

STUDY OF THE POSSIBILITY OF THE FORMATION OF COLLOIDAL SELENIUM SOLUTION

M.K. Zhubanys^{1*}, *A.B. Bayeshov*²

¹*Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan*

²*D.V. Sokolskiy Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry, Almaty, Kazakhstan*

*E-mail: madina.jubans@mail.ru

Abstract. *Introduction.* The antioxidant properties of selenium were discovered in the 1960s, leading to its recognition as an essential microelement for the human and animal body. Its primary function is to protect the body from oxidative stress. Research has shown that selenium nanoparticles possess high biological activity and low toxicity, making them suitable for applications in medicine and other fields. *Methods.* To obtain colloidal selenium solutions, sodium selenite, trivalent titanium sulfate, and gelatin were used. Bidistilled water served as the dispersion medium. Experiments were conducted at room temperature. The particle size distribution of the obtained colloidal solution was determined using the dynamic light scattering (DLS) method. Microphotographs were obtained using a scanning electron microscope. *Results and Discussion.* The results demonstrated that the reaction between sodium selenite and trivalent titanium sulfate led to the formation of amorphous selenium particles. It was found that adding gelatin significantly enhanced the stability of the colloidal solution. The average size of the particles ranged from 50 to 79 nm. The addition of gelatin increased the stability of the solution from 2 hours to over 240 hours. The findings revealed that the particles in the obtained colloidal solution were uniformly distributed, and the solution exhibited high stability. The proposed method is environmentally safe, simple, and does not require complex equipment. This method has significant potential for developing medical preparations, treating wounds, and creating solutions with antibacterial properties. *Conclusion.* The study confirmed the efficiency and prospects of the technology for producing colloidal selenium solutions. The novelty of this research is protected by a patent of the Republic of Kazakhstan.

Key words: Colloidal selenium, Dispersed particles, Titanium (III) ions, Gelatin solution, Selenite ions.

Zhubanys Madina PhD-doctoral student; E-mail: madina.jubans@mail.ru

Bayeshov Abduali Doctor of Chemical Science, Professor, Academician of the National Academy of Sciences of the Republic Kazakhstan; E-mail: bayeshov@mail.ru

КОЛЛОИДТЫ СЕЛЕН ЕРІТІНДІСІНІҢ ТҮЗІЛУ МҮМКІНШІЛІКТЕРІН ЗЕРТТЕУ

М.Қ. Жұбанис^{1*}, *А.Б. Байешов*²

¹*Абай атындағы Қазақ Ұлттық педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан*

²*«Д.В. Сокольский атындағы Жанармай катализ және электрохимия институты» АҚ, Алматы, Қазақстан*

*E-mail: madina.jubans@mail.ru

Citation: Zhubanys M.K., Bayeshov A.B. Study of the possibility of the formation of colloidal selenium solution. *Chem. J. Kaz.*, 2025, 1(89), 119-128. (In Kaz.). DOI: <https://doi.org/10.51580/2025-1.2710-1185.12>

Түйіндеме. *Kipicne.* Селеннің антиоксиданттық қасиеттері ХХ ғасырдың 60-жылдарында анықталып, оны адам мен жануар ағзалары үшін маңызды микроэлемент ретінде тануға негіз болды. Оның негізгі қызметі – ағзаны оксидантты стрестен қорғау. Зерттеу барысында селеннің нанобөлшектері жоғары биологиялық белсенділікке ие екендігі және ұйғтылығының төмендігі анықталды, бұл оны медицина және басқа да салаларда қолдануға мүмкіндік береді. *Әдістер.* Селеннің коллоидты ерітіндісін алу үшін натрий селениті, үш валентті титан сульфаты және желатин қолданылды. Дисперсиялық орта ретінде бидистилденген су пайдаланылды. Тәжірибелер бөлме температурасында жүргізілді. Алынған коллоидты ерітіндінің бөлшектерінің таралуы динамикалық жарық шашырауы әдісі арқылы анықталды. Микрофотографиялар сканерлеуші электрондық микроскоп көмегімен жасалды. *Нәтижелер мен талқылаулар.* Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, натрий селениті мен үш валентті титан сульфаты арасындағы реакция нәтижесінде аморфты селен бөлшектері түзілді. Желатин қосу коллоидты ерітіндінің тұрақтылығын едәуір арттыратыны анықталды. Олардың орташа өлшемі 50-79 нм аралығында болды. Желатиннің қосылуы ерітіндінің тұрақтылығын 2 сағаттан 240 сағатқа дейін арттырды. Зерттеу нәтижелері алынған коллоидты ерітіндінің бөлшектері біркелкі таралғанын және оның тұрақтылық қасиеттерінің жоғары екенін көрсетті. Ұсынылған әдіс экологиялық тұрғыда қауіпсіз, қарапайым және күрделі жабдықтарды қажет етпейді. Бұл әдіс медициналық препараттар жасауда, жараларды емдеу және антибактериалды қасиеттері бар шешімдер әзірлеуде үлкен әлеуетке ие. *Тұжырымы.* Зерттеу нәтижелері селен коллоидты ерітіндісін алу технологиясының тиімділігі мен перспективаларын көрсетеді. Бұл зерттеудің жаңалығы Қазақстан Республикасының патентімен қорғалды.

Түйін сөздер: коллоидты селен, дисперсті бөлшектер, титан (III) иондары, желатин ерітіндісі, селенит иондары.

Жұбаныс Мадина Қанжігітқызы

докторант

Баешов Абдуали

*химия ғылымдарының докторы, профессор,
ҚР ҰҒА академигі*

1. Кіріспе

ХХ ғасырдың 60-жылдарының басында селеннің антиоксиданттық қасиеттері анықталғаннан кейін, оны адам мен жануарлардың өмірі үшін қажетті маңызды микроэлемент ретінде қарастыра бастады. Микроэлементтің негізгі қызметі – ағзаны оксидантты стрестен қорғау. Адамның физиологиялық қажеттіліктерін қамтамасыз ету үшін элементтік селенді наномөлшерлі коллоидты ерітінді түрінде пайдалану перспективалы болып табылады [1]. Зат наномөлшемді және коллоидты күйге өткен кезде оның кейбір негізгі қасиеттері, соның ішінде биологиялық қасиеттері өзгереді.

Коллоидты ерітінділердегі дисперсті бөлшектердің мөлшері 10^{-7} - 10^{-5} см. Оларға тән қасиеттер – мөлдір, сүзгі қағаздан оңай өтеді. Дисперсті бөлшектер өз ортасында біркелкі таралады. Термодинамика тұрғысынан тұрақсыз. Уақыт өткен сайын ескіреді, яғни дисперсті фаза бөлшектері өзара бірігіп іріленеді, ауырлық күшінің әсерінен біртіндеп тұнбаға түседі. Бұл құбылысты болдырмау үшін әртүрлі стабилизаторлар қолданылады.

Әртүрлі элементтердің коллоидты ерітіндісін алу жолдары көп, солардың бірі тотықсыздандыру әдісі. Мысалы, мыс немесе селен иондарын катодта немесе мырышпен цементация арқылы тотықсыздандырғанда бұл элементтердің коллоидты ерітінділері түзілмей, ірі кристалдары түзіліп кетеді. Біздің алдын ала жүргізген зерттеулеріміз, жоғарыда көрсетілген

элементтердің иондарын үш валентті титан иондарымен арнайы жағдайда тотықсыздандырғанда, олардың коллоидты ерітінділер түзетіндігі алғаш рет көрсетілді [2].

АҚШ ғалымдары құрамында күміс нанобөлшектері бар коллоидты ерітінділерді әртүрлі жарақаттарды, күйікті, тропикалық жараны, экземаны және басқа да тері ауруларын емдеуде кеңінен қолдануға болатындығын көрсеткен [3]. Құрамында мыс нанобөлшектері бар коллоидты ерітінділердің де антибактериалды қасиеті бар екендігі көптен белгілі [4].

Кәдімгі ересек адамға диеталық қосымша ретінде күнделікті 40-300 мг/л селен қажет екен. Бұл элементтің аз мөлшерде адам организмінде болуы жануарлар мен адам ағзаларының дұрыс жұмыс істеуін қамтамасыз етеді [5]. Сонымен қатар, селен нанобөлшектерінің уыттылығы төмен және көптеген белгілі дәрілерде жоғары биологиялық белсенділікке ие болуы мүмкін екендігі анықталды [6-8]. Коллоидты селен патогендік бактерияларға қарсы тамаша функционалдылық қасиеттерін көрсетті. Сондай-ақ, селеннің коллоидты ерітінділері медицина, тотығу-тотықсыздану реакциялары, катализ, фотографиялық экспозиция өлшегіштері, жартылай өткізгіш түзеткіштер және басқа салаларда кеңінен қолданылатыны белгілі [9,10].

Селеннің коллоидты ерітіндісі лазерлік абляция әдісімен алынатыны белгілі [11]. Белгілі әдістің мәні келесідей: элементтік селен сәулеленудің толқын ұзындығы 1064 нм лазер сәулесімен шашырайды, импульс энергиясы 2.50 Дж, әр импульстің ұзақтығы 12 нс және импульстің жиілігі 1 Гц. Бүріккіш орта ретінде бидистилденген су пайдаланылды. Сонымен қатар, селеннің коллоидты ерітінділерінде орташа мөлшері бар бөлшектердің үш тобының болуы анықталды: 15 нм, 100 нм-ден жоғары және ондаған микрон. Осылайша, сулы ортада селеннің лазерлік абляциясы нәтижесінде концентрациясы 10 мг/л дейін селеннің коллоидты ерітіндісін алуға болатындығы көрсетілген.

Бұл әдістің негізгі кемшілігі-лазерлік қондырғының қымбаттығы және процестің күрделілігі, өйткені лазерлік өңдеу берілген параметрлерде жүргізілуі керек, атап айтқанда: лазердің сәулеленуінің белгілі бір толқын ұзындығы, импульс энергиясының мөлшері және оның белгілі бір ұзақтығы. Балама ретінде ультрадыбыстық және механикалық дисперсиялау әдістері қарастырылуы мүмкін [12-14]. Соңғы жылдары ультрадыбыстық ұсақтау процесі зертханалық тәжірибеде 100 нм-ден кіші бөлшектерден тұратын металл нанопорошоктарын алу үшін қолданылуда. Зерттеудің мақсаты селеннің коллоидты ерітінділерін қарапайым әдіс арқылы алуға болатындығын көрсету.

2. Тәжірибелік бөлім

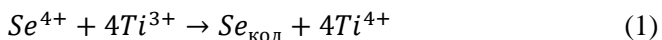
Селеннің коллоидты ерітіндісін алу үшін селенит иондары бар сулы ерітіндісі, үш валентті титан сульфаты және желатин қолданылды. Дисперсиялық орта ретінде бидистилденген су қолданылды. Зерттеу

жұмыстары сыйымдылығы 100 мл химиялық стаканда жүргізілді. Сулы ерітіндідегі селен концентрациясы **индуктивті байланысқан плазмамен атомдық-эмиссиялық спектроскопия** әдісі арқылы анықталды. Бөлшектердің өлшемдері бойынша таралуы динамикалық жарық шашырауы (ДЖШ) әдісі арқылы Zetasizer Nano ZS (Malvern, Ұлыбритания) құрылғысының көмегімен әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің зертханасында бағаланды. Коллоидты жүйелердегі дисперстік фазаның бөлшектері жылулық қозғалыс нәтижесінде хаотикалық қозғалыстар жасайды, секундына шамамен 10^1 рет бағытты өзгертеді. Сондықтан, ДЖШ құрылғысында бірнеше рет қатарынан өлшеу жүргізілді.

Коллоидты селен ерітіндісін шыны пластинканың бетіне тамызып, сосын оны кептіріп, содан соң оның микрофотографиясы (JSM-6610 LV) түсірілді.

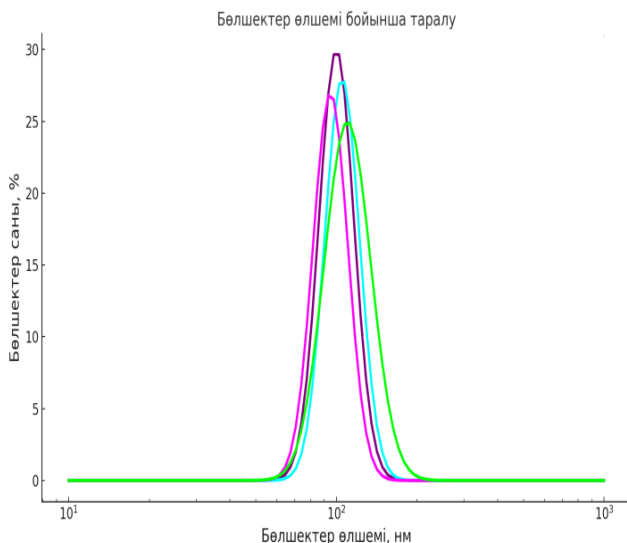
3. Зерттеу нәтижелері мен талқылануы

Тәжірибе бөлме температурасында натрий селенитінің сулы ерітіндісіне титанның үш валентті сульфатын эквивалентті мөлшерін қосу арқылы жүзеге асырылады. Ұсынылып отырған әдістің мәні келесіде: натрий селенитінің ерітіндісіне үш валентті титан сульфатының ерітіндісі біртіндеп қосылып отырады. Белгілі бір жағдайларда, яғни селенит-иондары мен титан (III) иондарының эквиваленттік қатынасы кезінде, 5-7 минут ішінде ерітінді түсі ашық қызылт түске айналады. Бұл кезде келесі реакция жүреді:



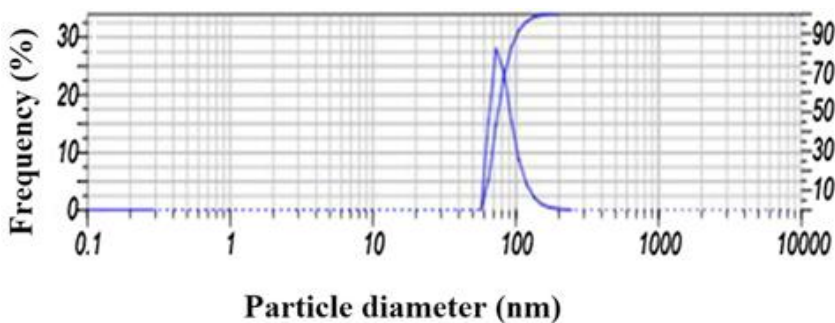
Ашық қызыл түс - элементті аморфты селеннің коллоидты ерітіндісінің пайда болуымен түсіндіріледі. Коллоидты селен ерітіндісінің тұрақтылығы тәжірибе жағдайларына байланысты 2-3 сағаттан аспайды. Селеннің (IV) бастапқы құрамына, сондай-ақ желатин концентрациясына байланысты коллоидты ерітіндінің тұрақтылық уақыты 240 сағаттан асатындығын зерттеу нәтижелері көрсетті.

Алынған селеннің коллоидты ерітіндісіндегі бөлшектердің өлшемдері бойынша таралуы 1-суретте көрсетілген. Бөлшектердің таралуында бір негізгі пик байқалады, ол орташа өлшемдегі бөлшектерден тұрады. Сигнал қарқындылығын ескере отырып, таралудағы пик орташа өлшемі шамамен 200 нм болатын бөлшектерге сәйкес келеді. Алайда, бөлшектердің санына қарай таралу кезінде орташа өлшем кіші мәндер жағына қарай ығысады. Бұл нәтиже алынған коллоидты ерітіндінің бөлшектері өлшемдерінің біркелкілігін көрсетеді және дисперсия процесінің тиімділігін айқындайды.



Сурет 1 - Селеннің коллоидты ерітіндісіндегі бөлшектердің өлшемдер бойынша таралуы

Динамикалық жарық шашырау техникасы [15] арқылы селеннің орташа өлшемі 50-ден 79 нм-ге дейін анықталды (сурет 2). 2-суретте тұрақтандырылған селен нанобөлшектерінің таралуы көрсетілген.

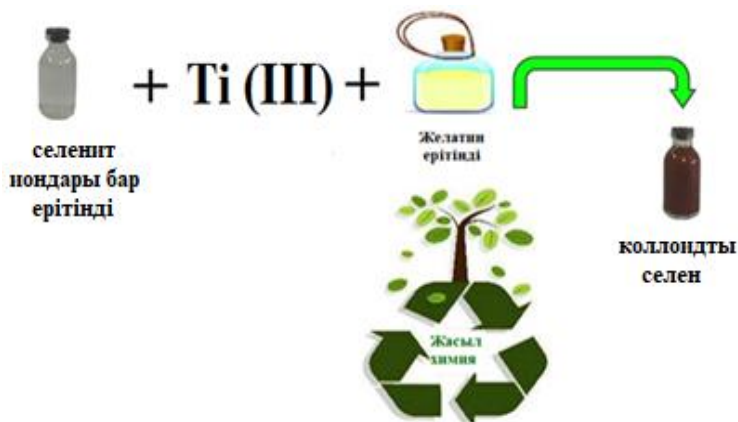


Сурет 2 - Желатин ерітіндісі қатысындағы селен агрегаттарының дифференциалды таралу кысықтары

Тәжірибелер бөлме температурасында 100 мл шыны стаканда жүргізілді. Әрбір тәжірибе 2-3 реттен қайталанды.

Мысал 1. 0.1 г/л концентрациясы бар селенит иондарының сулы сульфат ерітіндісіне үш валентті титан сульфатының эквивалентті мөлшері қосылады. 5-7 минуттан кейін ашық қызыл түсті селеннің коллоидты ерітіндісі пайда болады. Екі сағаттан кейін стаканның түбіне ультра дисперсті селен ұнтағының баяу тұнуы басталады, яғни коллоидты ерітіндінің тұрақтылығы бұзылады.

Мысал 2. 1-мысалға ұқсас, бірақ 5-7 минуттан кейін концентрациясы 0.1 г/л желатин ерітіндісі қосылады. бұл жағдайда селен ұнтағының коллоидтық ерітіндісінің тұрақтылығы 24 сағатқа дейін сақталады, содан кейін стаканның түбіне ультра дисперсті селен ұнтағының біртіндеп тұнуы байқалады. 3 – суретте коллоидты селенді алудың үлгілік сызбасы көрсетілген.



Сурет 3 – Коллоидты селен алу сызбасы

Мысал 3. Құрамында 0.05 г/л концентрациясы бар селенит иондары бар ерітіндіге үш валентті титан сульфатының баламалы мөлшері қосылады, содан кейін 0.05 г/л концентрациясы бар желатин ерітіндісі қосылады. Коллоидты ерітіндінің тұрақтылығы 24 сағат.

Мысал 4. 0.01 г/л концентрациясы бар селенит иондарының сулы ерітіндісіне үш валентті титан сульфатының баламалы мөлшері қосылады. 5-7 минуттан кейін бұл ерітіндіге 0.02 г/л концентрациясы бар желатин ерітіндісі қосылады. Бұл жағдайда коллоидты ерітіндінің тұрақтылығы 240 сағат бойы сақталады (кесте 1).

Кесте 1 – Коллоидты селен ерітіндісінің тұрақтылығына селен (IV) иондарының және желатин концентрациясының әсері

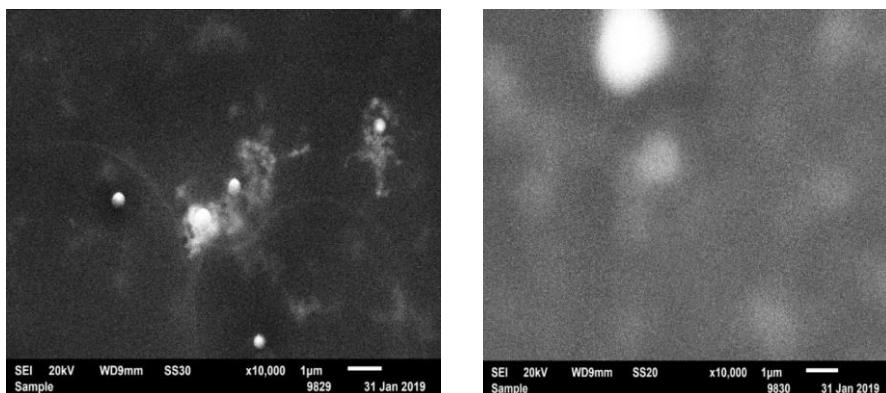
№	Se (IV) г/л	Ti (III) г/л	желатин г/л	τ, сағат
1	0.1	0.1	-	2
2	0.1	0.1	0.1	24
3	0.05	0.1	0.05	24
4	0.01	0.1	0.02	240

Коллоидты селен бөлшектерінің микрофотографиясы 4 - суретте көрсетілген. Ерітіндідегі коллоидты бөлшектердің микро суретін түсіру өте қиын себебі олардың мөлшері 10^{-7} - 10^{-5} шамасында болады. Сонда да болса, алынған коллоидты селен ерітіндісіндегі коллоидты бөлшектердің

микрофотографиясын түсіруге талаптандық. Коллоидты селен ерітіндісін жұқа шыныны бетіне тамызып, оны кептіріп, коллоид бөлшектерінің микрофотографиясы түсірілді. 4 – суретте көрініп тұрғандай, өте майда наноразмерлі селен бөлшектерінен құралған бұлт тәріздес бейнесін байқауға болады.

Тәжірибе жүзінде қарастырылып отырған жұмыстың көптеген артықшылықтары бар екені анықталды:

- анализге кететін уақыттың қысқа болуы;
- реакция жүруіне кедергі келтіретін бөгде көптеген компоненттерді бөліп алу немесе активсіздендірудің қажеті жоқ;
- реакция өз еркімен жүреді, оны жүргізудің немесе тездетудің қажеті жоқ (температураны жоғарылатудың немесе катализаторларды қолданудың қажеті жоқ).



Сурет 4 - Коллоидты селен ерітіндісіндегі селен бөлшектерінің микрофотографиясы

Осылайша, коллоидты селен ерітіндісін алудың ұсынылған әдісінде процесс әлдеқайда арзандайды және жеңілдетіледі:

- қымбат және қол жетімді емес лазерлік қондырғыны пайдаланудың қажеті жоқ;

- процесс электр тогы болмаған кезде жүреді, осыған байланысты оны кез-келген зертханалық және далалық жағдайда жүргізуге болады;

- қажетті реагент - үш валентті титан сульфатының ерітіндісін зертханада белгілі әдіспен оңай синтездеуге болады. Бұл зерттеулердің жаңалығы Қазақстан Республикасының патентімен қорғалды [16].

4. Қорытынды

Осы зерттеудің нәтижелері селеннің коллоидты ерітіндісін алудың тиімді әдісін көрсетіп, оның тұрақтылығын арттырудың негізгі факторларын анықтады. Натрий селениті мен үш валентті титан сульфатының өзара әрекеттесуінің нәтижесінде аморфты селен бөлшектерінің түзілуі расталды.

Алынған ерітіндідегі бөлшектердің мөлшері 50-79 нм аралығында болды, ал желатиннің қосылуы олардың тұрақтылығын арттырды.

Ұсынылған әдістің басты артықшылықтары – экологиялық қауіпсіздік, қарапайымдылық және күрделі жабдықтардың қажеттілігінің болмауы. Бұл технология медициналық препараттар әзірлеу, жараларды емдеу және бактерияға қарсы шешімдер дайындау үшін үлкен перспективалар ұсынады. Сонымен қатар, селеннің антиоксиданттық және биологиялық белсенді қасиеттері оның медицина және фармацевтика салаларында кеңінен қолданылуына мүмкіндік береді.

Зерттеу нәтижелері коллоидты селен ерітінділерін қарапайым және үнемді әдістер арқылы алу мүмкіндігін көрсетті. Болашақта бұл әдісті одан әрі жетілдіру және оның биомедициналық, фармацевтикалық және өндірістік қолданылуын кеңейту бойынша қосымша зерттеулер қажет. Осылайша, әзірленген әдіс селеннің наноматериалдарын алудың жаңа перспективалық бағыты ретінде қарастырылады.

Мүдделер қақтығысы: Авторлар бұл мақалада өзара мүдделер қақтығысының жоқтығын мәлімдейді.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ КОЛЛОИДНОГО РАСТВОРА СЕЛЕНА

М.К. Жубаныс^{1}, А.Б. Баешов²*

¹Казахский Национальный педагогический Университет имени Абая, Алматы, Казахстан

²Институт топлива, катализа и электрохимии имени Д.В. Сокольского, Алматы, Казахстан

*E-mail: madina.jubans@mail.ru

Резюме. Введение. Антиоксидантные свойства селена были выявлены в 60-х годах XX века, что стало основанием для признания его важным микроэлементом для организма человека и животных. Его основная функция заключается в защите организма от оксидативного стресса. В ходе исследования установлено, что наночастицы селена обладают высокой биологической активностью и низкой токсичностью, что открывает возможности для их применения в медицине и других областях. **Методы.** Для получения коллоидного раствора селена использовались селенит натрия, трёхвалентный сульфат титана и желатин. В качестве дисперсионной среды применялась бидистиллированная вода. Эксперименты проводились при комнатной температуре. Распределение частиц по размеру в полученном коллоидном растворе определялось методом динамического светорассеяния (ДСС). Микрофотографии получены с использованием сканирующего электронного микроскопа. **Результаты и обсуждение.** Результаты показали, что в результате реакции между селенитом натрия и трёхвалентным сульфатом титана образуются аморфные частицы селена. Установлено, что добавление желатина значительно увеличивает стабильность коллоидного раствора. Средний размер частиц варьировался в пределах от 50 до 79 нм. Добавление желатина увеличивало стабильность раствора с 2 часов до более чем 240 часов. Исследование показало, что частицы в полученном растворе равномерно распределены, а сам раствор обладает высокой стабильностью. Предложенный метод является экологически безопасным, простым и не требует сложного оборудования. Этот подход имеет большой потенциал для разработки медицинских препаратов, лечения ран и создания растворов с антибактериальными свойствами. **Заключение.** Исследование подтвердило эффективность и перспективность технологии получения коллоидного раствора селена. Новизна данного исследования защищена патентом Республики Казахстан.

Ключевые слова: коллоидный селен, дисперсные частицы, ионы титана (III), раствор желатина, ионы селенита.

<i>Жубаныс Мадина Канжигиткызы</i>	<i>докторант</i>
<i>Баешов Абдуали</i>	<i>доктор химических наук, профессор, академик НАН РК</i>

Әдебиеттер тізімі

1. N. Bisht, P. Phalswal, P.K. Khanna Selenium nanoparticles: a review on synthesis and biomedical applications, *Mater. Adv.*, **2022**, 3, 1415-1431. DOI: 10.1039/d1ma00639h
2. Баешов А., Баешова А.К. Современные электрохимические способы получения ультра- и нанодисперсных порошков меди. Алматы, «Қазақ университеті», **2021**, 75 с.
3. Singh M, Thakur V, Kumar V, Raj M, Gupta S, Devi N, Upadhyay SK, Macho M, Banerjee A, Ewe D, Saurav K. Silver Nanoparticles and Its Mechanistic Insight for Chronic Wound Healing: Review on Recent Progress, *Molecules*, **2022**, 27(17):5587. DOI: 10.3390/molecules27175587
4. Рахметова А.А. Изучение биологической активности наночастиц меди, различающихся по дисперсности и фазовому составу: автореф. дис. канд. биол. наук. Москва, **2011**. 25 с.
5. Uchechukwu S, Ezealigo, Blessing N, Ezealigo, Samson O, Aisida, Fabian I, Ezema, Iron oxide nanoparticles in biological systems: Antibacterial and toxicology perspective. *JCIS Open*, **2021**, 4,100027. DOI: 10.1016/j.jciso.2021.100027
6. Mikhailova E.O. Selenium Nanoparticles: Green Synthesis and Biomedical Application, *Molecules*, **2023**, 28(24), 8125. DOI: 10.3390/molecules28248125
7. Dikshit P.K., Kumar, J., Das A.K., Sadhu S., Sharma S., Singh S., Gupta P. K., Kim B.S. Green Synthesis of Metallic Nanoparticles: Applications and Limitations. *Catalysts*, **2021** 11(8), 902. DOI: 10.3390/catal11080902
8. Qazi, I. H., Angel, C., Yang, H., Zoidis, E., Pan, B., Wu, Z., Ming, Z., Zeng, C.-J., Meng, Q., Han, H., & Zhou, G. Role of Selenium and Selenoproteins in Male Reproductive Function: A Review of Past and Present Evidences. *Antioxidants*, **2019**, 8(8), 268. DOI: 10.3390/antiox8080268
9. Murphy C.J., Sau T.K., Gole A.M., Orendorff C.J, Gao J., Gou L., Hunyadi S.E., Li T. Anisotropic metal nanoparticles: Synthesis, assembly, and optical applications. *J Phys Chem B.*, **2005**, 109(29), 13857-13870. DOI: 10.1021/jp0516846.
10. Panahi-Kalamuei M., Salavati-Niasari M., and Hosseinpour-Mashkani S.M. Facile microwave synthesis, characterization, and solar cell application of selenium nanoparticles. *J. Alloys Compd.*, **2014**, 617, 627-632. DOI:10.1016/j.jallcom.2014.07.174.
11. Kochemirovskaia S.V., Lebedev D.V., Fogel A.A. et al. Properties of Selenium Colloidal Solution Obtained via Laser Ablation and a Subsequent Method for Producing Highly Dispersed CuInSe₂. *JOM.*, **2021**, 73, 646–654. DOI: 10.1007/s11837-020-04407-x
12. Bishop KJ, Wilmer CE, Soh S, Grzybowski BA. Nanoscale forces and their uses in self-assembly. *Small*, **2009**, 5(14), 1600-1630. DOI: 10.1002/sml.200900358.
13. Cabanas-Polo S., Suslick K.S., Sanchez-Herencia A.J. Effect of reaction conditions on size and morphology of ultrasonically prepared Ni(OH)₂ powders. *Ultrason. Sonochem.*, **2011**, 18(4), 901–906. DOI: 10.1016/j.ulsonch.2010.11.017.
14. Gedanken A. Using sonochemistry for the fabrication of nanomaterials. *Ultrason Sonochem.*, **2004**, 11(2), 47-55. DOI:10.1016/j.ulsonch.2004.01.037.
15. Shi L.G., Yang R.J., Yue W.B., Xun W.J., Zhang C.X., Ren Y.S., Shi L., Lei F.L. Effect of elemental nano-selenium on semen quality, glutathione peroxidase activity, and testis ultrastructure in male Boer goats. *Anim Reprod Sci.*, **2010**, 118(2-4), 248-254. DOI: 10.1016/j.anireprosci.2009.10.003.
16. Патент на полезную модель РК №4267. Способ приготовления коллоидных растворов селена, Баешов А.Б., Кадирбаева А.С., Баешова А.К., Жылысбаева А.Н., Жубаныс М.К., **2019**.

References

1. N. Bisht, P. Phalswal, P.K. Khanna Selenium nanoparticles: a review on synthesis and biomedical applications, *Mater. Adv.*, **2022**, 3, 1415-1431. DOI: 10.1039/d1ma00639h
2. Baeshov A., Baeshova A.K. Sovremennyye jelektrohimicheskie sposoby poluchenija ul'tra- i nanodispersnyh poroshkov medi. Алматы, «Қазақ университети», **2021**, 75 p. (In Russ).

3. Singh M, Thakur V, Kumar V, Raj M, Gupta S, Devi N, Upadhyay SK, Macho M, Banerjee A, Ewe D, Saurav K. Silver Nanoparticles and Its Mechanistic Insight for Chronic Wound Healing: Review on Recent Progress, *Molecules*, **2022**, 27(17):5587. DOI:10.3390/molecules27175587
4. Rahmetova A.A. Izuchenie biologicheskoy aktivnosti nanochastic medi, razlichajushhihsja po dispersnosti i fazovomu sostavu: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk. [Study of the biological activity of copper nanoparticles differing in their dispersion and phase composition] Moskva, **2011**. 25 p. (In Russ).
5. Uchechukwu S. Ezealigo, Blessing N. Ezealigo, Samson O. Aisida, Fabian I. Ezema, Iron oxide nanoparticles in biological systems: Antibacterial and toxicology perspective. *JCIS Open*, **2021**, 4,100027. DOI: 10.1016/j.jciso.2021.100027
6. Mikhailova E.O. Selenium Nanoparticles: Green Synthesis and Biomedical Application, *Molecules*, **2023**, 28(24), 8125. DOI: 10.3390/molecules28248125
7. Dikshit P.K., Kumar, J., Das A.K., Sadhu S., Sharma S., Singh S., Gupta P. K., Kim B.S. Green Synthesis of Metallic Nanoparticles: Applications and Limitations. *Catalysts*, **2021** 11(8), 902. DOI: 10.3390/catal11080902
8. Qazi, I. H., Angel, C., Yang, H., Zoidis, E., Pan, B., Wu, Z., Ming, Z., Zeng, C.-J., Meng, Q., Han, H., & Zhou, G. (Role of Selenium and Selenoproteins in Male Reproductive Function: A Review of Past and Present Evidences. *Antioxidants*, **2019**, 8(8), 268. DOI: 10.3390/antiox8080268
9. Murphy C.J., Sau T.K., Gole A.M., Orendorff C.J, Gao J., Gou L., Hunyadi S.E., Li T. Anisotropic metal nanoparticles: Synthesis, assembly, and optical applications. *J Phys Chem B*, **2005**, 109(29), 13857-13870. DOI:10.1021/jp0516846.
10. Panahi-Kalamuei M., Salavati-Niasari M., and Hosseinpour-Mashkani S.M. Facile microwave synthesis, characterization, and solar cell application of selenium nanoparticles. *J. Alloys Compd.*, **2014**, 617, 627-632. DOI:10.1016/j.jallcom.2014.07.174.
11. Kochemirovskaia S.V., Lebedev D.V., Fogel A.A. et al. Properties of Selenium Colloidal Solution Obtained via Laser Ablation and a Subsequent Method for Producing Highly Dispersed CuInSe₂. *JOM*, **2021**, 73, 646–654. DOI:10.1007/s11837-020-04407-x
12. Bishop KJ, Wilmer CE, Soh S, Grzybowski BA. Nanoscale forces and their uses in self-assembly. *Small*, **2009**, 5(14), 1600-1630. DOI: 10.1002/smll.200900358.
13. Cabanas-Polo S., Suslick K.S., Sanchez-Herencia A.J. Effect of reaction conditions on size and morphology of ultrasonically prepared Ni(OH)₂ powders. *Ultrason. Sonochem.*, **2011**, 18(4), 901–906. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2010.11.017.
14. Gedanken A. Using sonochemistry for the fabrication of nanomaterials. *Ultrason Sonochem*, **2004**, 11(2), 47-55. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2004.01.037
15. Shi L.G., Yang R.J., Yue W.B., Xun W.J., Zhang C.X., Ren Y.S., Shi L., Lei F.L. Effect of elemental nano-selenium on semen quality, glutathione peroxidase activity, and testis ultrastructure in male Boer goats. *Anim Reprod Sci*, **2010**, 118(2-4), 248-254. DOI: 10.1016/j.anireprosci.2009.10.003.
16. Patent RK №4267. Sposob prigotovlenija kolloidnyh rastvorov selena [Method of preparation of colloidal selenium solutions], Baeshov A.B., Kadirbaeva A.S., Baeshova A.K., Zhylyysbaeva A.N., Zhubanys M.K., **2019**. (In Kazakh).