

М.С. Құрманова<sup>1,2\*</sup>, А.С. Мадиебеков<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан;

<sup>2</sup>«Қазгидромет» РМҚ, Алматы, Қазақстан

<sup>3</sup>«География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан

\*Хат-хабарларға арналған автор: [meruert.kurmanova@mail.ru](mailto:meruert.kurmanova@mail.ru)

## Атмосфералық жауын-шашын минерализациясының Қазақстан территориясы бойынша бақыланған өзгерісі

Мақалада Қазақстан Республикасының территориясында атмосфералық жауын-шашын минерализациясын зерттеудің негізгі нәтижелері келтірілген. Бірқатар көлдер аймағында жауын-шашын минерализациясының күрт төмендеуі мен жоғарылау тенденциясы бар екендігі анықталды. Жауын-шашын минерализациясының статистикалық маңызды өсу тренді Шалқар көлі (Ақтөбе облысы), Марқакөл көлі маңындарында бақыланса, төмендеу тренді Балқаш (батыс бөлігі), Билікөл, Үлкен Шабакты, Кіші Шабакты және Бурабай көлдері аумағында анықталды. Жауын-шашын жер үсті және жер асты суларының пайда болуының негізгі факторы болып табылады. Қазақстан территориясының аумағының үлкендігіне, орографиялық және климаттық жағдайына байланысты территория аумағында жауын-шашынның әркелкі таралуы бақыланады. Еліміздің едәуір бөлігі, таулы аймақтарды қоспағанда, атмосфералық жауын-шашынның тапшылығын сезінуде. Геохимия ғылымында атмосфералық жауын-шашын химиялық құрамын зерттеу атмосфера–жер беті–теңіз арасындағы тұздық алмасуды сипаттайды. Дүниежүзілік метеорологиялық ұйым (ДМҰ) бағдарламасы бойынша жауын–шашын сынамасынан: аниондар — сульфаттар, хлоридтер, нитраттар; катиондар — аммоний, натрий, калий, кальций, магний; ауыр металдар — қорғасын, мыс, кадмий, мышьяк, қышқылдық және үлесті электрөткізгіштік анықталады. Атмосфералық жауын-шашын химиялық құрамындағы әртүрлі коспаларды білу агрохимиктер, гидрохимиктер, гидрогеологтар мен геохимиктер үшін табиғи және жер үсті суларын, топырақтың беткі қабатын зерттеу, алдын алу шараларын жүргізу үшін, сондай-ақ, санитарлық-гигиеналық мақсаттарға, өндірістік аудандардағы ауа ластану деңгейін анықтау үшін де өте маңызды.

*Кілт сөздер:* атмосфералық жауын шашын, ион суммасы, тренд, көл, сынама, статистикалық маңыздылық, гидрохимия, гидрология.

### *Kіріспе*

Жауын-шашын жер бетіне жаңбыр, қар, бұршақ, шық және қылау түрінде түседі. Олар ауадағы конденсацияланған су буын білдіреді. Атмосфералық су химиялық тұрғыдан нашар зерттелген.

Атмосфералық жауын-шашынның химиялық құрамы бұлт түзілетін атмосфера қабаты ластануының интегральді сипаттамасы болып табылады. Атмосфералық жауын–шашын сынамасы ауылдық жердегі метеорологиялық станцияларда да, қалалық аймақтағы немесе өнеркәсіптік аудандарда орналасқан станцияларда да алынады. Ауылдық жерлердегі жауын–шашын сынамасы алынатын станциялар желісі ДМҰ атмосфера ластануының фондық бақылау станцияларына кіреді. Жауын–шашын сынамасын алуда сынамаға бөгде заттардың түсуін болдырмау керек. Атмосфераның фондық ластану мониторингі бақылау жүйесі минимальді ластанған (базалық станция) аудандардағы метеостанцияларда және адамның шаруашылық әрекеті белсенді болатын аудандарда жүргізіледі. Яғни, адам шаруашылығының әрекеті белсенді болған сайын қоршаған ортаға түсетін экологиялық жүктеменің артуы немесе кемуі өзгеріске ұшырауы мүмкін. Талдау үшін жауын–шашынның алғашқы ең ластанған бөлігін алу қажет, сол себепті метеостанциялар тәуліктік жұмыс тәртібінде жұмыс жасауы маңызды. Сынаманы автоматты түрде алуда құрылғы қақпақты жауын–шашын жауып бастағанда ашып, ол тоқтаған соң жабады. Ол жауын–шашындағы рН және электрөткізгіштікті өлшейді. Сынама іріктеу ағаштардан, төбелерден, ғимараттардан, электр желілерінен, ауаның ластануының жергілікті көздері 100 м–ден аз емес қашықтықтағы ашық алаңда жүргізіледі. Сынаманы алу кезеңіне байланысты жиынтық және бір реттік сынама болуы мүмкін. Бір реттік сынама жекелеген кезеңдегі жауын–шашында немесе қарда алынады. Жауын–шашынды алу бірнеше минуттан бірнеше сағатқа, кей кездерде тәулік аралығында алынады. Егер жауын–шашын 1 сағаттан аз аралықта немесе өзгермеген бұлт жағдайында жиналатын болса, онда сынаманы бір ыдыста жинайды. 1 сағаттан астам

аралықта жинаса жекелеген ыдыстарға алады. Жиынтық сынамаға белгілі бір уақыт аралығында (ай, апта, тәулік) жиналған жауын-шашын кіреді. Мұндай сынама анықталатын компоненттердің орташа мәнін сипаттайды [1]. Сынамаларды зертханаға келіп түскеннен кейін 10 тәуліктен кешіктірмей талдайды. Мына макрокомпоненттер анықталады: рН мәні, электр өткізгіштігі, белсенді және жалпы қышқылдығы, макрокомпоненттердің массалық концентрациясы: сульфат-иондар, нитрат-иондар, хлорид-иондар, гидрокарбонат-иондар, аммоний, натрий, калий, кальций және магний иондары — және микрокомпоненттер: фосфат-иондар, мырыш, қорғасын, кадмий, марганец және никель иондары. 1-кестеде атмосфералық жауын-шашын сынамаларын химиялық талдау әдістері келтірілді.

К е с т е 1

**Атмосфералық сынамаларды химиялық талдау әдістері**

Анықталатын элемент	Талдау әдісі	Сынама көлемі, см <sup>3</sup>
Аммоний ионы	Колориметрикалық	10
Үлесті электрөткізгіштік	Кондуктометрикалық	30
рН	Электрометрикалық	30
Гидрокарбонат ионы	Титриметрикалық	25
Сульфат ионы	Нефелометрикалық	25
Нитрат ионы	Колориметрикалық	10
Хлорид ионы	Титриметрикалық	50
Натрий, калий иондары	Жалынды фотометрикалық	10
Кальций, магний, цинк иондары	Жалынды атомдық-абсорбционды	10
Микроэлементтер	Жалынды атомдық-абсорбционды	400

*Ескерту.* Сынаманың аз көлемінде (250 см<sup>3</sup>-тен аз) ең алдымен рН, меншікті электр өткізгіштігі, белсенді қышқылдығы, сульфат-иондардың, нитрат-иондардың массалық концентрациясы және т. б. анықталады.

Қарқынды түрде ластаушы заттар атмосферадан жауын-шашынмен шайылуы барысында жойылады. Шайылып өту процесін шартты түрде екі кезеңге бөліп қарастырады. Бірінші кезеңде шайылатын ластаушы зат ядро конденсациясы болып, бұлт тамшысы құрылымында болады немесе түсетін жауын тамшысына айналмай тұрған даму кезеңіндегі бұлт тамшысында орын алады. Бұл кезең бұлтшілік шайылумен айқындалады. Екінші кезеңде ластаушы зат түсіп келе жатқан тамшысымен бірге төселме беткейге жанасқанға дейінгі аралықты қамтиды.

Атмосферадағы ірі бөлшектердің концентрациясына әсер ететін негізгі факторлар — эмиссия көздері және метеорологиялық факторлар [2]. Ғалымдар [3, 4] диаметрі 10 мкм (PM 10) және 5 мкм (PM 2.5) болатын бөлшектердің ылғалды шайылуында жауын-шашынның әсері жалпы жауын-шашын мөлшерінің, орташа қарқындылығының және ұзақтығының артуымен өседі деп санайды. Сондай-ақ, көптеген ғалымдар бұлттарды атмосфералық жауын-шашыннан тазартудың рөлін атмосфералық бақылаулар тұрғысынан зерттейді [5–7]. Мақалада [8] су сапасындағы ең үлкен өзгеріс жауын-шашыннан кейінгі 2-ші күні болатындығы және кейбір химиялық параметрлер концентрациясының өзгеруі ұзақ уақыт сақталатындығы анықталды. Судың сапасы ұзаққа созылған су деңгейінің төмен кезеңінде критикалық мәндерге дейін нашарлауы мүмкін [9]. Судың көптеген физикалық-химиялық параметрлері критикалық мәндерден асып кетуі мүмкін, бұл өзеннің экожүйесіне және биоценозына кері әсер етеді. Жауын-шашын мөлшері көбейген жерлерде судың сапасына әсер етуі мүмкін, өйткені жауын-шашынның көп мөлшері өзендер мен көлдерге ағып жатқан судың көбеюіне, шөгінділердің, қоректік заттардың, ластаушы заттардың, қоқыстардың, жануарлардың қалдықтары сумен қамтамасыз етуде немесе суды тазартуда, оларды жарамсыз, қауіпті етуі мүмкін. ДМҰ нұсқауына байланысты [10] фондық бақылау станцияларындағы сынама алу 7 тәулікті құрайды. Әрбір апталық кезең сейсенбі күні 08:00-де басталады [11].

Гидросфераның шамамен 94 %-ын мұхиттар мен теңіздер құраса, 4 %-ы жер асты суларының, шамамен 2 %-мұздықтар мен қарлардың (негізінен Арктика, Антарктида мен Гренландия), 0,4 %-құрлықтардағы жер үсті суларының (өзен, көл, батпақ) үлесіне тиеді. Су үнемі қозғалыста болғандықтан, оның көлемі мен сапасы уақыт және кеңістіктік тұрғыда өзгеріп отырады.

Гидросферадағы су қорының таралуы 2-кестеде берілген.

## Гидросферадағы су қорының таралуы

Су объектілері	Су көлемі, л	Жалпы су көлемінен %–дық үлесі
Тұщы көлдер	$125 \times 10^{15}$	0,009
Ащы көлдер мен ішкі теңіздер	$104 \times 10^{15}$	0,008
Өзен арнасы	$1 \times 10^{15}$	0,0001
Жер асты сулары (жарты миля)	$4,170 \times 10^{15}$	0,31
Терең жер асты сулары	$4,170 \times 10^{15}$	0,31
Мұздықтар	$29000 \times 10^{15}$	2,15
Атмосфера	$13 \times 10^{15}$	0,001
Әлемдік мұхит	$1320000 \times 10^{15}$	97,2

2-кестеге сәйкес су қорының жер шары бойынша ең жоғарғы үлесі әлемдік мұхитқа және ең төменгі үлесі өзен арнасына тиесілі. Су ресурсы ғасырлық және қалпына келетін су қорлары болып бөлінеді. Ғасырлық табиғи су қорына ( $\text{м}^3$ ,  $\text{км}^3$ ) көлдер, өзендер, мұздықтар мен жер асты суларындағы тұщы сулар кіреді. Қайта қалпына келетін су ресурсына ( $\text{м}^3/\text{с}$ ,  $\text{м}^3/\text{жыл}$ ,  $\text{км}^3/\text{жыл}$ ) су айналымы процесінен жыл сайын жаңарып отыратын су көздері кіреді [12].

Көл суларының химиялық құрамы көлді қоректендіретін жер үсті және жер асты суларының құрамымен, физикалық-географиялық жағдайлардың кешеніне, сондай-ақ геологиялық құрылымына байланысты тығыз байланысты. Жауын-шашын жер үсті және жер асты суларының пайда болуының негізгі факторы болып табылады. Жауын-шашын мөлшері көбейген жерлерде судың сапасына әсер етуі мүмкін, өйткені жауын-шашынның көп мөлшері өзендер мен көлдерге ағып жатқан судың көбеюіне, шөгінділердің, қоректік заттардың, ластаушы заттардың, қоқыстардың, жануарлардың қалдықтары сумен қамтамасыз етуде немесе суды тазартуда, оларды жарамсыз, қауіпті етуі мүмкін. Жағалау бойындағы тұщы су ресурстарына теңіз деңгейінің көтерілу қаупі төніп тұр. Теңіз көтерілген кезде ащы су тұщы су аймақтарына ауысады. Бұл су менеджерлерін басқа тұщы су көздерін іздеуге мәжбүр етуі немесе ауыз сумен қамтамасыз ету ретінде пайдаланылатын кейбір жағалаудағы тұщы су қабаттарын тұзсыздандыру (немесе судан тұзды шығару) қажеттілігін күшейтуі мүмкін.

*Зерттеу нысаны*

Қазақстандағы бақылау көлдері. Қазіргі уақытта 30-ға жуық көл мемлекеттік мониторингпен қамтылған, бірақ біз өз жұмысымызда бақылау мәліметтерімен толығырақ қамтамасыз етілген көлдерге талдау жүргіземіз.

*Зерттеу базасы*

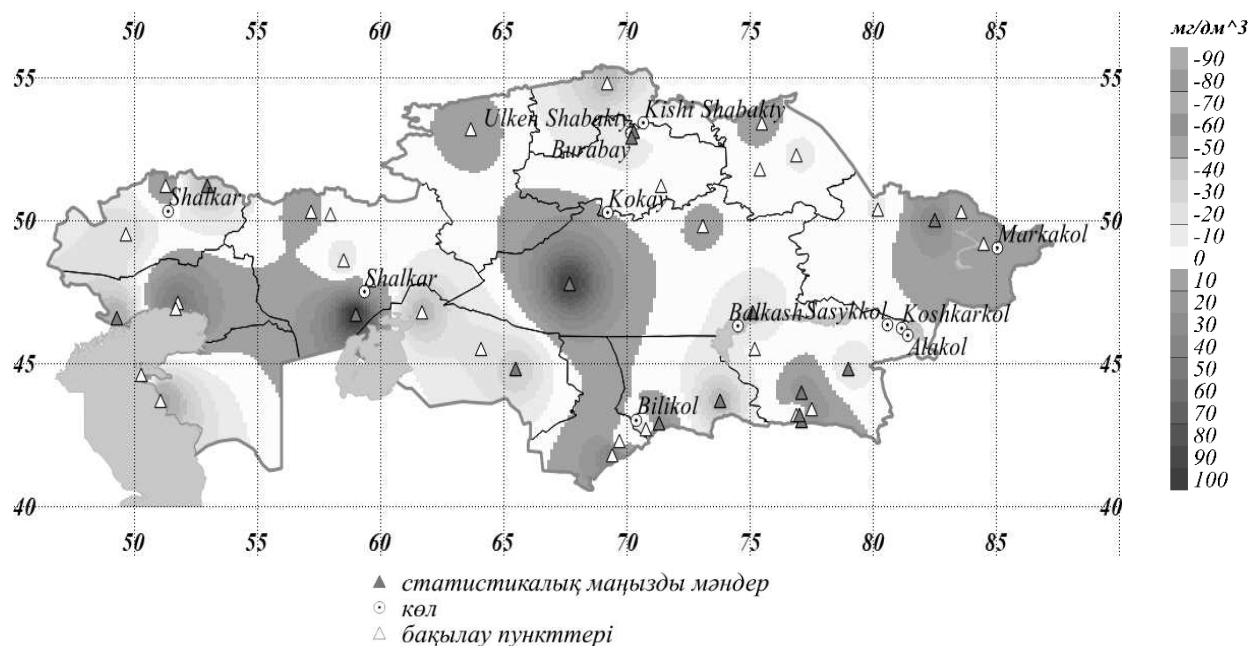
«Қазгидромет» РМК экологиялық мониторинг департаменті.

*Материалдар және зерттеу әдістері*

Жұмыста атмосфералық жауын-шашынның орташа жылдық ион суммасының құрамының 2001–2018 жж. кезеңіндегі уақыттық қатары қолданылды. Трендтің маңыздылығы Фишер тесті (F–тест) арқылы жүзеге асырылды. Фишердің критерийіне сәйкес ( $\alpha=0,05$ ), қатардың ұзақтығы 18 жыл болса, тренд  $\geq 4,41$  мәндерінде маңызды болып саналады.

*Нәтижелер мен пікірталас*

Қазгидромет ЭМД–де алынған орташа жылдық мәліметтер негізінде атмосфералық жауын-шашынның иондық құрамының өзгерісін (тренд) көрсететін карта Қазақстан территориясы бойынша тұрғызылды (1-суретті қараңыз).



1-сурет. Қазақстан территориясы бойынша атмосфералық жауын-шашынның орташа жылдық ион суммасының өзгерісі картасы

Жауын-шашынның орташа жылдық ион суммасының статистикалық маңызды өсу тренді Шалқар көлі (Ақтөбе облысы) маңындағы Аяққұм метеорологиялық станциясында 99,9 мг/дм<sup>3</sup>/10 жыл сайын бақыланса, Балқаш көлінің батыс бөлігінде маңызды төмендеу тренді 26,8 ...30 мг/дм<sup>3</sup>/10 жыл анықталды. Билікөл көлі аумағында минерализацияның төмендеуі әр 10 жыл сайын 6,5–10 мг/дм<sup>3</sup> құрады. Үлкен Шабакты, Кіші Шабакты және Бурабай көлдерінде статистикалық маңызды минерализация мәндерінің төмендеуі 3,8...24,4 мг/дм<sup>3</sup>/10 жыл аралығында болды. Маркакөл көлі аумағында минерализация өсу тенденциясымен сипатталады, сәйкесінше (10–20 мг/дм<sup>3</sup>/10 жыл)

#### Қорытынды

Көптеген өнеркәсіптер, ауылшаруашылығы, ауыз сумен жабдықтау кәсіпорындары судың сапасына, атап айтқанда минералдануға белгілі бір талаптар қояды, өйткені тұздың көп мөлшері судағы өсімдіктер мен жануарлар организмдеріне, өнімнің сапасына кері әсерін тигізеді. Зерттеулердің нәтижелері қарастырылған су объектілері аумағында минерализация мөлшерінің өсуімен қатар, төмендеуі бақыланғанда көрінген. Экологиялық апаттардың алдын алу үшін көлдерде жан-жақты кешенді ғылыми зерттеулер мен қоршаған ортаны қорғаудың тиісті шараларын жүргізу қажет.

#### Әдебиеттер тізімі

- 1 ГОСТ 17.15.05–85. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб поверхностных и морских вод, льда и атмосферных осадков.
- 2 Li H.X. Spatial and temporal distribution characteristics and meteorological causes of PM 2.5 in xi'an city / H.X. Li, X.M. Shi // Ecology and Environmental Sciences. — 2016. — Vol. 25, № 2. — P. 266–271.
- 3 Bae S.Y. Relative contributions of individual phoretic effect in the below-cloud scavenging process / S.Y. Bae, C.H. Jung, Y.P. Kim // Journal of Aerosol Science. — 2009. — Vol. 40, № 7. — P. 621–632.
- 4 Mircea M. Precipitation scavenging coefficient: influence of measured aerosol and raindrop size distributions / M. Mircea, S. Stefan, S. Fuzzi // Atmospheric Environment. — 2000. — Vol. 34, № 29–30. — P. 5169–5174.
- 5 Zhang L. Numerical studies of aerosol scavenging by low-level, warm stratiform clouds and precipitation / L. Zhang, D.V. Michelangeli, P.A. Taylor // Atmospheric Environment. — 2004. — Vol. 38, № 28. — P. 4653–4665.
- 6 Li K.F. Analysis on precipitation scavenging on PM10 and PM2.5 in central and south of Beijing-Tianjin-Hebei region / K.F. Li, H.D. Zhang, Y.H. Xie // Journal of Arid Land Resources and Environment. — 2019. — Vol. 33, № 3. — P. 69–74.
- 7 Gou X.H. Variation characteristics of atmospheric particulate matter concentration in yinchuan area and its relationship with meteorological conditions / X.H. Gou, X.Y. Yan, Y.L. Liu // Journal of Meteorology and Environment. — 2016. — Vol. 32, № 6. — P. 58–68.

- 8 Puczko K. Extreme Hydro-Meteorological Events Influence to Water Quality of Small Rivers in Urban Area: A Case Study in Northeast Poland / K. Puczko // Sci Rep. — 2020. — Vol. 10. — Article ID 10255. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-67190-4>
- 9 Pietruszyński L. The impact of hydrometeorological events on the state of the urban river quality / L. Pietruszyński, R. Cieśliński // Ecol. Chem. Eng. — 2019. — Vol. 26. — P. 521–533.
- 10 Meszasos E. Manual for BAPMoN Station operators / E. Meszasos, D.M. Whelpdale // WMO/TD. — 1985. — № 66, October.
- 11 Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. — Л.: Гидрометеониздат, 1985. — 299 с.
- 12 Шевцов М.Н. Водно-экологические проблемы и использование водных ресурсов / М.Н. Шевцов. — Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2015. — 197 с.

М.С. Құрманова, А.С. Мадібеков

## **Наблюдаемые изменения минерализации атмосферных осадков на территории Казахстана**

В статье установлено, что на территории некоторых озер наблюдается тенденция как резкого снижения, так и увеличения минерализации атмосферных осадков. Статистически значимое увеличение минерализации осадков наблюдалось в районах озер Шалкар (Актюбинская область), Маркаколь, а тенденция к снижению отмечается в озерах Балхаш (западная часть), Биликоль, Улькен, Киши Шабакты и Боровое. Осадки являются основным фактором образования поверхностных и грунтовых вод. В связи с климатическими и орографическими особенностями Казахстана наблюдается неравномерное распределение осадков по территории. Значительная часть страны, за исключением горных районов, испытывает дефицит атмосферных осадков. В геохимии изучение химического состава атмосферных осадков описывает обмен солями между атмосферой, земной поверхностью и морем. Знание химического состава атмосферных осадков имеет важное значение при выявлении характера загрязнения воздуха в промышленных зонах. По программе Всемирной метеорологической организации пробы осадков отбираются по следующим веществам: анионы — сульфаты, хлориды, нитраты; катионы — аммоний, натрий, калий, кальций, магний; тяжелые металлы — свинец, медь, кадмий, мышьяк, кислотность и удельный вес. Знание различных смесей атмосферных осадков имеет существенное значение для агрохимиков, гидрохимиков, гидрогеологов и геохимиков для изучения природных и поверхностных вод, поверхности почвы, а также для проведения профилактических мероприятий.

*Ключевые слова:* атмосферные осадки, содержание ионов, тренд, озеро, проба, статистическая значимость, гидрохимия, гидрология.

M.S. Kurmanova, A.S. Madibekov

## **Observed changes in mineralization of atmospheric precipitation in the territory of Kazakhstan**

The article presents the main results of the study of mineralization of atmospheric precipitation in the territory of the Republic of Kazakhstan. It has been established that there is a tendency in the territory of some lakes as a sharp decrease, as well as an increase in the mineralization of atmospheric precipitation. Statistically significant increasing in mineralization of precipitation was observed near the lakes Shalkar (Aktobe region), Markakol, and the tendency to decrease is observed in the lakes of Balkhash (western part), Bilikol, Ulken, Kishi Shabakty. Precipitation is the main factor in the formation of surface and groundwater. Due to climatic and orographic features of Kazakhstan, there is an uneven distribution of precipitation in the territory. A significant part of the country, with the exception of mountainous areas, suffers from a deficit of atmospheric precipitation. In geochemistry, the study of the chemical composition of atmospheric precipitation describes the exchange of salts between the atmosphere, the earth's surface, and the sea. Knowledge of the chemical composition of precipitation is necessary for sanitary and hygienic purposes in order to know the nature of air pollution in industrial zones. According to the program of the World Meteorological Organization (WMO), precipitation samples are collected for the following substances, such as: anions — sulfates, chlorides, nitrates; cations — ammonium, sodium, potassium, calcium, magnesium; heavy metals — lead, copper, cadmium, arsenic, acidity and specific gravity. The knowledge of different mixtures of atmospheric precipitation has an important value for agrochemists, hydrochemists, hydrogeologists and geochemists for the study of natural and surface waters, the surface of the soil, as well as for the preventive measures.

*Keywords:* atmospheric precipitation, ion content, trend, lake, sample, statistical significance, hydrochemistry, hydrology

## References

- 1 (1985) *GOST 17.15.05–85. Okhrana prirody. Gidrosfera. Obshchie trebovaniia k otboru prob poverkhnostnykh i morskikh vod, lda i atmosferykh osadkov [GOST 17.15.05-85. Nature conservation. Hydrosphere. General sampling requirements for surface and sea waters, ice and precipitation]* [in Russian].
- 2 Li, H.X. & Shi, X.M. (2016). Spatial and temporal distribution characteristics and meteorological causes of PM<sub>2.5</sub> in xi'an city. *Ecology and Environmental Sciences*, 25 (2); 266–271.
- 3 Bae, S.Y., Jung, C.H. & Kim, Y.P. (2009). Relative contributions of individual phoretic effect in the below-cloud scavenging process. *Journal of Aerosol Science*, 40 (7); 621–632.
- 4 Mircea, M., Stefan, S. & Fuzzi, S. (2000). Precipitation scavenging coefficient: influence of measured aerosol and raindrop size distributions. *Atmospheric Environment*, 34 (29–30); 5169–5174.
- 5 Zhang, L., Michelangeli, D.V. & Taylor, P.A. (2004). Numerical studies of aerosol scavenging by low-level, warm stratiform clouds and precipitation. *Atmospheric Environment*, 38 (28); 4653–4665.
- 6 Li, K.F., Zhang, H.D. & Xie, Y.H. (2019). Analysis on precipitation scavenging on PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> in central and south of Beijing-Tianjin-Hebei region. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 33 (3); 69–74.
- 7 Gou, X.H., Yan, X.Y. & Liu, Y.L. (2016). Variation characteristics of atmospheric particulate matter concentration in yinchuan area and its relationship with meteorological conditions. *Journal of Meteorology and Environment*, 32 (6); 58–68.
- 8 Puczko, K. (2020). Extreme Hydro-Meteorological Events Influence to Water Quality of Small Rivers in Urban Area: A Case Study in Northeast Poland. *Sci Rep*, 10, 10255. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-67190-4>
- 9 Pietruszyński, L. & Cieśliński, R. (2019). The impact of hydrometeorological events on the state of the urban river quality. *Ecol. Chem. Eng.*, 26, 521–533.
- 10 Meszasos, E. & Whelpdale, D.M. (1985). *Manual for BAPMoN Station operators*. WMO/TD N 66, October.
- 11 (1985). *Nastavlenie gidrometeorologicheskim stantsiiam i postam [Instruction to hydrometeorological stations and posts]*. Leningrad: Gidrometeoizdat [in Russian].
- 12 Shevtsov, M.N. (2015). *Vodno-ekologicheskie problemy i ispolzovanie vodnykh resursov [Water-ecological problems and use of water resources]*. Khabarovsk: Izdatelstvo Tikhookeanskogo gosudarstvennogo universiteta [in Russian].