

А.Б. Мырзабаев^{1*}, Д.Л. Голованов², Я. Урбаняк³, С.А. Кушербаев¹, М.Т. Бодеев¹

¹Академик Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды университеті, Қазақстан

²М.В. Ломоносов атындағы Мәскеу мемлекеттік университеті, Ресей

³Жаратылыстану және қоршаған орта университеттері, Вроцлав, Польша

*Хат-хабарларға арналған автор: mba_57@mail.ru

Техногендік зиянды қалдықтарының топыраққа әсерін рентгенофлуоресценттік әдіспен талдау

Техногенді жүктеменің жоғарылауына қарай жылдан-жылға топырақ өсімдіктерді әртүрлі қоректі заттармен, ауамен, сумен, жылумен, биологиялық және физикалық-химиялық ортамен қамтамасыз ететін қабілеттілігінен айырылуда. Мұның себебі топырақ құрамындағы ауыр металл қосылыстарының деңгейі артып, топырақтың тозуына алып келді. Экожүйеде Pb, Cr, As сияқты ауыр металдардың болуы, тіпті өте төмен тұтыну деңгейінде де адамдар мен биожүйелер үшін улы болып табылады. Қоршаған ортаның ауыр металдармен антропогендік ластануы (өнеркәсіп, кен орындарын игеру мен кен балқыту, көлік, ауыл шаруашылығы қалдығы) уақыт өте келе артып жатыр. Қазіргі кезде топырақ жамылғысының ауыр металдармен ластануының биосфераға әсері жиі зерттелуде. Бұл табиғатта ыдырамайтын және ұзақ сақталатын қауіпті қалдықтардың көп жиналуы әсіресе ірі өнеркәсіптік-урбанизацияланған аймақтарда байқалуда. Ауыр металдарға жататын химиялық элементтерді үш топқа бөліп қарастыруға болады. Қоршаған ортаның ауыр металдармен антропогендік ластануын анықтау мақсатында Жезқазған қаласы және оған іргелес аймақтардың топырағының әртүрлі горизонттарынан топырақ сынама-сы алынды. Алынған сынамалардың химиялық құрамын анықтау үшін рентгенофлуоресценттік әдіспен (XRF) зерттеу жасалған. Талдау жұмыстары Ломоносов атындағы Мәскеу мемлекеттік университетінің ландшафт геохимиясы және топырақ географиясы кафедрасының зертханасында жүргізілді. Жезқазған қаласы және оған іргелес аймақтардың топырақ құрамындағы I (As, Zn, Cd, Pb, Hg, Se), II (Co, Ni, Mo, Cu, Cr), III (Ba, V, W, Mn, Sr), қауіптілік деңгейіндегі химиялық элементтердің сандық құрамы, мг/кг бойынша талдау жасалды.

Кілт сөздер: топырақ, рентгенофлуоресценттік талдау (РФТ), ауыр металдар, эрозия, қауіптілік дәрежесі, құнарлылық.

Kipicne

Қазақстанның қазіргі таңдағы топырақ жүйесінің жоғары қарқындылықпен тозуы топырақтағы биологиялық, физикалық-химиялық және өсімдіктерде жүретін биохимиялық үдерістерді басқаруға болатын биологиялық жағынан қауіпсіз технологияларды жасауды талап етеді.

Биосфераның басқа нысандарымен салыстырғанда топырақ қабаты өндірістік, ауылшаруашылық қалдықтары мен әртүрлі ластағыш заттардың ағынын өзіне қабылдайтын орта. Техногендік қысымның қарқынды өсуіне байланысты, топырақ жүйесі өзінің байланыстырушы және залалсыздандырушы сынды ең маңызды қасиеттерін жоғалта бастады. Бұлай айтудың негізгі себебі — топырақ жүйесіндегі биологиялық өнімділікке қарағанда, ластаушы үдерістердің басым болуы.

Осының әсерінен топырақ эрозияға ұшырап, жыл өткен сайын түрлі дақылдардың өнімділігі әлемдік деңгейде күрт төмендеуде, осыған орай қоректік элементтердің басты көзі болып саналатын гумусты қосылыстардың қоры кемуде. Тұтас алғанда, қазіргі кезде табиғатты қорғау шараларының іске аспауынан жердің тозуы мен топырақтың табиғи құнарлылығының төмендеуі қарқынды жоғары болуда [1].

Топырақтың ең басты қасиеті мен құнды қызметі — оның құнарлылығы. Сәйкесінше, антропогендік әсер ету жағдайларында топырақтың өз құнарлылығын қамтамасыз ететін физикалық, химиялық, биологиялық қасиеттерінің сақталуын бақылау — топырақтың экологиялық мониторингісінің ең маңызды өзіндік ерекше міндеттерінің бірі.

Топырақтың агрохимиялық қасиеттеріне оның құрамындағы қара шірік, қоректік заттардың жалпы (N, P₂O₅, K₂O) және жылжымалы түрінің мөлшері, топырақ ерітіндісінің реакциясы (рН), сіңіру сыйымдылығы, негізбен қанығу дәрежесі, механикалық құрамы жатады [2].

Қазіргі кезеңде антропогендік факторлардың әсерінен қоршаған ортаға ауырметалдардың түсуі ерекше қауіп төндіреді. Топырақтың белгілі катиондық сіңіру қабілетіне байланысты ауыр метал-

дардың ұзақ уақыт бойы аз мөлшерде тұрақты түсуі олардың айтарлықтай ластануына әкелуі мүмкін. Топырақтың ауыр металдармен ластану жолдары әртүрлі, бірақ олардың ішіндегі ең бастысы — техногендік қалдықтардың атмосфера арқылы таралуы.

Атмосфера мен қоршаған ортаның техногендік ластануына негізінен жылу электр станциялары (27 %), қара және түсті металлургия кәсіпорындары (24,3–10,5 % аралығында), мұнай-газ саласы (15,5 % өндіру мен қайта өңдеу кезеңінде), көлік (13,1 %), құрылыс материалдары мен өндірістік кәсіпорындар (8,1 %), сонымен қатар химиялық өндіріс кәсіпорындары (1,3 %) құрайды. Ауыр металдардың көп бөлігі техногендік қалдық заттардан салыстырмалы түрде аз радиуста шаң түрінде топырақ жамылғысына түседі, құрғақ шаң-тозаң ретінде 75–95 %; 15–20 % атмосфералық жауын-шашын арқылы түседі.

Топыраққа атмосферадан түсетін ауыр металдардың антропогендік көздерінен басқа, урбанизацияланған аудандардағы ағынды сулардан, өндірістік қалдықтар мен тұрмыстық қалдықтардан келуі мүмкін [3].

Топырақ жамылғысы табиғатты қалыптастыруда негізгі рөлді атқарады. Топырақтың әртүрлі ластаушы заттарды сіңіру және ұстап тұруы, оларды химиялық және физикалық жолдармен байланыстыру қабілеті бұл қосылыстардың табиғи суларда, өсімдіктерде және одан әрі жануарлар мен адам организмінде қоректік тізбектерде шоғырлануына жол бермейді.

Қоршаған ортаның ауыр металдармен антропогендік ластануы (өнеркәсіп, кен орындарын игеру мен кен балқыту, көлік, ауыл шаруашылығы өнімдері) уақыт өте келе артып жатыр [4]. Қазіргі кезде топырақ жамылғысының қауіпті ластануы және соның салдарынан адам денсаулығына әсері жиі тіркелуде. Бұл табиғатта бұзылмайтын және ұзақ сақталатын қауіпті қалдықтардың әсіресе ірі өнеркәсіптік-урбанизацияланған аумақтарда көп жиналуы байқалуда. Экожүйеде Pb, Cr, As сияқты ауыр металдардың болуы, тіпті өте төмен тұтыну деңгейінде де адамдар мен биожүйелер үшін улы болып табылады. Топырақ ландшафтқа техногендік жүктеменің дәрежесі мен сипатын бағалау үшін ең басты ақпараттық нысан болып табылады, бұл оларды зерттеуге басымдылық береді. Ландшафттың техногендік жүктемесінің дәрежесі мен сипатын бағалауда топырақтың маңызы зор, сондықтан топырақтың құрамын зерттеу көп мүмкіндіктерге жол ашады (1 кесте).

1 - кесте

Қауіптілік деңгейіне байланысты ауыр металдардың жіктелуі

Қауіптілік деңгейі	Химиялық зат
I	Қорғасын, мышьяк, кадмий, сынап, селен, мырыш
II	Мыс, кобальт, никель, молибден, хром
III	Барий, ванадий, вольфрам, марганец, стронций

Ауыр металдар арқылы антропогендік ластану жолдары көп және әртүрлі. Олардың жергілікті ластануы аймақтардың токсиканттардың жоғары концентрациясы қалыптасуымен анықталады. Ауыр металдардың қоршаған ортаға түсуі біркелкі болмайды, көбінесе жаппай қалдықтар түрінде кездеседі және тиісті антропогендік нысанның жұмыс істеуі аяқталғаннан кейін тоқтатылады. Ауыр металдардың неғұрлым ірі көздері автокөлік, ЖЭО, қазандықтар және отын жағумен жұмыс істейтін басқа да энергетикалық объектілер болып табылады (1-кесте). Көмір, мазут, дизель отыны, бензин құрамында ауыр металдардың (қорғасын, бериллий, ванадий, никель, сынап, мышьяк және т.б.) көп мөлшері бар, олар отынды жағудың жоғары температуралық жағдайында газ тәрізді қосылыста ал аз дәрежеде қатты аэрозольдер түзеді. Осының әсерінен атмосферада, содан кейін жер бетінде ластанудың кең өрістері пайда болады [5].

Ауыр металдардың жалпы антропогендік эмиссиясындағы энергияның үлесі өте маңызды. Металлургиялық зауыттарының айналасында әртүрлі табиғи ортада ауыр металдардың көп мөлшері бар кең аномалды аймақтар пайда болады. Атмосфераның жоғары қабаттарына ауыр металдардың көп мөлшерін шығарғанда трансшекаралық ауысуларға байланысты көрші аймақтар үшін қауіп төндіреді.

Материалдар мен әдістер

Қоршаған ортаның ауыр металдармен антропогендік ластануын анықтау мақсатында Жезқазған қаласы және оған іргелес аймақтардың топырағының әртүрлі горизонттынан топырақ сынамалары

алынды. Алынған сынамалардың химиялық құрамын анықтау үшін рентгенофлуоресценттік әдіспен талдау жасадық. Талдау жұмыстары Ломоносов атындағы Мәскеу мемлекеттік университетінің ландшафттар геохимиясы және топырақ географиясы кафедрасының зертханасында жүргізілді. Топырақтың элементтік құрамын анықтау үшін көптеген аналитикалық әдістер, соның ішінде AAS, ISP-MS, химиялық талдау әдістері қолданылады. Бірақ XRF сияқты спектроскопиялық әдістер басқа әдістермен салыстырғанда үлкен артықшылықтарға ие [6].

Топырақ сынамалары арнайы герметикалық полиэтилен қалталарына салынды. Әрбір сынамаға арнайы қайдан алынғандығы, күні мен уақыты жазылған белгілер жапсырылды. Алынған топырақ сынамалары зертханада толық кептірілді. Кептіру үшін үлкен қағазға жұқа етіп жаямыз, арасындағы тамырлар мен өсімдік қалдықтарын, ұсақ тастар мен қоқыстарды алып тастаймыз. Күн сәулесі тікелей түспейтін, құрғақ қышқылдар мен газдардың иісі жоқ бөлмеде үш күн қалдырамыз. Негізінен сынамаларды арнайы кептіру камералары мен термостатта $t = 40-45\text{ }^{\circ}\text{C}$ температурада кептіруге болады. Кептірілген топырақты рентгенофлуоресцентті талдау жасау үшін арнайы хром ыдыста майдалап, 1мм електен өткіземіз. Електен өтпеген ірі топырақты қайта майдалап өткізуге болады [7]. Дайын болған сынамаларды арнайы АҚШ-та шығарылған Olympus Innov-X Delta Professional — рентгенофлуоресцентті анализатор құрылғысы арқылы талдаймыз.

Нәтижелер

РФА әдісі арқылы Жезқазған қаласы және оған іргелес аймақтардың топырақ құрамындағы химиялық элементтердің қауіптілік деңгейін анықтадық. Алынған нәтижелерді 2, 3 және 4 кестелерден көруге болады.

2 - кесте

Жезқазған қаласы және оған іргелес аймақтардың топырақ құрамындағы I ші қауіптілік деңгейіндегі химиялық элементтердің сандық құрамы, мг/кг

Сынама алынған аймақтар	Химиялық элементтер					
	As	Zn	Cd	Pb	Hg	Se
Техногендік қалдықтардың үйіндісі, 0–2 см	18,6	170	-	243	-	167
Техногендік қалдықтардың үйіндісі, 2–8 см	21,7	142	-	305	-	210
Техногендік қалдықтардың үйіндісі, 10–40 см	15,9	114	-	196	-	182
Техногендік қалдықтардың үйіндісі, 50–80 см	19,1	138	-	214	-	146
Пиритті қосылыстардың қалдықтары, 0–10 см	35,6	501	-	138	-	286
Пиритті қосылыстардың қалдықтары, 10–20 см	19,4	295	-	140	-	240
Ботаникалық бақ (Суарылған аймақ)	21,7	224	-	80	-	288
Ботаникалық бақ (Суарылмаған аймақ)	16,2	952	-	15	-	166

3 - кесте

Жезқазған қаласы және оған іргелес аймақтардың топырақ құрамындағы II қауіптілік деңгейіндегі химиялық элементтердің сандық құрамы, мг/кг

Сынамалар алынған аймақтар	Химиялық элементтер				
	Co	Ni	Mo	Cu	Cr
Техногендік қалдықтардың үйіндісі, 0–2 см	-	31	-	1016	31
Техногендік қалдықтардың үйіндісі, 2–8 см	-	30	-	1546	30
Техногендік қалдықтардың үйіндісі, 10–40 см	10	21	-	1877	21
Техногендік қалдықтардың үйіндісі, 50–80 см	-	32	-	1331	32
Пиритті қосылыстардың қалдықтары, 0–10см	20	19	-	302	19
Пиритті қосылыстардың қалдықтары, 10–20 см	18	37	-	470	37
Ботаникалық бақ (Суарылған аймақ)	10	45	-	174	45
Ботаникалық бақ (Суарылмаған аймақ)	12,6	34	-	30	34

**Жезқазған қаласы және оған іргелес аймақтардың топырақ құрамындағы
III қауіптілік деңгейіндегі химиялық элементтердің сандық құрамы, мг/кг**

Сынама алынған аймақтар	Химиялық элементтер				
	Va	V	W	Mn	Sr
Техногендік қалдықтардың үйіндісі, 0–2 см	-	62	15	1016	170
Техногендік қалдықтардың үйіндісі, 2–8 см	-	65	14	1546	142
Техногендік қалдықтардың үйіндісі, 10–40 см	-	55	11	1877	114
Техногендік қалдықтардың үйіндісі, 50–80 см	-	71	8	1331	138
Пиритті қосылыстардың қалдықтары, 0–10 см	-	98	-	302	501
Пиритті қосылыстардың қалдықтары, 10–20 см	-	66	12	470	295
Ботаникалық бақ (Суарылған аймақ)	-	76	16	174	224
Ботаникалық бақ (Суарылмаған аймақ)	-	39	17	30	952

Екінші кестеде алынған мәліметтерден көрініп тұрғандай I-ші дәрежелі қауіптілік деңгейі жоғары химиялық элементтер (As, Zn, Pb, Se) сынама алған аймақтың барлығында байқалды. Мырыштың қалыптан тыс жоғары көрсеткіші ботаникалық бақтың суармалы топырағында 952 мг/кг (100 мг/кг ШРҚ) кездесті. Осындай қалыптан тыс жоғары болу себебі өнеркәсіп орындарының қалдық суларымен суарғанда су арқылы да келуі мүмкін. Техногендік қалдықтардың үйіндісінде қорғасынның (Pb) мөлшері ішекті рұқсаттық қанықпадан 10 еседен артық жоғары (ШРҚ 20 мг/кг). As көрсеткіштері де мөлшері шекті рұқсаттық қанықпадан 10 еседен артық жоғары (ШРҚ 2 мг / кг). Сынама алынған аймақтардың барлығында осы көрсеткіштер жоғары [8–9].

Үшінші кестеде қауіптілік деңгейінің жоғарылығы бойынша екінші дәрежелі химиялық элементтердің ішінде Мо-нен басқалары сынамалар алынған барлық аймақта кездесті. Cr-ның ең жоғарғы көрсеткіші ботаникалық бақтың суарылмаған топырағында 45 мг/кг кездесті (ШРҚ 6 мг/кг). Мыстың ең жоғары көрсеткіштері техногендік қалдықтар үйіндісінің барлық қабаттарында өте жоғары деңгейде болды (ШРҚ 72 мг/кг). Ni (ШРҚ 7–14 мг/кг) қалыпты жағдайдағы көрсеткіштерден 1,5–2 есе жоғары.

Ал төртінші кестеде техногендік қалдықтар үйіндісінің топырақ құрамында марганецтің кездесуі қалыпты жағдайдан аспады (ПДК-1500 мг/кг). Бірақ Mn-тің кездесуінің ең төменгі көрсеткіші ботаникалық бақтың суармалы топырағында кездесті. Барлық зерттелген аймақтар бойынша V элементінің (Ванадий) кездесуі шектік рұқсаттық қанықпадан аспағандығы байқалады.

Осы анықталғандар негізінде өндіріс орындарының қалдықтарының салдарынан суға, топыраққа техногендік қысымның артқандығын атап кеткен жөн.

Қорытынды

Рентгенофлуоресценттік талдау әдісі арқылы топырақта кездесетін зиянды заттарын, мысалы — мышьяк, кадмий, сынап, қорғасын, селен, мырыш, кобальт, никель, молибден, мыс, хром, барий, ванадий, вольфрам, марганец сияқты қауіптілік деңгейі әртүрлі химиялық элементтердің қанықпасының мөлшерін тез арада анықтауға мүмкіндік береді.

Жезқазған қаласы және оның іргелес аймақтарынан алынған топырақ сынамаларының құрамындағы зиянды заттардың қауіптілік дәрежесіне байланысты химиялық элементтердің біраз түрлері айтарлықтай жоғары деңгейді көрсетті. Олар: I қауіптілік деңгейіндегі химиялық элементтер мырыш пен қорғасынның қалыпты жағдайымен салыстырғанда 10 есеге артып кеткен. II қауіптілік деңгейіндегі химиялық элементтер мыс пен хром қалыпты жағдайдағы көрсеткіштен әлде қайда жоғары. III қауіптілік деңгейіндегі химиялық элементтер марганец пен ванадийдің рентгенофлуоресценттік талдау әдісі арқылы алған көрсеткіштері қалыпты жағдайда.

Әдебиеттер тізімі

1 Байхамурова М.О. Түркістан өңірінің топырағына мониторинг / М.О. Байхамурова, Г.Д. Нурбекова // Қазақстан-Британ техникалық университетінің хабаршысы — 2020. — № 3 (54). — Б. 34.

- 2 Мотузова Г.В. Топырақтың экологиялық мониторингі: оқулық / Г.В. Мотузова, О.С. Безуглова, А.Т. Нұркенова, А.Қ. Әуелбекова. — Алматы: Экономика, 2013. — 252 б.
- 3 Рязанов С.С. Пространственно-статистический анализ содержания и подвижности тяжелых металлов в гумусовых горизонтах почв Республики Татарстан / С.С. Рязанов. — Казань, 2019. — 12 с.
- 4 Лосева Л.П. Перспектива применения метода рентгенофлуоресцентного анализа для оценки загрязнения почв химическими элементами различного класса опасности (на примере г. Гродно и прилегающих территорий) / Л.П. Лосева, С.Н. Анучин, Т.К. Крупская, С.С. Ануфрик // Вестн. Гроднен. гос. ун-та им. Я. Купалы. Сер. 5. Экономика, социология, биология. — 2018. — Т. 8, № 1. — С. 154–162.
- 5 Экологические проблемы западного региона Беларуси: сб. науч. ст. — Гродно: Гроднен. гос. ун-т им. Я. Купалы, 2007. — 374 с.
- 6 Состояние природной среды Беларуси // Экологический бюллетень. — 2008. — Минск: Минсктиппроект, 2008. — 376 с.
- 7 Комиссаренков А.А. Рентгенофлуоресцентный метод анализа: метод. указ. к лабораторным работам / А.А. Комиссаренков, С.Б. Андреев. — СПб.: ГОУВПО СПбГТУРП, 2008. — 36 с.
- 8 Нормативы предельно допустимых концентраций валового содержания ртути и мышьяка в землях (включая почвы), расположенных в границах населенных пунктов, для различных видов территориальных зон по преимущественному функциональному использованию территорий населенных пунктов. — Минск, 2017. — 36 с.
- 9 Водяницкий Ю.Н. Тяжелые металлы и металлоиды в почвах / Ю.Н. Водяницкий // Почвоведение. — 2012. — № 3. — С. 368–375.

А.Б. Мырзабаев, Д.Л. Голованов, Я. Урбаняк, С.А. Күшербаев, М.Т. Бодеев

Анализ влияния техногенных вредных отходов на почву рентгенофлуоресцентным методом

По мере увеличения техногенной нагрузки из года в год почва утрачивает способность обеспечивать растения различными питательными веществами, воздухом, водой, теплом, биологической и физико-химической средой. Причиной служит увеличение в почве соединений тяжелых металлов, что приводит к ее деградации. Наличие в экосистеме тяжелых металлов, таких как Pb, Cr, As, является токсичным для человека и биосистем даже при низкой концентрации. Антропогенное загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами (промышленность, разработка месторождений и выплавка руд, транспорт, сельское хозяйство) со временем увеличивается. В настоящее время все чаще изучается загрязнение почвенного покрова тяжелыми металлами и его влияние на биосферу. Особенно это наблюдается в крупных промышленно-урбанизированных регионах, где есть большое скопление опасных отходов, которые в природе не разлагаются и долго хранятся. С целью выявления антропогенного загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами были взяты пробы с различных горизонтов почв города Жезказгана и прилегающих к нему регионов. Методом рентгенофлуоресценции были определены химические составы взятых проб (XRF). Аналитические работы проводились в лаборатории кафедры ландшафтной геохимии и географии почв МГУ им.М.В. Ломоносова. Нами был проведен анализ количественного содержания химических элементов в почвах г. Жезказгана и прилегающих к нему зон I (As, Zn, Cd, Pb, Hg, Se), II (Co, Ni, Mo, Cu, Cr), III (Ba, V, W, Mn, Sr) уровней опасности.

Ключевые слова: почвы, рентгенофлуоресцентный анализ (РФА), тяжелые металлы, эрозия, степень опасности, плодородие.

A.B. Myrzabaev, D.L. Golovanov, Ya. Urbanyak, S.A. Kusherbayev, M.T. Bodeev

Analysis of the impact of man-made harmful waste on the soil by X-ray fluorescence method

As the technogenic load increases from year to year, the soil loses its ability to provide plants with various nutrients, air, water, heat, biological and physico-chemical environment. The reason is an increase in heavy metal compounds in the soil, which leads to its degradation. The presence of heavy metals in the ecosystem, such as Pb, Cr, As, is toxic to humans and biosystems even at low concentrations. Anthropogenic pollution of the environment by heavy metals (industry, mining and smelting of ores, transport, agriculture) increases over time. Currently, soil contamination with heavy metals and its impact on the biosphere are increasingly being studied. This is especially observed in large industrially urbanized regions, where there is a large accumulation of hazardous waste that does not decompose in nature and is stored for a long time. To identify anthropogenic pollution of the environment with heavy metals, samples were taken from various soil horizons of the city of Zhezkazgan and adjacent regions. The chemical compositions of the taken samples were determined by X-ray fluorescence. Analytical work was carried out in the laboratory of the Department of

Landscape Geochemistry and Soil Geography of Lomonosov Moscow State University. We analyzed the quantitative content of chemical elements in the soils of Zhezkazgan and adjacent zones I (As, Zn, Cd, Pb, Hg, Se), II (Co, Ni, Mo, Cu, Cr), III (Ba, V, W, Mn, Sr) hazard levels.

Keywords: soils, X-ray fluorescence analysis (XFA), heavy metals, erosion, degree of danger, fertility.

References

- 1 Baikhamurova, M.O., & Nurbekova, G.D. (2020). Turkistan oniriyin topyragyna monitoring [Soil monitoring of the Turkistan region]. *Qazaqstan–Britan tekhnikalıyq universitetinin khabarshysy — Herald of the Kazakh-British University*, 3 (54); 34 [in Kazakh].
- 2 Motuzova, G.V., Bezuglova, O.S., Nurkenova, A.T., & Auelbekova, A.K. (2013). *Topyraqtin ekologialıyq monitoringi: oqulyq [Environmental monitoring of soils: textbook]*. Akmaty: Economics [in Kazakh].
- 3 Riazanov, S.S. (2019). Prostranstvenno-statisticheskii analiz sodержaniia i podvizhnosti tiazhelykh metallov v gumusovykh gorizontakh pochv Respubliki Tatarstan [Spatial and statistical analysis of heavy metals content and mobility in humus horizons of soils of the Republic of Tatarstan]. Kazan [in Russian].
- 4 Loseva, L.P., Anuchin, S.N., Krupskaya, T.K., & Anufrik, S.S. (2018). Perspektiva primeniia metoda rentgenofluorestsennogo analiza dlia otsenki zagriazneniia pochv khimicheskimi elementami razlichnogo klassa opasnosti (na primere g. Grodno i priliegaiushchikh territorii) [The prospect of using the X-ray fluorescence analysis method to assess soil contamination with chemical elements of different hazard classes (on the example of Grodno and adjacent territories)] // *Vestnik Grodnenskogo gosudarstvennogo universisteta imeni Ya. Kupaly. Seriya 5. Ekonomika, sotsiologiya, biologiya — Bulletin of Grodno State University named after Ia. Kupala. Series 5. Economics, sociology, biology*, 8 (1); 154–162 [in Russian].
- 5 (2007). *Ekologicheskie problemy zapadnogo regiona Belarusi: sbornik nauchnykh statei [Environmental problems of western region of Belorussia. Book of articles]*. Grodno: *Grodnenskii gosudarstvennyi universistet imeni Ya. Kupaly* [in Russian].
- 6 (2008). *Sostoianie prirodnoi sredy Belarusi. Ekologicheskii biulleten [State of the natural environment of Belarus. Environmental Bulletin 2008]*. Minsk: Minskipproekt [in Russian].
- 7 Komissarenkov, A.A., & Andreev, S.B. (2008). *Rentgenofluorestsentnyi metod analiza: metodichskie ukazaniia k laboratornym rabotam [X-ray fluorescence analysis method: method. instructions for laboratory work]*. Saint Petersburg: Sankt-Peterburgskii gosudarstvennyi universitet rastitelnykh polimerov [in Russian].
- 8 (2017). *Normativy predelno dopustimykh kontsentratsii valovogo sodержaniia rtuti i myshiaka v zemliakh (vkluchaia pochvy), raspolozhennykh v granitsakh naseleennykh punktov, dlia razlichnykh vidov territorialnykh zon po preimushchestvennomu funktsionalnomu ispolzovaniiu territorii naseleennykh punktov [Standards of maximum permissible concentrations of gross mercury and arsenic content in lands (including soils) located within the boundaries of settlements, for various types of territorial zones according to the predominant functional use of territories of settlements]*. Minsk [in Russian].
- 9 Vodianskii, Yu.N. (2012). *Tiazhelye metally i metalloidy v pochvakh [Heavy metals and metalloids in soils]*. *Pochvovedenie — Soil Science*, 3; 368–375 [in Russian].