байланысты жер бетінің және тұщы судың қорына аса көптеген жағымды және жағымсыз әсерлер келтіріліп жатқандығы ғалымдарды алаңдатады. Осы әсерлердің ішіндегісі – топырақтың және ағынды сулардың ауыр және сирек металлдармен ластануы. Өнеркәсіптер мен жылу орталықтарының зиянды заттарды артық мөлшерде бөліп шығару аймағы жүздеген, мыңдаған шақырымға дейін жетеді. Сол үшін топырақтың ауыр және сирек металлдармен зақымдануын үлкен аймақпен қарастыру қажет. Мұндай экологиялық мәселелерді Қазақстанның қалаларымен шекті рұқсат етілген мөлшерден асу бойынша қарастырсақ, мысалы Ақтөбе қаласы көбіне цинк, мыс, қорғасын және хром металдарымен қатты ластанғандығы, ал Павлодар қаласы қорғасын, кадмий, цинк, хром және никель сияқты металлдармен ластанғандығы зерттелген. Бұл металлдардың табиғатқа және адам өміріне зиян екенін білеміз. Сол себебі, қазіргі таңда бұл экологиялық мәселені шешудің оңтайлы жолдарын табу ғалымдардың бірінші кезектегі жұмысы [6].

Айтылған экологиялық мәселені көбіне биоыдырағыш, табиғатқа зияны болмайтын сорбенттермен шешу қолға алынған. Алайда, табиғи сорбенттердің тиімділігін арттыру үшін оны физико-химиялық модификациялайды. Бұл жұмыста Құлантаулық вермикулит – табиғи сорбенті қарастырылады. Вермикулит – қабатты құрылым ыбар гидрослюдтер тобының минералы. Қабатты құрылымның арқасында ол табиғи сорбент көптеген өнеркісіптерде қолданылады. Вермикулиттің құрылымын келесі суретте көре аласыз:



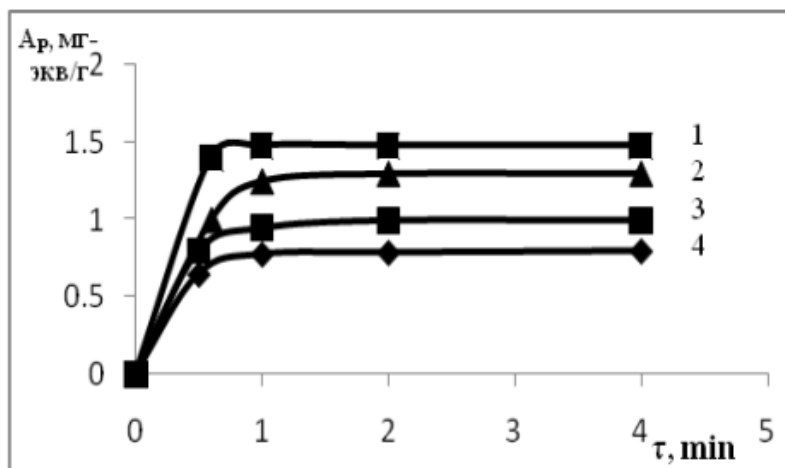
Сурет -1. Қабатты вермикулиттің құрылымы

**Материалдар мен әдістер.** Әртүрлі әдіспен модификацияланған вермикулиттің сирек және ауыр металдардың сорбциясы аса кеңінен зерттелінбеген. Алайда, кейбір зерттеу жұмыс-тарын негізге алсақ болады.

Луи, Денг, Вакили ғалымдар вермикулит – цирконий оксид негізінде модификацияланған сорбент алып, оның никель (Ni (II)) ионының сорбциясын зерттеген. Зерттеу жұмысында қарапайым ион алмасу-тұндыру әдісі арқылы вермикулит негізіндегі гидратталған цирконий оксиді ( $ZrO(OH)_2/BMT$ ) нанокөмізгіштерін синтезделді. Синтезделген нанокөмізгіштің тұрақтылығы қышқыл ерітіндіде байқалған, сол себепті никельдің (Ni (II)) ионын сулы ерітінділерден сорбциясын қышқылды ерітінділер қатысында жүргізген. Зерттеу жұмысында никель ионының жоғары мөлшерде сорбциялануы рН-тың 2-ден 8-ге дейін арттырған жағдайда жоғары екендігі дәлелденген. Бұл модификацияланған сорбент басқа да ауыр және сирек металдардың иондарын ластанған судан сіңіріп, тазартуға мүмкіншілік беруі мүмкін [7].

150 мг  $ZrOCl_2 \cdot 8H_2O$  алдымен 150 мл 30% этанол ерітіндісінде ерітілді, содан кейін ерітіндіге 250 мг вермикулит қосылды, содан кейін 160 айн / мин және  $50^\circ C$  температурада 12 сағат бойы үздіксіз араластырады. Вермикулит бөлшектері сүзу арқылы алынды және 100 мл 5 масса% NaOH ерітіндісіне қосылды. 12 сағат бойы  $50^\circ C$  және 160 айн/мин үздіксіз араластырғаннан кейін суспензия сүзілді және алынған материалдар бейтарап рН жеткенше бірнеше рет дистилденген сумен шайылды. Соңында материалдар  $75^\circ C$  температурада 12 сағат кептіріліп,  $ZrO(OH)_2/BMT$  алынды. Керісінше,  $ZrO(OH)_2$  бөлшектері де вермикулитсіз бірдей процедураны қолданып дайындалды.  $ZrO(OH)_2/BMT$  бойынша Ni(II) максималды адсорбциялық сыйымдылығы Ленгмюр (Langmuir) фитингіне сәйкес 90,21 мг/г болды, бұл белгілі адсорбенттердің көпшілігінен жоғары көрсеткіш [5].

Курманғалиев, Жанабаеваның зерттеу жұмысында вермикулитті тұз қышқылымен  $30^\circ C$  температурада 6 сағ тұрақты шайқау арқылы модификациялады. Алынған модификацияланған вермикулит негізіндегі сорбентті мыстың (Cu (II)) ионының сорбциялануын зерттеген. қышқылының концентрациясы 5%-дан 20%-ға дейін өзгерді. Содан кейін ерітінді сүзіледі, вермикулит тазартылған сумен жуылған су бейтарап болғанша жуылады, алдымен бөлме температурасында, содан кейін  $70^\circ C$  температурада кептірілді.



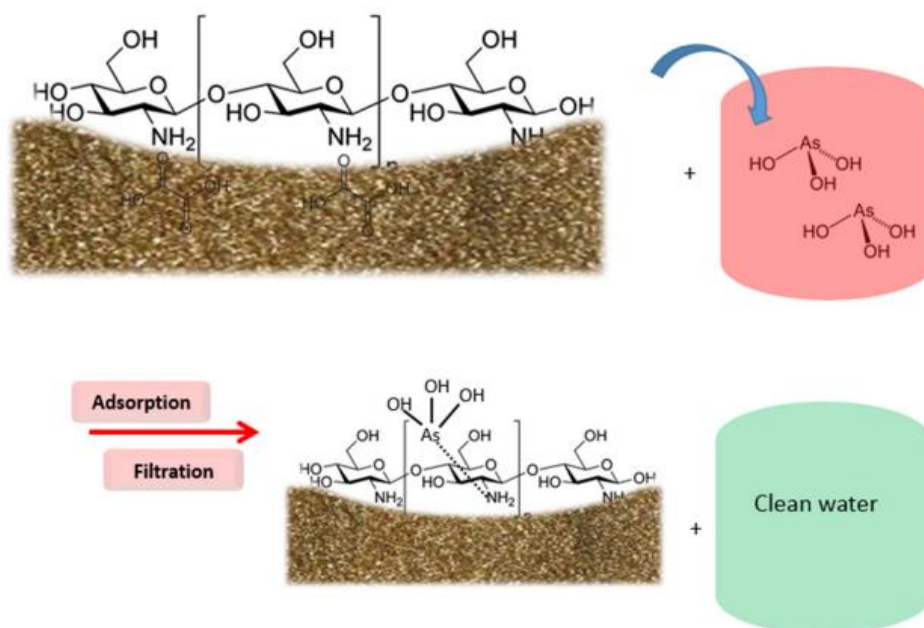
Сурет - 2. Модификацияланған вермикулит сорбенттерінің мыс иондарының сорбциялануының кинетикалық қисықтары: 1 - ВМТ+10% HCl; 2 - ВМТ+15% HCl; 3 - ВМТ+20% HCl; 4 - кеңейтілген модификацияланбаған ВМТ

Суретте көрсетілгендей, вермикулитті 10%-ды тұз қышқылымен модификациялау арқылы оның мыс (Cu(II)) иондарының көп мөлшерде сорбцияланғанды байқалады. Бұл оның тұз қышқылымен әрекеттескеннен кейін оның қабаттарының арасындағы иондардың жойылуымен және қышқылдық орталықтарының көбеюімен түсіндіріледі [3].

Салих, Сари және Тузен ғалымдардың зерттеу жұмысында вермикулитті хитозамен модификациялап синтездейді де, оның As (III) иондарын адсорбциялық қасиетін зерттейді. Адсорбция тиімділігіне ерітіндінің рН, адсорбент дозасы, жанасу уақыты және температура-сының әсері жүйелі түрде зерттелді. As(III) үшін ВМТ және Х-ВМТ сорбенттерінің максималды адсорбциялық қабілеті рН 5 кезінде, 30 мин және 20 °С байланыс уақытымен 34,9 мг/г және 72,2 мг/г анықталды. Дайындалған хитозанмен модификацияланған вермикулит сорбенті он циклден кейін де қайта пайдалануға болатын жақсы өнімділік көрсетті [4][10].

Алдымен ВМТ бетін функционалды ету үшін 100 г ВМТ ұнтағы 150 мкм бөлшектердің өлшемі 0,2 М (150 мл) қымыздық қышқылымен стаканға 4 сағат бойы араластырылды. Бұл қымыздық қышқылының оттегі атомдары мен хитозанның амидтік топтарының иондық айқаспалы байланысы арқылы хитозан мөлшерін көбейтті. Қымыздық қышқылы вермикулит беті мен хитозан арасында байланыс жасайды деп күтілген. Қымыздық қышқылымен өңделген вермикулит тазартылған сумен жуылды және температура бақыланатын пеште 105 °С температурада 24 сағат бойы кептірілді.

Хитозан (1,5 г, салмағы 1,5% хитозан/ВМТ сәйкес) 150 мл 0,2 М қымыздық қышқылы ерітіндісінде ерітілді, содан кейін қышқылмен өңделген вермикулит суспензиясы бар стаканға араластырылды. Ерітінді біртекті болғанша 50 °С температурада 6 сағат бойы араластырылды. Содан кейін алынған қоспаны бейтараптандыруға дейін 1 н NaOH-пен өңдейді. Өзгертілген үлгі ионсыздандырылған сумен жуылып, 65 °С температурада кептірілді. Соңғы өнім електен өткізіліп, Х-ВМТ адсорбент ретінде табылған. Хитозан – вермикулит негізінде алынған сорбент As (III) ионының рН-ы 5-ке тең кезінде, 20°C-50°C температура аралығында өздігінен энергия бөле жүретін сорбент. Бұл оның кәріз суларынан және топырақ қырамынан күшәннің III валентті иондарын сорбциялауға алтернативті, экологиялық зияндылығы жоқ сорбент ретінде қолдануға болатындығын көрсетеді.



Сурет - 3. X-ВМТ сорбентімен арсенат ионарының арасындағы болжамды реакция механизмі

Патенттерді қарастырсақ, судың және топырақтың мұнай өнімдерін ластануын тазарту мақсатында үш түрлі тәсілмен модификациялайды және олардың сорбциялау қасиетін зерттейді. Бірінші жағдайда, ВМТ-ны қатты парафинмен бірге қатты қызған газдарды (дизельдік жанармай мен мазутты 670-850<sup>0</sup>С дейін жағу) жіберу арқылы қыздыру. Бұл әдіс вермикулиттің мұнайды сіңіріп алу қасиетін 9,5-11,9 г/г дейін жоғарылатқан. Оған қарамастан, алынған сорбенттің су бетінде қалқып жүру ұзақтығы да жоғарылаған, су бетінде 20-35 күн қалқып жүре алады [1].

Екінші жағдайда ВМТ-ның 0,25-2,0 мм өлшемінде 30-40%-дық қатты және сұйық фазалардың 1:6, 1:12, 1:24 қатынастарында лигносульфонатпен 550-700<sup>0</sup>С температура-сында термиялық өңдеді. Бұл алынған сорбенттің мұнайды сіңіріп алу қасиетін бізге белгілі табиғи сорбенттердің сіңірілуіне қарағанда 1,2-1,7 есе жақсы сіңіретіндігін көрсеткен. Алайда, термиялық өңдеу кезінде 550<sup>0</sup>С-ден төмен температурада жүргізілсе, сорбенттің сіңіру қасиеті бізге белгілі сорбенттің сіңіру қасиетіне дейін төмендейді [2].

Үшінші жағдайда 5%-дық целлюлозаның ерітіндісімен және 10-12%-дық тұз қышқылы қатысында өңдейді. 10 мин бойы жасанды кавитация арқылы дисперсиялайды. 24-48 сағаттан кейін бейтараптау үшін, аммиактың ерітіндісімен шаяды. Алынған материалды бір тәулік бойы 1:2 қатынаста қаныққан мыс хлориді ерітіндісінде ұстайды. Одан кейін, мыс иондарынан шайып, 2 сағат бойы калий ферроцианид ерітіндісінде ұстайды. Алынған материалды 5 %-дық хитозан ерітіндісімен 2 %-дық сірке қышқылы қатысында шаяды. Бұл жұмыста сыйымдылығы және таралу коэффициенті жоғары сорбент алуды қамтамасыз етеді, сондықтан натрий хлоридінің ерітіндісінен цезийдің статикалық адсорбциясы жағдайында экспериментте 669 мг/г вермикулитті құрайтын сіңіру индексінің мәні алынды, ол бастапқы табиғи минералға (200 мг/г вермикулит) қарағанда 3,3 есе көп. Вермикулиттің көптеген өндірістік үдерістерде катализатор ретінде, сорбент ретінде қолдануға болады. Алайда, әрбір үдеріске, технологиялық өндіріске орай вермикулитті модификациялау әдістері де әртүрлі болады және оны таңдау керек [7][9].

**Нәтижелер мен талқылаулар.** Вермикулитті модификациялау кезінде оның кеужектілігін, селективтілігін, беттік активтілік орталықтарының санына, агрегат пен аглогераттық бөлшектерінің арасындағы беріктілік пен микрокеужектілігін қадағалау керек. Вермикулиттің қабатталған, жинақталған құрылымына орай модификациялау кезінде оның кеужектілігін, құрылымын өзгертуге тәуелді болады.

Судың және жер қойнауының ауыр және сирек металдармен ластануы – қазіргі заманның елеулі мәселесі. Ауыр және сирек металдардың адам ағзасы мен табиғатқа қандай зиян екенін білеміз. Ғалымдардың негізгі мақсаты – табиғи, экологиялық зияны жоқ ион алмастырғыштармен, сорбенттер алу. Табиғи вермикулитті өңдеу арқылы оның кеуектілігін, активті орталықтарын арттыру арқылы ауыр және сирек металдардың иондарын сорбциялауын зерттелінеді. Никель ионын сорбциялау үшін вермикулитті гидратталған цирконий оксидімен өңдейді. Алынған сорбенттің эффективтілігі мен оның басқа ауыр металдардың иондарын сорбциялауға болатындығы дәлелденген. Алғашқы зерттеулердің бірі вермикулитті тұз қышқылымен өңдеу болған. Тұз қышқылының төмен концентрацияларында өңдеп, оның кеуектілігін және активті орталықтарының санын артқандығы байқалған. Алайда, бұл жұмыстың бір кемшілігі – сорбент алу үдерісі ұзақ уақытты және ерітінді ортасының рН-ын қадағалау керектігі. Хитозан-вермикулит негізінде алынған тиімділігі жоғары және күшән иондарын жақсы сорбциялайтындығы зерттелінген. Бұл сорбенттің артықшылы оны екінші қайтара сорбент ретінде қолдануға болатындығы. Патенттелген вермикулит негізіндегі сорбенттер мұнайдан және цезий иондарынан тазалауға болатынды белгілі. ВМТ-ны парфинмен және қатты қыздырылған газдармен өңдеу арқылы мұнайды су бетінде 20-35 күн қалқып жүретін сорбентпен тиімді тазалауға болады. Ал, ВМТ-ны 550-700<sup>0</sup>С аралығында лигносульфонатпен өндегенде алынған сорбент жоғары көрсеткіштегі мұнай сіңірілуді көрсетті. Алайда, сорбентті алу үшін температуралық жұмыс тәртібін қатаң қадағалау керек және оны алуда көп жылу энергиясы кетеді, бұл – тиімсіз. ВМТ-ны целлюлозамен өңдеу арқылы алынған цезий иондарын сорбциялайтын ионалмастырғыш тиімді болғанымен модификациялау үдерісі бірнеше этаптан және бірнеше реагенттерден тұрады. Сорбент алу үдерісі кезінде қателік кету мүмкіндігі көп.

**Қорытынды.** Зерттеу жұмыстарын қорытындылай келе, өзіме вермикулитті тұз қышқылымен және хитозанмен модификациялау үдерістері тиімдірек болап келеді. Артықшылығы басқа да ауыр және сирек металдарды сорбциялануын зерттеу мен соған ұқсас форфор қышқылы мен эпоксидті шайырмен модификациялау болып табылады.

*Пайдаланылған әдебиеттер тізімі:*

1. Пат. № 1438836 СССР, МПК В01J20/32 (2000.01), С02F1/28 (2000.01). Способ получения сорбента: N 4125359: заявл.: 29.07.1986: опубл. 23.11.1988 /С. П., Крючков В. В., Кириллова Л. А., Сентябрева И. А. заявитель Кольский филиал им. С.М. Кирова АН СССР. С. 4. – Текст: непосредственный.
2. Пат. № 1632946 СССР, МПК С02F1/28 (2006.01), В01J 20/30 (2006.01). Способ получения адсорбента для очистки сточных вод от нефтепродуктов: N4408202: заявл.: 11.04.1988: опубл. 07.03.1991 / Коновалова Н. Г., Зосин А. П., Приймак Т. И. С. 2. – Текст: непосредственный.
3. Курманалиев М.К., Жанабаева Ж.Т.. Сорбция ионов меди (II) из водных растворов на модифицированном вермикулите // Вест. Науки и образования – 2019. №12 (66). – Часть 3 – С. 10-13
4. Tawfik A.Saleh, Ahmet Sari, Mustafa Tuzen. Chitosan-modified vermiculite for As(III) adsorption from aqueous solution: Equilibrium, thermodynamic and kinetic studies. // Journal of Molecular Liquids. 2016. - №219. – P. 937-945. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2016.03.060>
5. D. Liu, S. Deng, M. Vakili, R. Du, L. Tao, J. Sun, B. Wang, J. Huang, Y. Wang, G. Yu. Fast and high adsorption of Ni(II) on vermiculite-based nanoscale hydrated zirconium oxides. // Chemical Engineering. – 2018. – P.1150-1157 <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.10.178>
6. Джаланкузов Т., Абдыхалыков С. О состоянии загрязнения почв Республики Казахстан. // Почвоведение и агрохимия. – 2015. – С.65-71.
7. M. Zhang, P.Li, M.Zhu. Ultralow-weight loading Ni catalyst supported on two-dimensional vermiculite for carbon monoxide methanation. // Chinese Journal of Chemical Engineering. – 2018. – Vol.26. – p.1873-1878

8. Marcos, C. Structural changes on vermiculite treated with methanol and ethanol and subsequent microwave irradiation/ C. Marcos, I. Rodriguez // *Applied clay science*. – 2016. – Vol. 123. – P. 304-314.

9. M.G. da Fonseca, M.M. de Oliveira, L.N.H. Arakaki. Natural vermiculite as an exchanger support for heavy cations in aqueous solution. *Journal of Colloid and Interface Science*. – 2005. – Vol. 285. – P. 50-55.

10. Imran A., Hassan Y. Speciation of arsenic and chromium metal ions by reversed phase high performance liquid chromatography. *Chemosphere*. – 2002. – Vol.48(3). – P.275-278.

#### References:

1. Pat. №1438836 SSSR, MPK B01J20/32 (2000.01), C02F1/28 (2000.01). Sposob polucheniya sorbenta: N 4125359: zayavl.:29.07.1986: opubl. 23.11.1988 /S.P., Kriuchkov V. V., Kirillova L. A., Sentyabreva I.A. zayavitel' Kol'skii filial im. S.M.Kirova AN SSSR. S. 4. – Tekst: neposredstvennyi.

2. Pat. №1632946 SSSR, MPK C02F1/28 (2006.01), C02F1/28 (2000.01). Sposob polucheniya adsorbenta dlya ochistki stochnyh vod ot nefteproduktov: N4408202: zayavl.: 11.04.1988: opubl. 07.03.1991 /Konovalova N. G., Zosin A. P., Priimak T. I. S. 2. – Tekst: neposredstvennyi.

3. Kurmanaliev M.K., Zhanabaeva Zh.T.. Sorbciya ionov medi (II) iz vodnyh rastvorov na modifitsirovannom vermiculite // *Vest. Nauki i obrazovaniya* -2019. №12 (66). – Chast' 3 – S. 10-13.

4. Tawfik A.Saleh, Ahmet Sari, Mustafa Tuzen. Chitosan-modified vermiculite for As(III) adsorption from aqueous solution: Equilibrium, thermodynamic and kinetic studies. // *Journal of Molecular Liquids*. 2016. – №219. – P. 937-945. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2016.03.060>

5. D. Liu, S. Deng, M. Vakili, R. Du, L. Tao, J. Sun, B. Wang, J. Huang, Y. Wang, G. Yu. Fast and high adsorption of Ni(II) on vermiculite-based nanoscale hydrated zirconium oxides. // *Chemical Engineering*. – 2018. – P.1150-1157 <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.10.178>

6. Dzhalankuzov T., Abdyhalykov C. O sostoyanii zagrezneniya pochv Respublicy Kazakhstan. // *Pochvovedenie i agrokimiya*. – 2015. – S.65-71.

7. M. Zhang, P.Li, M.Zhu. Ultralow-weight loading Ni catalyst supported on two-dimensional vermiculite for carbon monoxide methanation. // *Chinese Journal of Chemical Engineering*. – 2018. – Vol.26. – p.1873-1878

8. Marcos, C. Structural changes on vermiculite treated with methanol and ethanol and subsequent microwave irradiation/ C. Marcos, I. Rodriguez // *Applied clay science*. – 2016. – Vol. 123. – P. 304-314.

9. M.G. da Fonseca, M.M. de Oliveira, L.N.H. Arakaki. Natural vermiculite as an exchanger support for heavy cations in aqueous solution. *Journal of Colloid and Interface Science*. – 2005. – Vol. 285. – P. 50-55.

10. Imran A., Hassan Y. Speciation of arsenic and chromium metal ions by reversed phase high performance liquid chromatography. *Chemosphere*. – 2002. – Vol.48(3). – P.275-278.

МРНТИ 34.35.51

<https://doi.org/10.51889/3005-6217.2024.79.1.016>

Семенухин В.В.\* , Семенухина С.Ф., Адманова Г.Б.  
Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова,  
Казахстан, Актюбе

## ДЕНДРОЛОГИЧЕСКИЕ БИОИНДИКАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ КАЧЕСТВА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

### Аннотация

В наших исследованиях мы представляем методы биоиндикации для оценки качества окружающей среды с использованием дендрологических объектов. Наша цель – провести