

УДК 504.064.2

DOI 10. 56525/UBMT5257

**МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕУДІ ҚОЛДАНУ АРҚЫЛЫ КАСПИЙ ТЕҢІЗІНІҢ ЖАҒАЛАУ БӨЛІГІНІҢ ЛАСТАНУ ДИНАМИКАСЫҢ БОЛЖАМЫ****Джаналиева Н.Ш., Баймухашева Ш.Х.**

Есенов университеті, Қазақстан, Ақтау

e-mail: nurgul.janaliyeva@yu.edu.kz, e-mail: shynar.baimukasheva@yu.edu.kz

**Аңдатпа.** Бұл зерттеудің мақсаты экологиялық жағдайды болжау үшін эмпирикалық мәліметтер негізінде математикалық модельді қолдана отырып, Каспий теңізінің жағалау аймағының ауыр металдармен ластану динамикасын зерттеу болып табылады. Топырақтың физика-химиялық талдаулары жүргізілді, жағалау аймағының эмпирикалық деректері негізінде математикалық модельдер салынды. Заттың әр түрі үшін уақытқа байланысты функциялар анықталды. Біздің жағдайда трендті салыстыру үшін эксперименттік деректер 2019, 2021 және 2023 жылдары алынды.  $R=1$  дәлдік коэффициентімен екінші ретті көпмүшелік функцияларды модельдеу жүргізілді, олардың негізінде ауыр металдар концентрациясының таяудағы жылдарға таралу моделі болжанған топырақтағы ауыр металдар құрамының деректерінен. Зерттеу алаңдарындағы ауыр металдардың құрамы әртүрлі тенденцияларды көрсетті. Айта кету керек, хромның мөлшері азаяды, ал никель мен мыс және басқа металдардың мөлшері болашақта ұлғаю болжамын көрсетеді, бұл олардың үнемі мониторингі мен қадағалауын қажет етеді. тенденциялар қоршаған ортаға маңызды салдардың алдын алу үшін.

Нәтижелер тұрақты ресурстарды басқару бойынша ұсыныстарды әзірлеу үшін пайдалы жағалау аймақтары мен су айдындарын пайдалану тенденцияларын анықтауға мүмкіндік береді.

**Түйін сөздер:** Каспий теңізі, математикалық модель, ауыр металдар, экологиялық болжам.

**Кіріспе**

Қазіргі әлемде қоршаған орта мен тұрақты даму проблемалары ерекше маңызға ие және тиімді шешу үшін жан-жақты зерттеуді қажет етеді. Каспий теңізі-әлемдегі ең ірі ішкі су айдындарының бірі, Геоэкология саласындағы ғалымдар мен мамандардың назарын аударады [1]. Осы тұрғыда Каспий теңізінің жағасында орналасқан Ақтау қаласы жағалау экологиясы саласында зерттеулер жүргізу үшін ерекше қызығушылық объектісіне айналады. Көлік, туризм, балық аулау және өнеркәсіп салаларында шешуші рөл атқаратын Каспий теңізін тұрақты пайдалануға ерекше назар аударылады [2].

Каспий экожүйесінің жай-күйін бақылаудың маңыздылығын көрсететін перспективалы учаскелердің белсенді дамуына байланысты қоршаған ортаға әсерді бағалау қажеттілігі баса айтылады [3].

Шетелдік және ұлттық сарапшылардың бағалауы бойынша, қазіргі уақытта Каспий теңізі биологиялық өнімділікті анықтайтын бірқатар параметрлер бойынша өте ауыр жағдайда [4]. Қалыптасқан бірқатар экологиялық проблемалар трансшекаралық сипатқа ие [5].

Физикалық-химиялық және табиғи өлшеулердің нәтижелерін математикалық модельдеуді қолдану жалпы тенденцияны анықтауға және зерттеу объектісіндегі экологиялық жағдайды болжауға мүмкіндік береді [6, 7].

Бұл мақалада [8] Каспий теңізінің деңгейін болжау үшін сызықтық емес модельдеуді қолдану мүмкіндігі көрсетілген. Айта кету керек, бұл тәсіл анықтаманың табиғилығынан басқа, оны жүзеге асыру үшін мүмкіндігінше қарапайым болуы керек, өйткені алгоритмнің көптеген кірістерін бағалау үшін зерттеулер мен эксперименттер жүргізу мүмкіндігі әрдайым

бола бермейді [9]. Модельдеуді қолдана отырып, мақалада экожүйеге теріс әсерді азайту мақсатында полихлорланған дифенил (ПХД) өрістерінің динамикасы талданады.

### Материалдар мен әдістер

Зерттеу объектісі Ақтау қаласы (Қазақстан) ауданындағы Каспий теңізінің жағалау аймағы мен теңіз бөлігі болып табылады.

Каспий теңізінің Ақшұқыр және Шапағатов ауылдары жағынан теңіз ортасы мен жағалау аймағының үлгілері. Гидрологиялық станциялар (ГС) 14, 15, 16 және 17 деп белгіленеді, жағалау аймағының зерттеу алаңдары (ЗА) 1, 2, 3, 4 деп белгіленеді (кесте. 1).

#### 1-кесте-Гидрологиялық станциялардың, зерттеу алаңдарының орналасуы

Сынамалар №	Орналасқан жері	Ендік	Бойлық	Қашықтық жағадан, теңізден
ЗА -1	Ақшұқыр ауданы	43°48'1"	51°1'59"	303,65
ЗА-2	Ақшұқыр ауданы	43°49'5"	51°2'14"	1635,1
ЗА-3	Шапағатов ауданы	43°49'0"	51°1'29"	2135
ЗА-4	Шапағатов ауданы	43°55'19"	51°2'0"	9578

Бұл сайттар теңіз суы мен топырақтың күйін жүйелі түрде бақылау үшін тірек нүктелері ретінде қызмет етті. Топырақ сынамаларын іріктеу процесі ГОСТ 17.4.3.01-2017 сәйкес Топырақтану саласындағы жалпы қабылданған әдістемеге сәйкес жүргізілді. Топырақтағы ауыр металдардың құрамын анықтау үшін Стандартта белгіленген әдістемеге сәйкес (М-МВИ80-80-2008) жоғары дәлдіктегі ААС МГА-915М аппаратын пайдалана отырып, плазмалық атомизациясы бар атомдық-абсорбциялық спектроскопия әдісі қолданылды.

Топырақтағы ауыр металдардың жалпы мөлшері жоғары болғандықтан, келесі элементтердің қозғалмалы формалары анықталды: қорғасын (Pb), никель (Ni), хром (Cr), сынап (Hg), ванадий (V), мыс (Cu), темір (Fe) және мырыш (Zn) [11]. Бұл биотамен және қоршаған ортамен әрекеттесу үшін осы металдардың қолжетімділігін дәлірек бағалауға мүмкіндік берді. Анықталған ауыр металдардың концентрациясы реттеуші нормаларға сәйкес белгіленген шекті рұқсат етілген концентрациялармен салыстырғанда ұшырады.

Бұл тәсіл зерттелетін топырақтағы ауыр металдардың нормативтерге сәйкестік дәрежесін бағалауға мүмкіндік берді, бұл қарастырылып отырған аумақтың экологиялық жағдайын бағалау үшін маңызды. Математикалық модель Каспий теңізінің жағалау аймағы үшін эмпирикалық мәліметтер негізінде құрылды. Зерттеу алаңдарының топырақтарындағы ауыр металдардың құрамындағы мәліметтерден екінші ретті көпмүшелік функциялар келтірілді. Сондай-ақ, математикалық модель негізінде зерттеу алаңдарында ауыр металдардың концентрациясын алдағы 1-2 жылға бөлу болжанды. Айта кету керек, болжамдар тек сыртқы факторларды қарастырмайтын математикалық модель негізінде жасалады [12].

Көпмүшелік функция бұл көпмүшеге баламалы алгебралық өрнек арқылы берілген функциялар [13]. Бұл өрнек көпмүшенің құрылымын ұстануы керек дегенді білдіреді:

$$f(x) = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + a_3 x^3 + \dots + a_n x^n$$

оның құрылымына байланысты біз өңдейтін көпмүшелік функцияның түрін анықтаймыз. Заттың әр түрі үшін уақытқа байланысты функциялар анықталды.

Біздің жағдайда эксперименттік деректер 2019, 2021 және 2023 жылдары алынды. Нәтижесінде жағалау аймағына арналған 5 заттың құрамы қарастырылды.

### Нәтижелер және талқылау

Жағалау аймағындағы ауыр металдардың құрамы. 1-суретте ЗА-1, ЗА-2, ЗА-3, ЗА-4 зерттеу алаңдарында топырақтағы мыс мөлшері көрсетілген. 2019 жылы ЗА-4-тен басқа барлық зерттеу алаңдарында мыс ШРК деңгейі асып түсті. ЗА-3-тегі Мыс мөлшері 2019 және

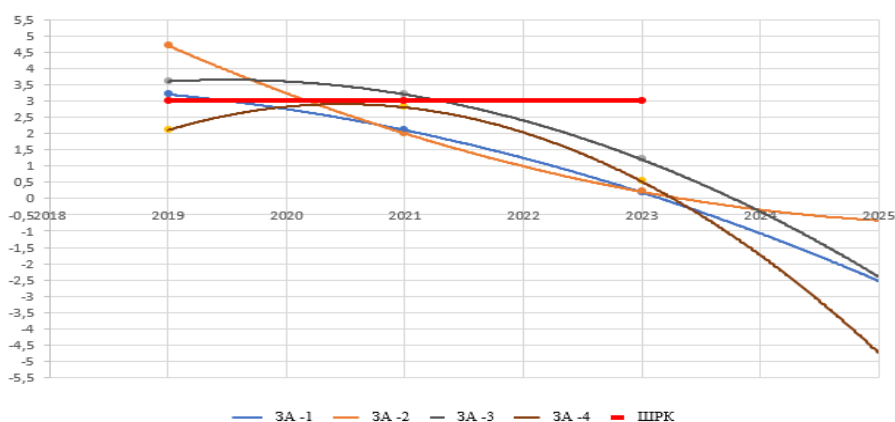
2021 жылдары ШРК-дан асады, ал 2023 жылы деңгей тез төмендейді және модельдің болжамы бойынша 2024 жылы деңгей нөлге жақындайды. ЗА-4 зерттеудің барлық жылдарында ШРК деңгейінен аспайды, сонымен қатар ЗА-1 және ЗА-2 сияқты модельдің болжамы бойынша нөлге ұмтылады. 1, 2, 3, 4 теңдеулер өзгерісті көрсетеді мыс мазмұны сәйкесінше әрбір жеке кәсіпкер үшін:

Мыс  
 ЗА-1  $y = -0.10124993x^2 + 408.5x - 412027$  (1)

ЗА-2  $y = 0.11374994x^2 - 460.9x + 466876$  (2)

ЗА-3  $y = -0.2x^2 + 807.8x - 815672.4$  (3)

ЗА-4  $y = -0.3725x^2 + 1505.2x - 1520552.216$  (4)



**Сурет 1 – Зерттеу алаңдарының топырақтарындағы мыс құрамы**

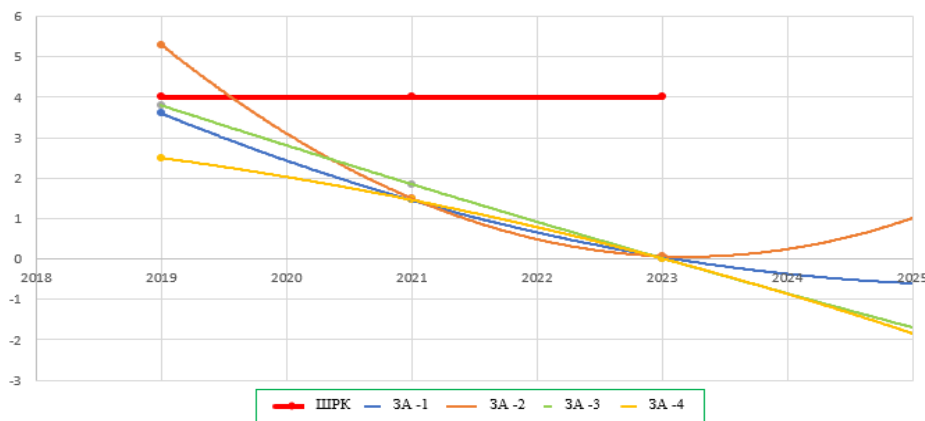
2-суретте зерттеу алаңдарының топырағындағы никельдің мөлшері көрсетілген. Зерттеу алаңдарындағы никель деңгейі 2019 жылы ЗА-2-ден асып түсті, ал ЗА-1 және ЗА-3 деңгейлері ДК шегіне жақын болды, бірақ аспады. ЗА-4 үшін зерттеулердің барлық жылдарында деңгей ШРК-дан аспады және ЗА-4-тен басқа қалғандары сияқты тез төмендейді. ЗА-4 2023 жылға дейінгі құлдырау үрдісін көрсетеді, бірақ математикалық модельдің болжамы бойынша никельдің мөлшері келесі жылдарға қалай өсетінін көрсетеді. 5, 6, 7, 8 теңдеулері өзгерісті көрсетеді никель мөлшері сәйкесінше әрбір ЗА үшін:

Никель  
 ЗА-1  $y = -0.09375258x^2 - 379.83x + 384711$  (5)

ЗА-2  $y = 0.296299840000001x^2 - 1198.8x + 1212556.78$  (6)

ЗА-3  $y = 0.014875072x^2 - 61.07x + 62668$  (7)

ЗА-4  $y = -0.050872509x^2 + 205.01x - 206538$  (8)



**Сурет 2 – Зерттеу алаңдарының топырақтарындағы никель мөлшері**

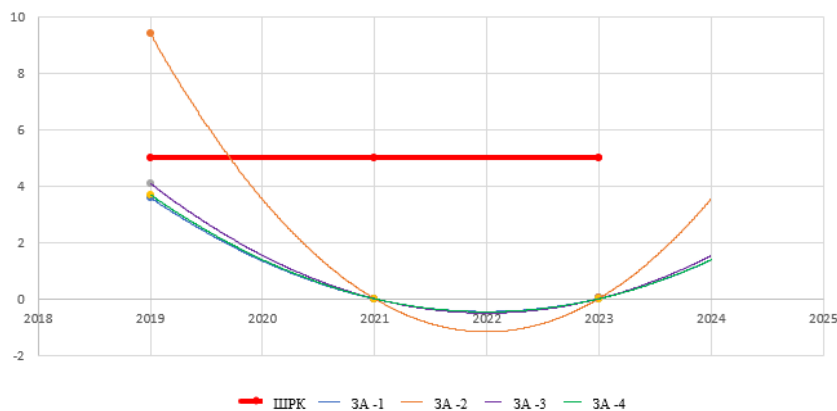
3-суретте зерттеу алаңдарының топырақтарындағы кадмий мөлшері көрсетілген. 2019 жылы 3А-2 үшін кадмий мөлшері ШРК-ның 2 есеге жуық асып кеткенін көрсетеді. Қалған зерттеу алаңдары үшін барлық уақытта бірдей. Модель сонымен қатар барлық зерттеу алаңдары үшін келесі жылға шоғырланудың жоғарылауын көрсетеді деп болжайды. 13, 14, 15, 16 теңдеулер өзгерісті көрсетеді кадмий мазмұны сәйкесінше әрбір жеке кәсіпкер үшін:

Кадмий  
 3А-1  $y = 0.4505x^2 - 1821.8x + 2 * 10^6$  (13)

3А-2  $y = 1.1743x^2 - 4748.7x + 5 * 10^6$  (14)

3А-3  $y = 0,5097x^2 - 2061.4x + 2 * 10^6$  (15)

3А-4  $y = 0,46x^2 - 1860,2x + 2 * 10^6$  (16)



**Сурет 3 – Зерттеу алаңдарының топырақтарындағы кадмий құрамы**

4-суретте зерттеу алаңдарының топырақтарындағы хром мөлшері көрсетілген. Басқа заттармен салыстырғанда хром барлық жылдары және барлық зерттеу алаңдарында ШРК деңгейінен аспайды. Болжам бойынша, 2023 жылы барлық көрсеткіштер нөлге тең болғанына қарамастан, құлдырау үрдісі де байқалады. 17, 18, 19, 20 теңдеулері өзгерісті көрсетеді хром мөлшері сәйкесінше әрбір ЗА үшін:

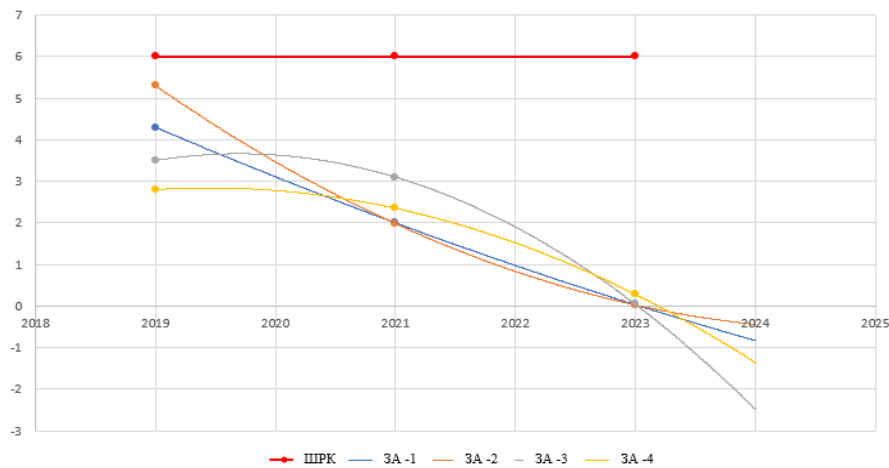
Хром

3A-1  $y = 0.0413x^2 - 167.8x + 170643$  (17)

3A-2  $y = 0.1706x^2 - 690.99x + 699575$  (18)

3A-3  $y = -0.3325x^2 + 1343.1x - 1 * 10^6$  (19)

3A-4  $y = -0.2025x^2 + 817.87x - 825824$  (20)



Сурет 4 – Зерттеу алаңдарының топырақтарындағы хром мөлшері, мг/кг

5-сурет зерттеу алаңдарындағы топырақтағы қорғасынның құрамын көрсетеді. Қорғасын деңгейі барлық зерттеу алаңдарында ШРК деңгейінен аспайды. Қорғасын үшін ШРК деңгейі 32-ге тең. Максималды мән 2019 жылды көрсетеді, мұнда ол 6-ға тең. Барлық зерттеу алаңдары бірдей трендті көрсетеді. Модельдің болжамы өсуді көрсетеді. 21, 22, 23, 24 теңдеулері өзгерісті көрсетеді қорғасын мөлшері сәйкесінше әрбір жеке кәсіпкер үшін:

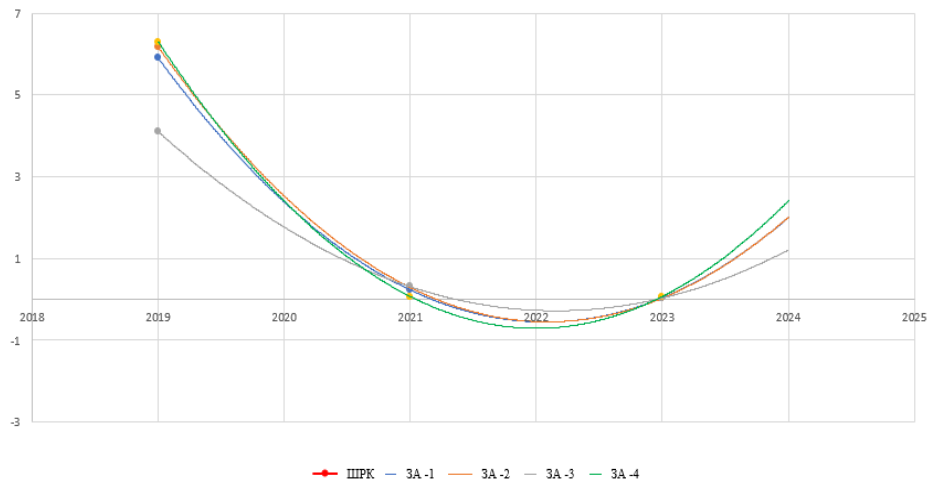
Қорғасын

3A-1  $y = 0.685x^2 - 2770.2x + 3 * 10^6$  (21)

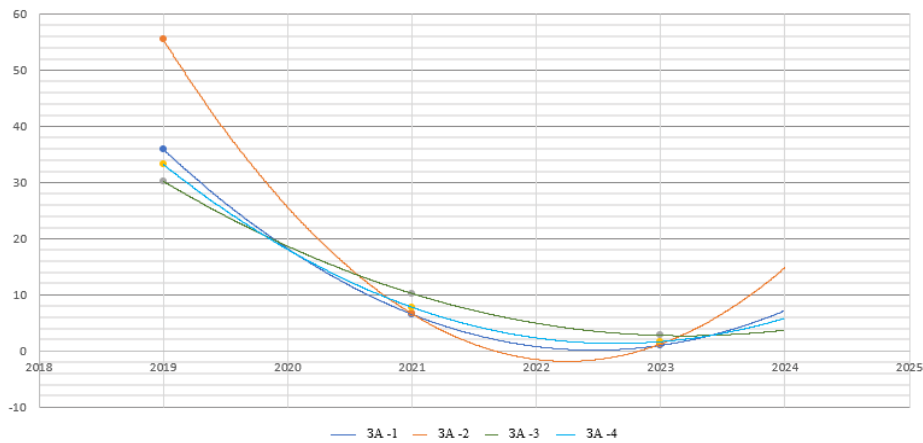
3A-2  $y = 0.7024x^2 - 2840.5x + 3 * 10^6$  (22)

3A-3  $y = 0.4389x^2 - 1775x + 2 * 10^6$  (23)

3A-4  $y = 0.7786x^2 - 3148,8x + 3 * 10^6$  (24)



**Сурет 5 – Зерттеу алаңдарының топырақтарындағы қорғасын құрамы**



**Сурет 6 – Зерттеу алаңының топырағындағы ауыр металдардың жалпы саны мг/кг**

6-суретте топырақтағы ауыр металдардың жалпы саны көрсетілген. 2019 жылы ауыр металдардың жалпы саны кейінгі жылдармен салыстырғанда барлық зерттеу нүктелерінде өсті. Модель кері өсуді болжайды топырақтағы ауыр металдардың мөлшері. 25, 26, 27, 28 теңдеулер сәйкесінше әрбір ЖК үшін ауыр металдардың жалпы құрамының өзгеруін көрсетеді:

$$3A-1 \quad y = 0,2404x^2 - 972,37x + 983153 \quad (25)$$

$$3A-2 \quad y = 0,3059x^2 - 1237,2x + 1 * 10^6 \quad (26)$$

$$3A-3 \quad y = 0,5008x^2 - 2025,4x + 2 * 10^6 \quad (27)$$

$$3A-4 \quad y = 0,2411x^2 - 975,24x + 986047 \quad (28)$$

2019 жылы ауыр металдардың жалпы саны кейінгі жылдармен салыстырғанда барлық зерттеу нүктелерінде өсті. Модель теңіз суындағы ауыр металдардың кері өсуін болжайды.

**Қортынды**

Каспий теңізінің жағалау аймағы мен теңіз бөлігінің топырақтарының ауыр металдармен және металлоидпен ластануын болжаудың математикалық моделі зерттеу

жұмысының эмпирикалық деректеріне негізделген. Көпмүшелік функциялар  $R = 1$  дәлдік коэффициентімен анықталды.

Зерттеу алаңдарындағы ауыр металдардың құрамы әртүрлі тенденцияларды көрсетті. Айта кету керек, хромның мөлшері азаяды, ал никель мен мыс және басқа металдардың мөлшері болашақта ұлғаю болжамын көрсетеді, бұл олардың үнемі мониторингі мен қадағалауын қажет етеді. тенденциялар қоршаған ортаға маңызды салдардың алдын алу үшін. Модельдеу алғаш рет келтірілген екінші ретті полиномдық функциялар дәлдік коэффициентімен  $R=1$ , топырақ пен теңіз суындағы ауыр металдардың құрамындағы мәліметтерден, олардың негізінде ауыр металдардың концентрациясының алдағы жылдарға таралу моделі болжанған.

### Қаржыландыру

*Бұл зерттеуді қазақстан Республикасы Ғылым және Жоғары Білім Министрлігінің Ғылым Комитеті қаржыландырды (Грант №). АР 19175679).*

## ӘДЕБИЕТТЕР

1. N.Janaliyeva, G. Kenzhetaev, L.Seidaliyeva. Environmental monitoring of the Caspian sea offshore and coastal areas within the suburbs of Aktau city. Environmental engineering and management journal – 2020. - Vol. 19. - No. 8. – P. 1419-1427.
2. Environmental monitoring of the North-Eastern Caspian Sea in development of oil fields // Findings of Agip KCO Environmental Surveys, 1993-2006. – Almaty. 2014. – Б. 28-45.
3. Ник Денисов зерттеу, ХФС-пен Каспий маңы аймағының мониторингі // Каспий маңы аймағының экологиялық жағдайы. - Волгоград. - 2018. – 25 б.
4. Закарин Э.А., Ким Д. К., Қоршаған ортаның апаттық ластануы кезінде биотаның зақымдану қаупінің Бқтималдық моделі // Сібір индустриалды математика журналы. - 2013. - Т. 16, № 3 (55). - Б. 95-1.
5. IPIECA/IMO/OGP, Sensitivity Mapping for Oil Spill Response. - 2012.- P. 17-28
6. Нури Голамреза. Каспий теңізі деңгейінің ауытқуының Каспийдің оңтүстік және батыс жағалауындағы ландшафттарға экологиялық-географиялық салдары: дис. Али канд. геогр. ғылымдар: 25.00.36. – б. 15-23.
7. Соколова Д. М. Каспий теңізінің экожүйесі және экологиялық жағдайы // Мәскеу облысының "Дубна университеті" Мемлекеттік бюджеттік жоғары білім беру мекемесі. – 2020. – б. 34-38.
8. Кенжетаев Г. Ж., Серікбаева А. К., Маккабаев П. Н., Сырлыбекқызы С., Джаналиева Н. Ш. Ақтау қаласы аумағындағы Каспий теңізінің теңіз бөлігінің экологиялық мониторингі // Хабаршы ҚР ҰҒА баяндамалары, Экологиялық серия. - Алматы. - 2020. - №1. - б.67-75.
9. Серікбаева А., Джаналиева Н., Сүлейменова Б., Нұрбаева Ф., м. Әбдібаттаева, Алтыбаева Ж. Assessment of the degree of soil contamination of the coastal zone of the Caspian Sea in the area of Aktau suburb// ҚазҰУ Хабаршысы, экологиялық серия, Алматы, 2023. -№4 (77).- 60-67 б.
10. М-MVI80-80-2008. Атомдық-эмиссиялық және атомдық-абсорбциялық спектрометрия әдістерімен Топырақ, Топырақ және түбі шөгінділерінің сынамаларындағы элементтердің массалық үлесін өлшеуді орындау әдістемесі.
11. Bashir Adamu, Kevin Tansey, Booker Ogutu. An investigation into the factors influencing the detectability of oil spills using spectral indices in an oilpolluted environment // International Journal of Remote Sensing. – 2016. – №37(10). – P. 2166-2185.  
DOI:10.1080/01431161.2016.1176271.
12. Экологиядағы математикалық модельдеу: дәрістер курсы/құрамы. Н. Е. Горковенко-Краснодар: КубГАУ, 2015. - 45 б.
13. А. М. Ярославцев, Ю. Л. Мешалкина, И. И. Васенев "Экологиялық жобалау және ҚОӘБ жүргізу кезінде математикалық модельдеу және болжау" оқу. жәрдемақы / А. М. Ярославцев, Ю. Л. Мешалкина, и. И. Васенев: 2015. – 106 б.

## ПРОГНОЗ ДИНАМИКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИБРЕЖНОЙ ЧАСТИ КАСПИЙСКОГО МОРЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Джаналиева Н.Ш., Баймукашева Ш.Х.

Университет Есенова, Актау, Казахстан

e-mail: nurgul.janaliyeva@yu.edu.kz, e-mail: shynar.baimukasheva@yu.edu.kz

**Аннотация.** Целью данного исследования является изучение динамики загрязнения тяжелыми металлами прибрежной зоны Каспийского моря с использованием математической модели на основе эмпирических данных для прогнозирования экологической ситуации. Проведены физико-химические анализы почв, построены математические модели на основе эмпирических данных прибрежной зоны. Для каждого типа вещества были определены функции, зависящие от времени. В нашем случае экспериментальные данные для сравнения тренда были получены в 2019, 2021 и 2023 годах. Проведено моделирование полиномиальных функций второго порядка с коэффициентом точности  $R=1$ , на основе которых прогнозируется модель распределения концентраций тяжелых металлов на ближайшие годы из данных о составе тяжелых металлов в грунте. Содержание тяжелых металлов в исследовательских центрах показало различные тенденции. Следует отметить, что содержание хрома уменьшается, а содержание никеля, меди и других металлов указывает на прогноз увеличения в будущем, что требует постоянного мониторинга и наблюдения за ними. Тенденции для предотвращения серьезных последствий для окружающей среды. Результаты позволяют определить тенденции использования прибрежных зон и водоемов, которые полезны для разработки рекомендаций по устойчивому управлению ресурсами.

**Ключевые слова:** Каспийское море, математическая модель, тяжелые металлы, экологический прогноз.

## FORECAST OF POLLUTION DYNAMICS IN THE COASTAL PART OF THE CASPIAN SEA USING MATHEMATICAL MODELING

Nurgul Janaliyeva, Shynar Baimukasheva

Yessenov University, Aktau, Kazakhstan

e-mail: nurgul.janaliyeva@yu.edu.kz, e-mail: shynar.baimukasheva@yu.edu.kz

**Annotation.** The purpose of this study is to study the dynamics of heavy metal pollution in the coastal zone of the Caspian Sea using a mathematical model based on empirical data to predict the environmental situation. Physico-chemical analyses of soils have been carried out, mathematical models based on empirical data from the coastal zone have been constructed. Time-dependent functions were determined for each type of substance. In our case, experimental data for comparing the trend were obtained in 2019, 2021 and 2023. A simulation of second-order polynomial functions with an accuracy factor of  $R=1$  has been carried out, on the basis of which a model of the distribution of heavy metal concentrations for the coming years is predicted from data on the composition of heavy metals in the soil. The content of heavy metals in research centers has shown various trends. It should be noted that the chromium content is decreasing, and the content of nickel, copper and other metals indicates a forecast increase in the future, which requires constant monitoring and monitoring. Trends to prevent serious environmental impacts. The results allow us to identify trends in the use of coastal zones and reservoirs, which are useful for developing recommendations on sustainable resource management.

**Keywords:** Caspian Sea, mathematical model, heavy metals, environmental forecast.