

Ионометрия әдісінің көмегімен өсімдіктер мен қына сығындыларындағы бейорганикалық компоненттерді анықтау

Ғалия Байсалова^{1*}, Бекзада Ертай², Кульди Тосмаганбетова¹, Абзал Талтенов¹, Айман Бердгалеева³

¹Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан; Tosmaganbetova_ks@enu.kz, abzal06@mail.ru

²Астана медициналық университеті, Астана, Қазақстан; Bekzada2001_2001@mail.ru

³М. Оспанов атындағы Батыс-Қазақстан медициналық университеті, Ақтөбе, Қазақстан; bak5393@mail.ru

*Корреспонденция: galya_72@mail.ru

Дәйексөз: Байсалова, Ғ., Ертай, Б., Тосмаганбетова, К., Талтенов, А., Бердгалеева, А. Ионометрия әдісінің көмегімен өсімдік сығындыларындағы бейорганикалық компоненттерді анықтау (2026). Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ-нің хабаршысы. Химия. География сериясы, 156(3), 38-50.

<https://doi.org/10.32523/3107-278X-2026-156-3-38-50>

Академиялық редактор:
С.С. Досмагамбетова

Редакцияға түсті:
16.02.2026
Түзетілді: 17.09.2026
Қабылданды: 29.09.2026
Басылымға шықты:
30.09.2026



Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

Аңдатпа: Төрт өсімдік түрінің (*Lythrum salicaria*, *Phragmites communis*, *Nonea pulla*, *Petunia hybrida*) және бір қынаның (*Parmelia sulcata*) матрицаларының сулы сығындылардағы калий (K^+) және натрий (Na^+) иондарын ионометриялық анықтаудың жедел әдістемесін бейімдеуге, сондай-ақ оны HorRat_r халықаралық қайталанымдық (сәйкестік) критерийі бойынша метрологиялық негіздеуге арналған.

Зерттеу барысында өсімдік және қына шикізатынан мақсатты иондарды экологиялық таза сулы экстракциялау әдісі қолданылды. Сандық талдау калий- және натрий-селективті электродтар көмегімен тікелей потенциометрия (ионометрия) әдісімен жүргізілді. Әдістеменің іс-жүзіндегі қайталанымдығын (сәйкестік) бағалау Хорвиц математикалық моделіне негізделген HorRat_r индексі есептеу арқылы жүзеге асырылды. Метрологиялық сараптама нәтижелері әзірленген әдістеменің жоғары қайталанушылығын көрсетті. Өсімдік және қына үлгілерінің анатомиялық құрылымы мен элементтердің концентрациялық деңгейінің әртүрлілігіне қарамастан, HorRat_r индексінің мәндері калий иондары үшін 0,72–1,50 (орташа мәні 1,004), ал натрий иондары үшін 1,11–1,78 (орташа мәні 1,40) аралығын құрады. Барлық алынған көрсеткіштер халықаралық IUPAC/AOAC хаттамаларында бекітілген рұқсат етілген эмпирикалық диапазонға (0,5–2,0) толықтай сыйып, әдістеменің жоғары тұрақтылығын дәлелдеді. Ионселективті жүйенің ультра-, микроконцентрациялар аймағында да (қына үлгісінде) дәл нәтиже көрсететіні айғақталды. Сонымен қатар натрий, калий иондары үшін анықтау шегі (LOD) және сандық анықтау шегі (LOQ) анықталды.

Түйін сөздер: калий иондары; натрий иондары; өсімдік сығындысы; HorRat индексі; потенциометриялық әдіс; ионселективті электрод; LOD/LOQ; селективтілік коэффициенттері; Нернст көлбеуі.

1. Кіріспе

Адам ағзасының құрылымдық негізін қамтамасыз етуде және бұлшықет жұмысынан бастап жасушалық алмасуға дейінгі барлық өмірлік маңызды үдерістерді реттеуші ретінде макроминералдардың рөлі белгілі. Макроэлементтердің арасында калий мен натрий элементтерінің маңыздылығы жоғары.

Калий ағзаның барлық ұлпаларында болады. Жасушаішілік сұйықтық көлемін және трансмембраналық электрохимиялық градиенттерді ұстап тұру қабілетіне байланысты жасушалардың қалыпты жұмыс жасауына қажет ион (Stone, 2016).

Ересек адам ағзасындағы жалпы калийдің мөлшері 1 кг дене массасына есептегенде 45 миллимольді құрайды. Калийдің көбірек бөлігі жасуша ішінде, ал қалғаны жасушадан тысқары сұйықтық құрамында болады. Жасуша ішіндегі калийдің мөлшері жасуша сыртындағы мөлшерінен шамамен 30 есе артық. Осы айырмашылық трансмембраналық электрохимиялық градиент туындатады. Бұл градиентті натрий-калий (Na^+/K^+) АТФаза тасымалдаушысы ұстап тұрады. Аталмыш градиент жасушалық тонусты қамтамасыз етумен қатар, нерв импульстарын дұрыс беруде, бұлшық еттер жиырылуы мен бүйрек функциясында қажет (Hinderling, 2016).

Калийдің жетіспеушілігі қан қысымын, бүйректе тас түзілу мүмкіндігін, сүйек тінінің жаңару жылдамдығын арттырады. Қандағы калийдің төмендеуі, яғни гипокалиемия шаршау, бұлшықет әлсіздігімен, іш қатумен сипатталады. Егер гипокалиемияның ауыр формасы болса, оның бұлшықет жиырылуына, демек жүрек функциясына әсері өмірге қауіпті болады (Lanham-New, 2012, Moreno-Rojas, 2016).

Бақылау зерттеулері жемістер мен көкөністер арқылы калий тұтынуды арттыру, сүйектің минералдық тығыздығының жоғарылауына әкелетіндігін анықтаған (Hanley, 2013). Бұл деректер метаболикалық зерттеулердің нәтижелерімен және бірнеше клиникалық сынақтармен бірлесе отырып, диеталық калий сүйек денсаулығын жақсартта алатынын болжауға мүмкіндік береді.

Натрий - адам ағзасының қалыпты және сау жұмыс істеуі үшін өте маңызды негізгі минералдардың бірі (Chiang, 2024, Huang, 2020). Оның басты қызметі - жасушалар мен оның айналасындағы сұйықтық көлемін теңгерімде ұстап, ағзадағы су балансын реттеу. Сонымен қатар, натрий қан айналымы жүйесіндегі қысымды қажетті деңгейде сақтап, қан қысымын бақылауда маңызды рөл атқарады (Filippini, 2021, Huang, 2020).

Бұл элемент жүйке мен бұлшықет жүйесінің қызметі үшін де өте қажет. Ол жүйке импульстерінің миға және басқа мүшелерге кедергісіз, жылдам берілуін қамтамасыз етеді. Осының нәтижесінде жүрек бұлшықеті мен денедегі басқа да бұлшықеттер дұрыс жиырылып, босаңсый алады. Оған қоса, натрий жасушалық деңгейде белсенді қызмет атқарып, жасушалардың глюкоза мен амин қышқылдары сияқты өмірлік маңызы бар қоректік заттарды тиімді сіңіруіне көмектеседі (Kenneth, 2021).

Су-электролиттік бұзылулар көптеген клиникалық және хирургиялық жағдайларда өте жиі кездеседі және егер дер кезінде қалпына келтірмесе, ауыр салдарларға әкелуі мүмкін. Бұл бұзылулар қан плазмасындағы натрий (Na) мен калийді (K) талдау арқылы анықталады (Garcia, 2018).

Жоғарыда аталып өткендей, натрий мен калий адам гомеостазы үшін маңызды электролиттер болып табылады және олардың деңгейінің өзгеруі емделушіде ауыр асқынулар тудыруы мүмкін (Bernal, 2023).

Осылайша, иондарды анықтау әдісі неғұрлым дәл, сезімтал және арнайы (спецификалық) болса, емхананың дұрыс терапиялық шараларды жүргізуіне соғұрлым көп негіз болады.

Өсімдік тектес тағамдар адам үшін осы алмастырылмайтын макроэлементтердің негізгі көзі болып табылады. Адам ағзасы натрий мен калийді өздігінен синтездей алмайды, сондықтан олардың тапшылығы немесе теңгерімсіздігі (су-электролиттік бұзылулар)

туындаған кезде, өсімдік дақылдарына бай дұрыс рацион терапияның басты элементіне айналады.

Азық ретінде тұтынылатын өсімдіктердің сапасы мен қауіпсіздігі олардың құрамындағы осы иондардың мөлшеріне тікелей байланысты (Naozuka, 2025). Өсімдік шикізатындағы олардың концентрациясын бақылау екі негізгі себеп бойынша маңызды:

1. Калий тапшылығының алдын алу: Адамды жүрек пен қан тамырларының саулығы үшін қажетті калийдің тәуліктік көлемімен қамтамасыз ету үшін, өсірілетін дақылдарда оның жеткілікті мөлшері болуы керек.
2. Натрий мөлшерінің артық болуын бақылау: Тұзданған топырақта өсірілген өсімдіктер натрийді шамадан тыс жинақтайды, бұл оларды гипертониясы (қан қысымы жоғары) және бүйрек жеткіліксіздігі бар адамдар үшін қауіпті етеді.

Осылайша, өсімдіктердегі (Na^+) және (K^+) иондарын дәл анықтау тек ауыл шаруашылығы үшін ғана емес, сонымен қатар диетология, медицина және тамақ қауіпсіздігі үшін стратегиялық мәнге ие. Бұл адам өз ағзасының электролиттік гомеостазын сақтау үшін тұтынатын өнімдердің нутритивті (қоректік) құрамын бақылауға мүмкіндік береді.

Экологиялық, биологиялық, тағамдық және өнеркәсіптік матрицалардағы элементтерді анықтау үшін спектрометриялық әдістер кеңінен қолданылады. Атомдық-флуоресцентті спектрометрия, жалынды атомдық-абсорбциялық спектрометрия, графитті пешті атомдық-абсорбциялық спектрометрия, ультракүлгін-көрінетін молекулалық абсорбциялық спектрофотометрия және индуктивті байланысқан плазмалы оптикалық эмиссиялық спектрометрия сәтті әрі жақсы дәлелденген әдістер болып табылады (Thomas, 2001; Thomas, 2023; Ahmad, 2022; Chen, 2022; Fu, 2018; Mokgalaka, 2006).

Ал электрохимиялық әдістерден ионометрия белгілі бір иондарға тән арнайы мембраналарды қолдануға негізделген. Бұл әдісте мембрананың екі жағындағы концентрациялар айырмашылығы арқылы потенциал түзіледі. Бұл жүйеде екі электрод қолданылуы керек, оның ішіндегі салыстырмалы электрод тұрақты потенциалға ие болады. Ионға арналған селективті (талғампаз) электрод үлгінің концентрациясына қарай өзгеретін кернеуді тудырады. Осылайша, салыстырмалы электрод пен өлшеуіш электрод потенциалдарының айырмашылығы негізінде ерітіндідегі иондардың концентрациясы есептеледі және ол Нернст теңдеуімен өрнектеледі (Kurovsky, 2024).

Ионометрия әдісінің кейбір артықшылықтарына сенімділік, тұрақтылық, талғампаздық (селективтілік), сезімталдық және үлгінің аз көлемін қолдану жатады. Сонымен қатар, ол жылдам нәтиже береді және үлгідегі өзгерістерге (мысалы, қан плазмасы үшін липемия, гемолиз және сарғаю) байланысты кедергілерге ұшырамайды, өйткені мұнда электролиттердегі тек иондар ғана өлшенеді. Бұл сипаттамалар ионометрия әдісін клиникалық және өндірістік сынақтарда қолдануға болатын маңызды әдістемеге айналдырады.

Жоғарыда аталған спектрометриялық әдістердің негізгі кемшіліктері - жабдықтардың жоғары құнында, сынама дайындаудың күрделілігінде, талдаудың деструктивті (сынаманы бұзатын) сипатында және ерітіндінің түсі мен бұлыңғырлығына сезімталдығында (оптикалық әдістер үшін). Ал ионометрия әдісі өзінің қарапайымдылығы, арзандығы және күрделі орталарда (плазма, қан, ағынды сулар) бос иондарды тікелей өлшеу мүмкіндігі арқылы ерекшеленеді.

Осы жұмыстың мақсаты - зертхана жағдайында өсімдік және қына үлгілеріндегі ерімтал натрий және калий иондарының концентрациясын тікелей экспресс-анықтау үшін ионометрия **әдісін бейімдеу (адаптациялау)**, сондай-ақ тәжірибе нәтижесінде алынған әдістеменің метрологиялық сипаттамаларын бағалау болып табылады.

2. Материалдар мен әдістер

Зерттеуде натрий иондарын анықтау үшін ЭЛИС-112Na маркалы шыны натрий-селективті электрод, ал калий иондарын анықтау үшін ЭЛИС-121K маркалы ПВХ-мембраналы калий-селективті электрод («Эконикс-Эксперт» ЖШҚ, Ресей) қолданылды.

Электродтар «Эксперт-001» иономерімен бірге жұмыс істеуге арналған және хлоркүміс (Ag/AgCl) салыстырмалы электродпен жинақталды.

2.1. Өсімдік шикізатынан сығындылар алу

Зерттеу объектілері ретінде *Lythrum salicaria*, *Phragmites communis*, *Nonea pulla*, *Petunia hybrida* өсімдіктерінің және *Parmelia sulcata* қынасының үлгілері пайдаланылды. Алынған өсімдік шикізаты алдын ала кептіріліп, ұнтақталды. Әр үлгіден 5,0 г дәл өлшеніп алынып, үстіне 200 мл тазартылған су қосылды. Қоспа бөлме температурасында 2 сағат бойы тұндырылды. Тұндырылған сығынды сүзгі қағазы арқылы сүзіліп, талдау үшін дайындалды.

2.2. Сулы сығындылар құрамындағы натрий-иондарының концентрациясын Na^+ -селективті электрод көмегімен анықтау (РД 52.24.415-2007)

2.2.1. Кальций хлоридінің ерітіндісін дайындау

500 мл өлшегіш колбаға 110 грамм кальций хлоридін салып, дистилденген сумен ерітіп, колбаны белгісіне дейін толтырады.

Ол жоғары концентрациялы фондық электролит ретінде иондық күшті реттегіш және тұрақтандырушы қызметін атқарады. Өсімдік экстракттарының өзгермелі табиғи иондық күшін біркелкі жоғары деңгейге жеткізу арқылы мақсатты Na^+ иондарының белсенділік коэффициентін тұрақты етеді. Сондай-ақ, Ca^{2+} катиондары Никольский–Эйзенман теңдеуіне сәйкес, натрий-селективті электродтың бетінде басқа бөгде бір зарядты катиондардың (K^+ , NH_4^+) бәсекелестік кедергі келтіруші әсерін тиімді түрде басады.

2.2.2. Тығыздығы 0,1 моль/дм³ аммиак ерітіндісін даярлау

Сыйымдылығы 500 мл өлшегіш колбаға 25 %-тік аммиак ерітіндісінің 1,9 мл құйылып, колба белгісіне дейін, сумен толтырылады.

Ол ортаның рН көрсеткішін сілтілі аймаққа ($\text{pH} > 9$) жылжыту арқылы рН реттеуіш қызметін атқарады. Бұл натрий-селективті электродтарға басты кедергі келтіретін сутек иондарының (H^+) әсерін толық жою үшін қажет. Сілтілі ортада сутек иондарының белсенділігі минималды деңгейге түсіп, электродтың тек мақсатты натрий катиондарына ғана потенциометриялық жауап беруін қамтамасыз етеді.

2.2.3. Натрий иондарының градуирленген ерітінділер даярлау

Градуирленген ерітінділер натрийдің стандартты үлгілерінен даярланады.

Сыйымдылығы 50 мл стаканدارға 30 мл натрий иондарының келесі концентрациядағы: $1,00 \cdot 10^{-4}$; $2,00 \cdot 10^{-4}$; $6,00 \cdot 10^{-4}$; $1,00 \cdot 10^{-3}$; $1,00 \cdot 10^{-2}$ моль/дм³ ерітінділері құйылады. Әрбір стаканға 4 мл кальций хлориді мен 1 мл аммиак ерітіндісін құяды. Стакандарды магнитті араластырғышқа орналастырып, ондағы сұйықтықты араластырады. Электродтар батырылып, градуирлеу ерітінділерінің потенциалдары натрий ионының төмен концентрациясынан ($1,00 \cdot 10^{-4}$ моль/дм³) жоғары концентрациясына ($1,00 \cdot 10^{-2}$ моль/дм³) қарай «Эксперт-001» маркалы рН-метр-иономерде өлшенеді.

Электродтың бату тереңдігі мен араластыру жылдамдығы барлық өлшеулер үшін бірдей сақталады. Потенциал тұрақталғаннан кейін құрал көрсеткіштері тіркеледі. Калибрлеу графигі $\text{pNa} = -\lg[\text{Na}^+]$ және потенциал мәндерінің негізінде тұрғызылады.

2.2.4. Өсімдік сығындыларындағы натрий-иондарын анықтау

Әрбір өсімдік сығындыларынан 30 мл алып, 4 мл кальций хлориді мен 1 мл аммиак ерітіндісі құйылып, 2.2.3-пунктінде келтірілген әдістеме бойынша өлшеулер жүргізіледі. Алынған потенциалдар мәндеріне сәйкес, натрий иондары градуирлеу графигі көмегімен табылады.

2.3. Сулы сығындылар құрамындағы калий-иондарының концентрациясын K^+ -селективті электрод көмегімен анықтау (РД 52.24.365-2008)

2.3.1. Буферлік ерітінді: 1 моль/дм³ трис-(оксиметил)-аминометан ерітіндісін даярлау

Сыйымдылығы 250 мл стаканға 30,30 г трис-(оксиметил)-аминометан салып, 70-80 мл дистилденген сумен ерітеді. Үстіне 15 мл концентрлі тұз қышқылын құяды. Сыйымдылығы 250 мл болатын өлшегіш колбаға даярланған ерітіндіні құйып, белгіге дейін сумен толтырылады. Араластырған соң қағаз фильтрмен сүзу қажет. Даярланған ерітінді рН мәні 7,5-8 болуы қажет.

Трис-(оксиметил)-аминометан рН тұрақтандырушы және матрицалық әсерді төмендетуші қызметін атқарады. Трис-буфер ерітіндінің рН мәнін калий-селективті электрод үшін оңтайлы саналатын 7,5–8,0 диапазонында қатаң түрде ұстап тұрады. Бұл өсімдік сығындыларында кездесетін табиғи органикалық қышқылдардың әсерінен рН-тың ауытқуын тежеп, сутек катиондарының бәсекелестік ықпалын жояды және HorRat метрологиялық шарттарына сай өлшеулердің жоғары қайталанушылығына мүмкіндік береді.

2.3.2. Калий иондарының градуирленген ерітінділер даярлау

Калибрлеу ерітінділері массалық концентрациясы $3,910 \text{ г/дм}^3$ ($1,00 \cdot 10^{-1} \text{ моль/дм}^3$) аттестатталған калий ерітіндісінен бірізді сұйылту арқылы дайындалды. Әдістемеге сәйкес $1,00 \cdot 10^{-2}$; $1,00 \cdot 10^{-3}$; $2,00 \cdot 10^{-4}$; $1,00 \cdot 10^{-4}$; $5,00 \cdot 10^{-5}$; $2,00 \cdot 10^{-5}$ және $1,00 \cdot 10^{-5} \text{ моль/дм}^3$ концентрациялы ерітінділер даярланады.

Сыйымдылығы 50 мл стаканға 30 мл градуирлеу ерітінділері құйылып, әрбіреуіне 1,5 мл буферлік ерітінді құяды. Магнитті араластырғыш көмегімен араластырады.

Электродтар салып, ерітінді потенциалдары өлшенеді. Әр тәжірибе 3 рет қайталанатын.

2.3.3. Өсімдік сығындыларындағы калий-иондарын анықтау

Әрбір өсімдік сығындыларына (көлемі 30 мл) 1,5 мл буферлік ерітінді құяды. Араластырып, потенциалдар өлшенеді. Градуирлеу қисығынан, потенциалдың мәніне сәйкес калий-ионы концентрациясы табылады.

Градуирлеу графигі потенциалдың рNa мәндеріне тәуелділік қисығы түрінде тұрғызылады (Kurovsky, 2024).

3. Нәтижелер және оларды талқылау бөлімі

Бұл еңбекте алғаш рет ионометрия көмегімен жоғарыдағы аталып өткен өсімдіктер мен қына құрамындағы қозғалғыш калий мен натрий иондарының мөлшерін анықтау үшін осы иондардың судағы мөлшерін анықтаудың басшылық құжаттарының (РД 52.24.415-2007, РД 52.24.365-2008) негізінде бейімделген арнайы әдістемелер жасалып, осы иондардың сулы сығындылардағы молярлық концентрациялары анықталды.

Ионометриялық өлшеулер жүргізгенде мына жағдайларды ескеру керек (Kurovsky, 2024):

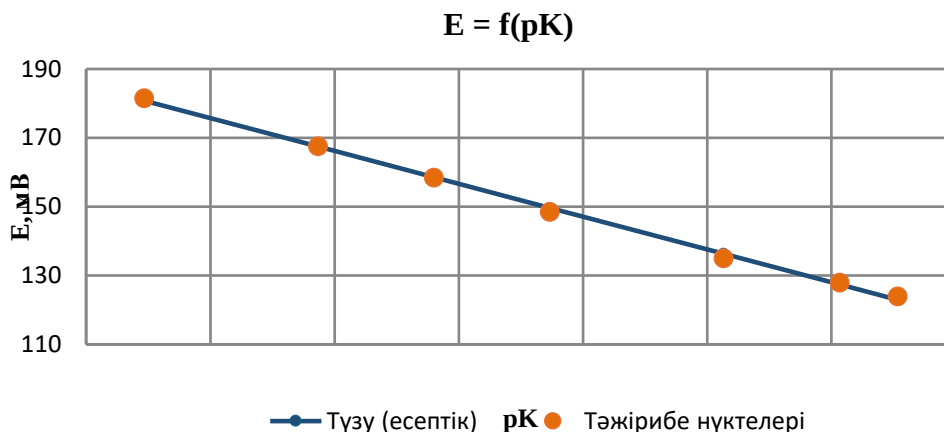
- алдымен оңтайлы сұйылтулар таңдалуы керек;
- иономерлерді калибрлеу;
- стандартты ерітінділердегі анықталатын ионның концентрацияларын зерттелетін (белгісіз) үлгілер калибрлеудің шеткі нүктелері арасындағы диапазонға түсетіндей етіп таңдау қажет.

Калий мен натрий иондарын сандық анықтауға қатысты жасалған әдістеме негізінде градуирлеу графиктері тұрғызылды. 1-суретте ионселективті электродтар потенциалының (Е) иондар концентрациясының теріс логарифміне (рК, рNa) тәуелділік графигі көрсетілген.

Ионселективті электродтардың градуирлеу тәуелділіктерін Нернст модельдік теңдеуімен салыстыра талдау барысында потенциал мәндерінің (Е) рК және рNa шамаларына сызықтық тәуелділігі анықталды. Тәжірибелік калибрлеу деректерін математикалық аппроксимациялау нәтижесінде калий-селективті электродтың эксперименттік көлбеулік коэффициентінің абсолютті мәні 44,3 мВ/декаданы, ал натрий-селективті электрод үшін 14,2 мВ/декаданы құрады. 25 °С температурадағы бір зарядты катиондарға арналған идеалды теориялық Нернст көлбеуімен (59,16 мВ/декада) салыстырғанда бұл көрсеткіштер айқын субнернстік сипатқа ие. Калий электроды жауабының теориялық мәннен ауытқуы өсімдік экстракты матрицасының көпкомпонентті әсерінен туындаса, натрий электродының көлбеулік коэффициентінің тым

төмендеуі әдістемеге сәйкес рН ортасын тұрақтандыру және иондық күшті реттеу үшін қосылатын аммиак буфері мен кальций хлоридінің жоғары концентрациялық фондық кедергілерімен түсіндіріледі.

1-суретте калий иондарының концентрациясының теріс логарифмі артқан сайын электрод потенциалының мәні пропорционалды түрде кемитінін көруге болады.



Сурет 1. Ионселективті электродтар потенциалының (E) $[K^+]$ -иондар концентрациясының теріс логарифміне (pK) тәуелділік графигі

Сонымен калий-селективті электрод үшін:

- Регрессиялық теңдеу: $E = 314,3 - 44,3pK$;
- Детерминация коэффициенті: $R^2 = 0,967$
- Параллель өлшеулердің стандартты ауытқуы (қателіктер): $\pm 1,5 - \pm 2,1$ мВ құрады.

Lythrum salicaria, *Phragmites communis*, *Nonea pulla*, *Petunia hybrida* өсімдіктерінен және *Parmelia sulcata* қынасынан алынған сулы сығындыларының әрбіреуінен үш сынамалар алынып, тиісті сұйылтулар жүргізілген соң, калий ионселективті электроды көмегімен потенциалдары өлшеніп, градуирлеу тәуелділігінен калий иондарының сәйкес молярлық концентрациялары анықталды. Одан кейін құрғақ өсімдік, қына үлгілеріндегі осы ионның массалық үлестері есептелді. Алынған мәліметтер 1-кестеде келтірілген.

Кесте 1. K^+ иондарының өсімдіктер мен қынадағы мөлшері

Үлгілер	Талданатын үлгідегі K^+ иондардың мөлшері					
	$C_m(K^+)$ сығындыдағы, моль/л			$\omega(K^+)$ құрғақ үлгідегі, %		
	I	II	III	I	II	III
<i>Lythrum salicaria</i>	0,0032	0,0034	0,0032	0,5411	0,5710	0,5411
<i>Phragmites communis</i>	0,0029	0,0029	0,0032	0,4487	0,4487	0,5032
<i>Nonea pulla</i>	0,0182	0,0182	0,0171	2,8500	2,8500	2,6800
<i>Petunia hybrida</i>	0,0114	0,0114	0,0121	1,7980	1,7980	1,9119
<i>Parmelia sulcata</i>	0,0004	0,0003	0,0004	0,0631	0,0561	0,0631

Натрий-селективті электрод үшін регрессиялық теңдеу мына сипатта: $E = -2433,7 - 14,2pNa$ ($R^2 = 0,967$) және параллель өлшеулердің стандартты ауытқуы $\pm 0,8 - \pm 1,2$ мВ болды. Натрий ионселективті электродын қолдана отырып, аталмыш өсімдік түрлерінен алынған сығындылардағы натрий иондары концентрациясы анықталды (кесте 2).

Кесте 2. Na^+ иондарының өсімдіктер мен қынадағы мөлшері

Үлгілер	Талданатын үлгідегі Na^+ иондардың мөлшері					
	$C_m(Na^+)$ сығындыдағы, моль/л			$\omega(Na^+)$ құрғақ үлгідегі, %		
	I	II	III	I	II	III
<i>Lythrum salicaria</i>	0,0066	0,0056	0,0056	0,2050	0,1755	0,1755
<i>Phragmites communis</i>	0,0014	0,0012	0,0012	0,0490	0,0430	0,0430
<i>Nonea pulla</i>	0,0090	0,0102	0,0093	0,3100	0,3500	0,3200
<i>Petunia hybrida</i>	0,0009	0,0010	0,0009	0,0210	0,0240	0,0210
<i>Parmelia sulcata</i>	0,0002	0,00025	0,00025	0,0080	0,010	0,010

Өсімдіктердің сулы сығындыларындағы калий иондарын ионометриялық анықтау әдістемесінің қайталанымдық (сәйкестік) критерийін бағалау мақсатында халықаралық метрологиялық стандарттарына сәйкес $HorRat_r$ индексі есептелді (Horwitz, 2006). Бұл критерий әдістеменің эксперименттік жолмен табылған қайталанымдық (сәйкестік) көрсеткішін (RSD_{found}) концентрациялық тәуелділікті ескеретін Хорвиц математикалық моделі бойынша есептелген теориялық рұқсат етілген ауытқумен ($RSD_{expected}$) салыстыруға мүмкіндік береді. Халықаралық тәжірибеде $HorRat_r$ индексінің 0,5-тен 2,0-ге дейінгі эмпирикалық диапазоны әдістеменің толықтай жарамды әрі тұрақты жұмыс істейтіндігінің негізгі көрсеткіші болып табылады:

- $0,5 \leq HorRat$ индексі ≤ 2 – әдістің қолайлы дәлдігі;
- $HorRat$ индексі > 2 - нәтижелердің қайталанымдылығы күтілгеннен төмен;
- $HorRat$ индексі $< 0,5$ - деректердің әдеттен тыс төмен ауытқуы.

Калий иондарының мөлшерін анықтау барысында алынған метрологиялық мәліметтер (кесте 3) талданатын төрт түрлі өсімдік (*Lythrum salicaria*, *Phragmites communis*, *Nonea pulla*, *Petunia hybrida*) және бір қына (*Parmelia sulcata*) матрицаларының барлығында $HorRat$ индексі 0,72-ден 1,50-ге дейінгі аралықты көрсетіп, бекітілген нормативтік шекке (0,5–2,0) толықтай сәйкес келді. Бағаланатын объектілер бойынша калий иондарының мөлшерін анықтауда $HorRat$ индексінің орташа мәні 1,004-ті құрады, бұл әдістеменің қайталанымдық (сәйкестік) деңгейінің халықаралық классикалық химиялық талдау стандарттарымен мінсіз үйлесімділігін айғақтайды.

Ең төменгі $HorRat_r$ көрсеткіштері *Lythrum salicaria* (0,72) және *Nonea pulla* (0,73) үлгілерінде тіркелді, бұл аталған матрицалардағы өлшеулердің өте жоғары дәлдігін (іс-жүзіндегі ауытқу 3,13 % және 3,51 %) көрсетеді. *Petunia hybrida* үлгісінде индекс мәні идеалды деңгейге (0,98) жетіп, теориялық болжаммен толық сәйкестік байқатты. *Phragmites communis* (1,50) үлгісінде ауытқудың сәл жоғарылауы қамыс тіндерінің кремнийге бай, қатты талшықты

құрылымымен және сулы экстракция кезіндегі иондардың диффузиялық ерекшеліктерімен түсіндіріледі, алайда бұл мән де рұқсат етілген шектен аспайды.

Ерекше атап өтетін жайт, калий мөлшері өте аз (~0,06 %) *Parmelia sulcata* қына үлгісінде де HorRat_r индексі 1,09 мәнін көрсетті. Бұл ионоселективті электродтың микроконцентрациялар аймағында да фондық кедергілерге төтеп беріп, тұрақты нәтиже шығара алатынын дәлелдейді.

Кесте 3. K^+ -иондарының құрғақ өсімдік және қына үлгілеріндегі массалық үлестерін метрологиялық бағалау нәтижелері (HorRat_r индексі)

Үлгі атауы	Орташа мән, $\bar{x}$	Стандартты ауытқу (SD)	Іс-жүзіндегі қайталанымдық (сәйкестік) көрсеткіші ($\text{RSD}_{\text{found}}$, %)	Теориялық рұқсат етілген ауытқу ($\text{RSD}_{\text{expected}}$, %)	HorRat_r индексі
<i>Lythrum salicaria</i>	0,005511	0,000173	3,13	4,38	0,72
<i>Phragmites communis</i>	0,004669	0,000315	6,74	4,49	1,50
<i>Nonea pulla</i>	0,002793	0,000098	3,51	4,84	0,73
<i>Petunia hybrida</i>	0,018360	0,000658	3,58	3,65	0,98
<i>Parmelia sulcata</i>	0,000608	0,000040	6,65	6,10	1,09

Осындай метрологиялық бағалау көмегімен өсімдік объектілерінен алынған сығындылардағы натрий иондарын аталмыш әдіспен өлшеу әдістемесінің аналитикалық жарамдылығы да бағаланды. Алынған эксперименттік мәліметтерді математикалық есептеу нәтижелері (кесте 4) зерттелген барлық 4 өсімдік және 1 қына матрицаларында HorRat_r индексі 1,11-ден 1,78-ге дейінгі аралықтағы диапазонда екені анықталды. Бұл мәндер Халықаралық теориялық және қолданбалы химия одағы (IUPAC) мен халықаралық талдау қоғамдастықтарының қауымдастығы (AOAC) хаттамаларында бекітілген эмпирикалық рұқсат етілген шекке (0,5–2,0) толықтай сәйкес келеді. Әдістеме бойынша HorRat_r индексінің жалпы орташа мәні 1,40-ты құрады.

Жекелеген үлгілерді қарастыру барысында ең үздік нәтижелер *Petunia hybrida* (1,11) және *Phragmites communis* (1,21) матрицаларында тіркелді, мұндағы іс-жүзіндегі қайталанымдық (сәйкестік) көрсеткіші ($\text{RSD}_{\text{found}}$) 7,87 % және 7,70 % теориялық рұқсат етілген ауытқумен ($\text{RSD}_{\text{expected}}$) 7,10 % және 6,38 % барынша жақын үйлесімділік көрсетті. *Nonea pulla* үлгісінде де HorRat_r индексі 1,35 мәнімен жоғары дәлдікті сипаттады. *Lythrum salicaria* үшін аталмыш индекс 1,78 құрады және бұл мән де рұқсат етілмеген (критикалық) аймаққа ($\text{HorRat}_r > 2,0$) өткен жоқ.

Ерекше ғылыми қызығушылық тудыратын нәтиже *Parmelia sulcata* қына үлгісінде байқалды. Бұл матрицада натрий мөлшері өте төмен, яғни ультраіздік деңгейде (~0,009 %) болса да, әдістеменің іс-жүзіндегі сәйкестік ауытқуы 12,37 %-дан асқан жоқ, ал HorRat_r индексі 1,53 мәнін берді. Халықаралық метрологиялық практикада концентрация төмендеген сайын ауытқудың заңды түрде өсетіні ескеріледі (бұл үлгі үшін теориялық рұқсат етілген

ауытқу ($RSD_{\text{expected}} = 8,08 \%$), сондықтан алынған 1,53 көрсеткіші ионоселективті жүйенің микроконцентрациялармен жұмыс істеудегі жоғары тұрақтылығын дәлелдейді.

Кесте 4. Na^+ -иондарының құрғақ өсімдік және қына үлгілеріндегі массалық үлестерін метрологиялық бағалау нәтижелері (HorRat индексі)

Үлгі атауы	Орташа мән, $\bar{x}$	Стандартты ауытқу (SD)	Іс-жүзіндегі қайталанымдық (сәйкестік) көрсеткіші (ауытқуы) ($RSD_{\text{found}}, \%$)	Теориялық рұқсат етілген ауытқу ($RSD_{\text{expected}}, \%$)	HorRat индексі
<i>Lythrum salicaria</i>	0,001853	0,000170	9,19	5,16	1,78
<i>Phragmites communis</i>	0,000450	0,000035	7,70	6,38	1,21
<i>Nonea pulla</i>	0,003267	0,000208	6,37	4,73	1,35
<i>Petunia hybrida</i>	0,000220	0,000017	7,87	7,10	1,11
<i>Parmelia sulcata</i>	0,000093	0,000012	12,37	8,08	1,53

Тек градуирлеу графиктерінің сызықтық сипаты электродтың белгілі бір концентрациялық диапазонда Нернст типті жауап беретінін көрсеткенімен, оның нақты аралас жүйедегі талғампаздығын (селективтілігін) жеке өзі толық дәлелдей алмайтынын ескеру қажет. Әдістеменің күрделі өсімдік және қына сығындыларындағы аналитикалық селективтілігі мен жарамдылығы мақалада келтірілген HorRat_r метрологиялық критериймен қосымша негізделді. Зерттелген барлық үлгілерде HorRat_r индексі калий үшін 0,72–1,50, ал натрий үшін 1,11–1,78 шегінде болып, IUPAC/AOAC хаттамаларында бекітілген рұқсат етілген эмпирикалық диапазонға (0,5–2,0) сай келді. Бұл электродтардың субнернстік көлбеулігіне қарамастан, ұсынылған аралас экспресс-әдістеменің жоғары сәйкестілігі мен аналитикалық тұрақтылығын жанама түрде айғақтайды.

Зерттеу жұмысында қолданылған ионселективті электродтардың паспорттық деректері мен әдебиеттерге сәйкес, бөгде иондар бойынша селективтілік коэффициенттерінің ($K_{i,j}$) мәндері келесідей (Umezawa, 2000) :

- Калий-селективті электрод үшін: $K_{K, \text{NH}_4^+} = 2 \cdot 10^{-2}$; $K_{K, \text{Na}^+} = 5 \cdot 10^{-3}$; $K_{K, \text{Ca}^{2+}} = 5 \cdot 10^{-3}$; $K_{K, \text{Mg}^{2+}} = 2 \cdot 10^{-4}$.
- Натрий-селективті электрод үшін: $K_{\text{Na}, \text{K}^+} \approx 6 \cdot 10^{-1}$; $K_{\text{Na}, \text{NH}_4^+} \approx 2 \cdot 10^{-1}$; $K_{\text{Na}, \text{Ca}^{2+}} \approx 2 \cdot 10^{-2}$.

Коэффициенттердің бұл төмен мәндері (әсіресе $K_{i,j} \ll 1$) электродтардың анықталатын негізгі иондарға бөгде катиондармен салыстырғанда жоғары талғампаздыққа (жүздеген және мыңдаған есе) ие екенін ғылыми тұрғыдан дәлелдейді. Сонымен қатар, натрийді анықтау барысында калийдің кедергі келтіруші әсерін ($K_{\text{Na}, \text{K}^+} \approx 0,6$) барынша азайту мақсатында әдістемеге сәйкес ерітіндінің иондық күшін реттегіш ретінде кальций хлориді ерітіндісі енгізілді. Ол бөгде иондардың фондық белсенділігін тұрақтандырып, Никольский–Эйзенман тендеуі бойынша кедергілерді жоюға және HorRat_r метрологиялық көрсеткіштерінің (0,5–2,0) тұрақты шығуына мүмкіндік берді.

Әзірленген ионометриялық экспресс-әдістеменің аналитикалық жарамдылығын халықаралық IUPAC/AOAC талаптарына сай (ICH Topic Q2, 2005) кешенді бағалау мақсатында негізгі валидациялық параметрлер анықталды:

- Анықтау шегі (LOD) және сандық анықтау шегі (LOQ): Тәжірибелік калибрлеу графиктерінің фондық иондық күш жағдайындағы ауытқулары мен 3σ және 10σ критерийлері негізінде есептелді. Калий иондары үшін LOD мәні $5,0 \cdot 10^{-6}$ моль/л, LOQ - $1,5 \cdot 10^{-5}$ моль/л құрады. Натрий иондары үшін LOD - $2,0 \cdot 10^{-5}$ моль/л, LOQ - $6,5 \cdot 10^{-5}$ моль/л деңгейінде анықталды. Бұл көрсеткіштер әдістің тіпті *Parmelia sulcata* қынасы сияқты ультрамикрoконцентрациялы объектілерде де сенімді жұмыс істейтінін дәлелдейді.
- Сызықтық жұмыс диапазоны: ионоселективті жүйенің сызықтық жауап беру аймағы K^+ үшін $1,0 \cdot 10^{-5}$ - $1,0 \cdot 10^{-1}$ моль/л диапазонын, ал Na^+ үшін $1,0 \cdot 10^{-4}$ - $1,0 \cdot 10^{-2}$ моль/л диапазонын қамтиды.

Тіркелген ең төменгі концентрация анықталған *Parmelia sulcata* қына үлгісінің нәтижелері ($C(K^+) = 3,7 \cdot 10^{-4}$ моль/л және $C(Na^+) = 2,3 \cdot 10^{-4}$ моль/л) осы есептелген LOQ көрсеткіштерімен сандық түрде салыстырылды. Салыстыру нәтижесі көрсеткендей, қына сығындысындағы иондар мөлшері әдістеменің сандық анықтау шегінен (LOQ) калий үшін 24 есе, ал натрий үшін 3,5 есе жоғары. Осылайша, қына үлгісінде HorRat индексінің тұрақты болуы (калий үшін 1,09 және натрий үшін 1,53) тек кездейсоқ математикалық сәйкестік емес, өлшенген шамалардың әдістің сандық анықтау шегінен (LOQ) сенімді түрде асып түсуінің және калибрлеу жүйесінің төменгі концентрациялар аймағындағы жоғары аналитикалық тұрақтылығының тікелей салдары екені ғылыми тұрғыдан толық дәлелденді.

4. Қорытынды

1. Алғаш рет төрт түрлі өсімдік (*Lythrum salicaria*, *Phragmites communis*, *Nonea pulla*, *Petunia hybrida*) және бір қына (*Parmelia sulcata*) матрицаларының мысалында тікелей потенциометрия көмегімен, калий және натрий иондарын сандық анықтау әдістемесіне халықаралық IUPAC/AOAC хаттамаларына сәйкес кешенді метрологиялық бағалау жүргізілді.

2. Бейімделген әдістеменің қайталанымдығы (сәйкестігі) Хорвиц математикалық моделі негізінде толықтай дәлелденді. Калий иондары үшін HorRat_r индексінің мәндері 0,72 - 1,50 (орташа мәні 1,004) аралығын, ал натрий иондары үшін 1,11 - 1,78 (орташа мәні 1,40) аралығын көрсетіп, халықаралық деңгейде рұқсат етілген 0,5 - 2,0 эмпирикалық диапазонына сәйкес келді.

3. Алынған метрологиялық сараптама қорытындысы бойынша ұсынылып отырған экспресс-әдіс өсімдік объектілерін талдау, физиологиялық зерттеулер мен экологиялық мониторинг міндеттерін шешуде қымбат тұратын жалынды фотометрия мен атомдық-абсорбциялық спектрометрия әдістеріне тиімді, қолжетімді, экологиялық таза және нәтижесі сенімді балама ретінде практикалық қолдануға ұсынылады.

5. Қосымша материалдар: қосымша материалдар жоқ.

6. Авторлық үлестер

Концептуализация - Г.Б., А.Т.; жетекшілік пен жобаны басқару - Г.Б.; әдістеме - Б.Е., Г.Б.; формалды талдау - К.Т., А.Т.; деректерді өңдеу - А.Т.; түпнұсқа жобаны жазу - Г.Б., Б.Е.; нәтижелерді тексеру - К.Т.; визуализация - А.Т.; зерттеу - А.Б.; редакциялау мен түзету - Г.Б., А.Б. Барлық авторлар қолжазбаның жарияланған нұсқасымен танысып, келісті.

7. Автор туралы ақпарат

Байсалова, Галия – Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің профессоры м.а., Қажымұқан көшесі, 13, Астана, Қазақстан, 010000; galya_72@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1338-0308>.

Ертай, Бекзада - Астана медицина университетінің магистранты, Сарыарқа даңғылы, 33, Астана, Қазақстан, 010000; Bekzada2001_2001@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-6883-0062>

Тосмағанбетова, Кульди – Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің аға оқытушы, Қажымұқан көшесі, 13, Астана, Қазақстан, 010000; Tosmaganbetova_ks@enu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-2731-6470>

Талтенов, Абзал – Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің профессоры, Қажымұқан көшесі, 13, Астана, Қазақстан, 010000; abzal06@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0620-3816>

Бердгалеева, Айман - биология ғылымдарының кандидаты, М. Оспанов атындағы Батыс-Қазақстан медициналық университетінің фармацевтикалық пәндер кафедрасының доценті, Маресьев көшесі, 68, Ақтөбе, Қазақстан, 030019; bak5393@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1197-4578>

8. Қаржыландыру: Бұл зерттеу ешқандай сыртқы қаржыландыруды алған жоқ.

9. Алғыстар: Жок.

10. Мүдделер қақтығысы: Мүдделер қақтығысы жоқ деп мәлімдейміз.

11. Әдебиеттер тізімі

1. Ahmad, R., Shaaban, H., Issa, S. Y., Alsaad, A., Alghamdi, M., Hamid, N., Osama, R., Algarni, S., Mostafa, A., & Alqarni, A. M. (2022) ICP-MS determination of elemental abundance in traditional medicinal plants commonly used in the Kingdom of Saudi Arabia. *Food Addit. Contam.:Part B*, 15, 129–141.
2. Bernal, A., Zafra, M. A., Simón, M. J., & Mahía, J. (2023). Sodium homeostasis, a balance necessary for life. *Nutrients*, 15(2), 395. <https://doi.org/10.3390/nu15020395>
3. Chen, W., Yang, Y., Fu, K., Zhang, D., & Wang, Z. (2022) Progress in ICP-MS analysis of minerals and heavy metals in traditional medicine. *Front. Pharmacol*, 13, 891273.
4. Chiang, B. M., Ye, M., Chattopadhyay, A., Halezeroglu, Y., Van Blarigan, E. L., & Abuabara, K. (2024). Sodium intake and atopic dermatitis. *JAMA Dermatology*, 160(7), 725–731. <https://doi.org/10.1001/jamadermatol.2024.1544>
5. Filippini, T., Malavolti, M., Whelton, P. K., Naska, A., Orsini, N., & Vinceti, M. (2021). Blood pressure effects of sodium reduction: dose–response meta-analysis of experimental studies. *Circulation*, 143(16), 1542-1567. <https://doi.org/10.1161/circulationaha.120.050371>
6. Fu, L., Shi, S. Y., & Chen, X. Q. (2018) Accurate quantification of toxic elements in medicine food homologous plants using ICP-MS/MS. *Food Chem*, 245, 692–697.
7. Gagnon, K.B., & Delpire, E. (2021). Sodium transporters in human health and disease. *Front Physiol*, 11, 588664. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.588664>
8. Garcia, R. A., Vanelli, C. P., & Pereira J. O. S. (2018). Comparative analysis for strength serum sodium and potassium in three different methods: Flame photometry, ion- selective electrode (ISE) and colorimetric enzymatic. *J Clin Lab Anal.*, 32, e22594. <https://doi.org/10.1002/jcla.22594>
9. Hanley, D. A., & Whiting, S. J. (2013). Does a high dietary acid content cause bone loss, and can bone loss be prevented with an alkaline diet? *J Clin Densitom*, 16, 420-5.
10. Hinderling, P. H. (2016). The pharmacokinetics of potassium in humans is unusual. *J Clin Pharmacol*, 56, 1212-20.
11. Horwitz, W., & Albert, R. (2006). The Horwitz ratio (HorRat): a useful index of method performance with respect to precision. *J. AOAC Int*, 89(4), 1095-1109.

12. Huang, L., Trieu, K., Yoshimura, S., Neal, B., Woodward, M., Campbell, N. R. C., Li, Q., Lackland, D. T., Leung, A. A., Anderson, C. A. M., MacGregor, G. A., & He, F. J. (2020). Effect of dose and duration reduction in dietary sodium on blood pressure levels: systematic review and meta-analysis of randomised trials. *BMJ*, 368, m315. <https://doi.org/10.1136/bmj.m315>
13. ICH Topic Q2 (R1) (2005). Validation of analytical procedures: text and methodology. International Conference on Harmonisation (ICH). Geneva, ICH Secretariat, 17 p. ich.org
14. Kurovsky, A., Khan, I., & Gummer, Y. (2024). Electrochemical methods in plant nutritional physiology: ionometry and conductometry. *Organic Fertilizers*, <https://doi.org/10.5772/intechopen.1007335>
15. Lanham-New, S. A., Lambert, H., & Frassetto, L. (2012). Potassium. *Advances in Nutrition*, 3(6), 820–821. <https://doi.org/10.3945/an.112.003012>
16. Mokgalaka, N. S., Gardea-Torresdey, J. L. (2006) Laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry: principles and applications. *Appl. Spectrosc. Rev*, 41, 131–150
17. Moreno-Rojas, R., Cámara-Martos, F., & Amaro-López, M. Á. (2016). *Potassium: properties and Determination*. Encyclopedia of Food and Health.
18. Naozuka, J., Pereira de Oliveira, A., Bolignano de Oliveira, H., Oliveira Lima, L., & Seimi Nomura, C. (2025). Determination of essential and toxic elements by ICP-MS in herbal medicines. *ACS Omega*, 10(43), 50695-50708. <https://doi.org/10.1021/acsomega.5c05971>
19. Roche, J. R. (2016). Feed Ingredients: feed supplements: macrominerals. Reference Module in Food Science. Encyclopedia of dairy sciences, 371-377. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.00759-9>
20. RD 52.24.365-2008. (2008). Mass concentration of sodium in water. Measurement procedure using the potentiometric method with an ion-selective electrode (Massovaya koncentraciya natriya v vodah. Metodika vypolneniya izmerenij potenciometricheskim metodom s ionselektivnym elektrodom in Russian). – Rostov-na-Donu, Gidrohimicheskij institut Rosgidrometa.
21. RD 52.24.415-2007. (2007). Mass concentration of potassium ions in water. Measurement procedure using the potentiometric method with an ion-selective electrode (Massovaya koncentraciya ionov kaliya v vodah. Metodika vypolneniya izmerenij potenciometricheskim metodom s ionselektivnym elektrodom in Russian). Rostov-na-Donu, Gidrohimicheskij institut Rosgidrometa.
22. Stone, M. S., Martyn, L., & Weaver, C. M. (2016). Potassium intake, bioavailability, hypertension, and glucose control. *Nutrients*, 8(7), 444. <https://doi.org/10.3390/nu8070444>
23. Thomas, R. (2001). A beginner's guide to ICP-MS. *Spectroscopy*, 16(4), 38-42.
24. Thomas, R. (2023). *Practical guide to ICP-MS and other atomic spectroscopy techniques*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003187639>
25. Umezawa, Y., Bühlmann, P., Umezawa, K., Tohda, K., & Amemiya, S. (2000) Potentiometric selectivity coefficients of ion-selective electrodes. Part I. Inorganic cations. *Pure Appl. Chem*, 72, 1851–2082.

Determination of inorganic components in extracts of plants and lichen by ionometry

Galiya Baisalova, Bekzada Yertay, Kuldi Tosmaganbetova, Abzal Taltenov, Aiman Berdgaleyeva

Abstract. The work is devoted to the adaptation of a rapid ionometric method for the determination of potassium (K^+) and sodium (Na^+) ions in aqueous extracts, using the matrix of four plant species

(*Lythrum salicaria*, *Phragmites communis*, *Nonea pulla*, *Petunia hybrida*) and one lichen (*Parmelia sulcata*) as an example, as well as to its metrological validation according to the international repeatability criterion HorRat_r .

During the study, an environmentally friendly aqueous extraction method was used to isolate target ions from plant and lichen raw materials. Quantitative analysis was performed by direct potentiometry (ionometry) using potassium- and sodium-selective electrodes. The evaluation of the repeatability of the method was carried out by calculating the HorRat_r index based on the Horwitz mathematical model. The results of the metrological evaluation demonstrated high reproducibility of the developed method. Despite the differences in the anatomical structure and element concentration levels among the plant and lichen samples, the HorRat_r index values ranged from 0,72 to 1,50 (mean value 1.004) for potassium ions, and from 1,11 to 1,78 (mean value 1,40) for sodium ions. All obtained indicators fell strictly within the acceptable empirical range (0,5-2,0) established by international IUPAC/AOAC protocols, proving the high stability of the method. It was confirmed that the ion-selective system yields accurate results even in the ultra-microconcentration range (demonstrated by the lichen sample). In addition, the limits of detection (LOD) and quantification (LOQ) for sodium and potassium ions were calculated.

Keywords: potassium ions; sodium ions; plant extract; HorRat_r index; potentiometric method; ionselective electrode; LOD/LOQ; selectivity coefficients; Nernstian slope.

Определение неорганических компонентов в экстрактах растений и лишайника методом ионометрии

Галия Байсалова, Бекзада Ертай, Кульди Тосмаганбетова, Абзал Талтенов, Айман Бердгалеева

Аннотация. Работа посвящена адаптации экспресс-методики ионометрического определения ионов калия (K^+) и натрия (Na^+) в водных экстрактах матриц четырёх видов растений (*Lythrum salicaria*, *Phragmites communis*, *Nonea pulla*, *Petunia hybrida*) и одного лишайника (*Parmelia sulcata*), а также ее метрологическому обоснованию по международному критерию повторяемости (сходимости) HorRat_r .

В ходе исследования применялся метод экологически чистой водной экстракции целевых ионов из сырья растений и лишайника. Количественный анализ выполнялся методом прямой потенциометрии (ионометрии) с помощью калий- и натрий-селективных электродов. Оценка повторяемости (сходимости) методики осуществлялась путем расчета индекса HorRat_r , основанного на математической модели Хорвица. Результаты метрологической экспертизы показали высокую воспроизводимость разработанной методики. Несмотря на различия в анатомическом строении и уровне концентрации элементов в образцах растений и лишайника, значения индекса HorRat_r составили от 0,72 до 1,50 (среднее значение 1,004) для ионов калия и от 1,11 до 1,78 (среднее значение 1,40) для ионов натрия. Все полученные показатели полностью уложились в допустимый эмпирический диапазон (0,5–2,0), установленный международными протоколами IUPAC/AOAC, что доказало высокую стабильность методики. Было доказано, что ионоселективная система показывает точные результаты даже в области ультрамикроразбавлений (на примере образца лишайника). Кроме того, для ионов натрия и калия были рассчитаны пределы обнаружения (LOD) и количественного определения (LOQ).

Ключевые слова: ионы калия; ионы натрия; растительный экстракт; индекс HorRat_r ; потенциометрический метод; ионоселективный электрод; LOD/LOQ; коэффициенты селективности; наклон Нернста.