



O'zbekiston Respublikasi
Maktabgacha va maktab
ta'limi vazirligi

ISSN: 2992-9008
UDK: 37

TA'LIM VA TARAQQIYOT

Ilmiy-uslubiy jurnali



2026-YIL 4-SON

www.journal.namspi.uz

Bosh muharrir: Namangan davlat pedagogika instituti rektori B.E.Xusanov
Mas'ul muharrir: Ilmiy ishlar va innovatsiyalar bo'yicha prorektor M.R.Qodirxonov
Mas'ul muharrir o'rinbosari: Ilmiy tadqiqotlar, innovatsiyalar va ilmiy-pedagogik kadrlar tayyorlash bo'limi boshlig'i J.A.Yuldashev

TAHRIR HAY'ATI

Aniq va tabiiy fanlar: k.f.d., prof. Sh.Abdullayev, f-m.f.d., dots. R.Xakimov, k.f.d., prof. N.Vohidova, k.f.d., dots. M.Qodirxonov, b.f.d., dots. A.Batashov, f-m.f.n., dots., T.Abdullayev, p.f.n., dots. M.Eshnazarova, p.f.n., dots. G'.Nafasov, p.f.n., dots. M.Boltayeva.

Texnika fanlari: t.f.d., prof. A.Umarov, t.f.d., prof. A.Qayumov, PhD, dots. Sh.Xudoyqulov, PhD, dots. Abdunazarov.

Ijtimoiy-gumanitar fanlar: s.f.d., prof. T.Fayzullayev, tar.f.d., prof. A.Rasulov. f.f.d., prof. M.Ismoilov, i.f.d., dots. N.Sotivoldiyev, t.f.n., dots. A.Isoqboyev, f.f.n., dots. O.Mamatov, t.f.n., dots. Z.Haydarov, PhD. J.Yuldashev, PhD. A.Abdullayev.

Pedagogika fanlari: p.f.d., prof. B.Xodjayev, p.f.d., prof. X.Najmiddinova, p.f.d., prof. T.Ismoilov, p.f.d., prof. S.Abdullayev. p.f.d., prof., M.Y.Sobirova, p.f.d., prof., R.Zamilova, p.f.d., prof. Sh.Xujamberdiyeva, p.f.d., dost. M.Asqarova, PhD, dots. M.Asranboyeva.

Filologiya fanlari: fil.f.d., prof. N.Uluqov, fil.f.d., prof. H.Usmanova, f.f.d., dots. X.Shokirova, p.f.n., dots. S.Misirov, p.f.n., dots. Sh.Ubaydullayev, PhD., dots. P.Lutfullayev, PhD., dots. M.Yakubbayev.

Texnik muharrir: R.Tursunov

Tahririyat manzili: Namangan shahri, Uychi ko'chasi, 316-uy.

Pochta indeksi: 160136, **Faks:** (0369) 227-27-21,

Email: Info@namspi.uz

"Ta'lim va taraqqiyot" ilmiy-uslubiy jurnali elektron to'plam sifatida O'zbekiston Respublikasi Prezidenti Administratsiyasi huzuridagi **Axborot va ommaviy kommunikatsiyalar agentligi (AOKA)ning 2022-yil 25-oktabrdagi № 045044 raqamli guvohnomasi** asosida chop etiladi. Jurnal **Oliy Attestatsiya komissiyasining 2024-yil 30-noyabrdagi (№ 364/5) yig'ilishi qaroriga asosan pedagogika fanlari bo'yicha falsafa fanlari doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan asosiy ilmiy natijalarini chop etish uchun tavsiya etilgan.** UDK: 37, Xalqaro standartlashtirish raqami (ISSN): 2992-9008.

Maqolalarning ilmiy saviyasi va keltirilgan ma'lumotlar uchun mualliflar javobgar hisoblanadi.

YASHIL KIMYO TA'LIMINI RIVOJLANTIRISHNING HALQARO TAJIBALARI

Hilolaxon Yusupova Shuxratovna,

Namangan davlat pedagogika instituti stajer-tadqiqotchisi,

E-mail: yusupovahilola22@gmail.com

Qodirxonov Murodxon Rashidxonovich

Namangan davlat pedagogika instituti professori, k.f.d

Annotatsiya. Mazkur maqolada maktab ta'limining kimyo fani dasturlariga yashil kimyo ta'limini integratsiya qilishning ilmiy-metodik asoslari va pedagogik texnologiyalarini ishlab chiqish hamda xalqaro tajribalar asosida O'zbekiston ta'lim tizimiga mos integratsiya modelini taklif etishdan iborat. Tadqiqotda qiyosiy tahlil, kontent tahlili, tizimli tahlil, shuningdek kompetensiyaviy yondashuv hamda tizimli fikrlash metodologiyasidan foydalanildi. Maqolada UNESCO, ACS, IUPAC ma'lumotlari hamda so'ngiyillarda chop etilgan ilmiy maqolalar sharxlangan.

Kalit so'zlar: yashil kimyo, kimyo ta'limi, barqaror rivojlanish, tizimli fikrlash, kompetensiyaviy yondashuv, yashil laboratoriya.

INTERNATIONAL EXPERIENCES IN THE DEVELOPMENT OF GREEN CHEMISTRY EDUCATION

Hilolaxon Yusupova Shuxratovna

Researcher at Namangan State Pedagogical Institute, yusupovahilola22@gmail.com

Qodirxonov Murodxon Rashidxonovich

Professor at Namangan State Pedagogical Institute

Abstract. This article aims to develop the scientific and methodological foundations and pedagogical technologies for integrating green chemistry education into school chemistry curricula, as well as to propose an integration model adapted to the education system of Uzbekistan based on international experience. The study employed comparative analysis, content analysis, systems analysis, as well as a competency-based approach and systems thinking methodology. The article also reviews materials and recommendations developed by UNESCO, ACS, and IUPAC, along with recent scientific publications in the field.

Keywords: green chemistry, chemistry education, sustainable development, systems thinking, ESD, competency-based approach, green laboratory, economy, life cycle assessment.

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОПЫТ РАЗВИТИЯ ОБРАЗОВАНИЯ В ОБЛАСТИ ЗЕЛЕННОЙ ХИМИИ

*Хилолахон Юсупова Шухратовна,
стажер-исследователь Наманганского государственного педагогического института,
E-mail: yusupovahilola22@gmail.com
Кодирхонов Муродхон Рашидхонович
Профессор Наманганского государственного педагогического института, кандидат
филологических наук*

Аннотация. Цель данной статьи — разработка научно-методологических основ и педагогических технологий интеграции образования в области зеленой химии в школьные программы по химии и предложение модели интеграции, подходящей для системы образования Узбекистана, на основе международного опыта. В исследовании использованы сравнительный анализ, контент-анализ, систематический анализ, а также компетентностный подход и методология системного мышления. В статье рассматриваются данные ЮНЕСКО, АКС, ИЮПАК и научные статьи, опубликованные в последние годы.

Ключевые слова: зеленая химия, химическое образование, устойчивое развитие, системное мышление, компетентностный подход, зеленая лаборатория.

KIRISH

XXI asrda insoniyat oldida turgan eng dolzarb muammolar — iqlim o'zgarishi, atmosfera havosining ifloslanishi, suv va tuproq resurslarining degradatsiyasi, biologik xilma-xillikning kamayishi hamda tabiiy resurslardan samarasiz foydalanish bilan bog'liq ekologik xavflardir. Ushbu muammolarni hal etishda fan va ta'limning, ayniqsa kimyo ta'limining o'rni alohida ahamiyat kasb etadi. Kimyo fani nafaqat sanoat va texnologiyalar rivojlanishining ilmiy asosi, balki ekologik muammolarni oldini olish va barqaror rivojlanishni ta'minlashning muhim vositasi ham hisoblanadi.

So'nggi yillarda xalqaro miqyosda kimyo ta'limini modernizatsiya qilish jarayonida "Yashil kimyo tamoyillari" konsepsiyasi keng rivojlanmoqda. Bu konsepsiyaning ilmiy-nazariy negizi P.Anastas va J.Warner tomonidan asoslab berilgan bo'lib, ular kimyoviy jarayonlarni loyihalashda xavfli moddalardan voz kechish, chiqindilarni oldini olish va atom iqtisodiyoti kabi 12 tamoyilni ilgari surgan [1]. Mazkur konsepsiya kimyo fanini o'qitishda ekologik xavfsizlik, resurslardan oqilona foydalanish, energiya samaradorligi, chiqindilarni kamaytirish va aylanma iqtisodiyot tamoyillarini o'quv jarayoniga

integratsiya qilishni nazarda tutadi. UNESCO tomonidan ishlab chiqilgan "Education for Sustainable Development: A Roadmap" hujjatida ta'lim tizimining asosiy vazifalaridan biri o'quvchilarda barqaror rivojlanish kompetensiyalarini shakllantirish ekani alohida ta'kidlangan [2]. Xuddi shuningdek, IUPAC tomonidan boshlangan xalqaro loyiha doirasida kimyo ta'limini tizimli fikrlash asosida qayta yo'naltirish tavsiya etiladi [3,4], bu esa maktab va oliy ta'lim dasturlariga yashil kimyo tamoyillarini bosqichma-bosqich joriy etishni nazarda tutadi.

Kimyo ta'limini yashil kimyo tamoyillari asosida modernizatsiya qilish nafaqat o'quvchilarning nazariy bilimlarini oshiradi, balki ularda ekologik madaniyat, tanqidiy va tizimli fikrlash, muammolarni kompleks tahlil qilish, xavfsiz laboratoriya faoliyatini tashkil etish hamda ekologik mas'uliyatni rivojlantirishga xizmat qiladi [5,6]. Shu sababli rivojlangan davlatlar, jumladan AQSH, Buyuk Britaniya, Germaniya, Yaponiya, Finlandiya, Avstraliya, Janubiy Koreya va Xitoyda maktab kimyo ta'limi dasturlariga yashil kimyo elementlarini integratsiya qilish davlat ta'lim siyosatining ustuvor yo'nalishlaridan biri sifatida qaralmoqda.

O'zbekistonda ham 2023-yil 11-sentabrda qabul qilingan "O'zbekiston Respublikasida 2030-yilgacha 'yashil' iqtisodiyotga o'tish strategiyasi to'g'risida"gi PF-158-son Farmon [7], ekologik ta'limni rivojlantirishga qaratilgan davlat dasturlari va ta'lim sohasidagi islohotlar yashil kimyo ta'limini rivojlantirish uchun qulay shart-sharoit yaratmoqda. Biroq umumiy o'rta ta'lim maktablarining amaldagi kimyo o'quv dasturlari tahlili shuni ko'rsatadiki, yashil kimyoning 12 tamoyili, Tizimli fikrlash, Hayotiy siklni baholash (HSB), Yashil laboratoriya kabi zamonaviy yondashuvlar hali tizimli ravishda o'quv mazmuniga integratsiya qilinmagan. Bu esa ekologik kompetensiyalarning yetarli darajada shakllanmasligiga olib kelmoqda.

Yashil kimyo ta'limining nazariy va metodologik asoslari P. Anastas va J. Warnerning fundamental ishida [1], shuningdek I. Eilks va hamkasblarining maktab kimyo ta'limiga oid tadqiqotlarida [8,9,10] yoritilgan. Burmeister, Rauch va Eilks (2012)

tomonidan o'tkazilgan tahlilda kimyo ta'limining Barqaror rivojlanish uchun ta'lim (BRT) g'oyalariga qo'shgan hissasi ko'rib chiqilgan [8]. Linkwitz va Eilks (2022) Germaniya maktablarida yashil kimyo elementlarini amaldagi o'quv dasturiga joriy etish bo'yicha amaliyot-tadqiqot loyihasini tasvirlaydi [10].

Tizimli fikrlash yo'nalishida P.Mahaffy kimyo ta'limini qayta yo'naltirish konsepsiyasini ishlab chiqqan [3,10]; bu g'oya keyinchalik Orgill, York va MacKellar tomonidan kimyo ta'limi hamjamiyati uchun batafsil asoslab berilgan [11], shuningdek Aubrecht tomonidan grafik vositalar orqali vizuallashtirilgan [12]. G.Hurst tomonidan olib borilgan tadqiqotlarda yashil kimyo ta'limiga xalqaro miqyosda tizimli fikrlash asosida yondashish tahlil qilingan [5,6].

UNESCO va IUPAC tomonidan ishlab chiqilgan hujjatlarda [2,4] yashil kimyo ta'limini maktab va oliy ta'lim dasturlariga integratsiya qilishning umumiy metodologik yo'nalishlari belgilangan

Adabiyotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, xalqaro miqyosda yashil kimyo ta'limini rivojlantirish bo'yicha ko'plab ilmiy tadqiqotlar amalga oshirilgan bo'lsa-da [1,6,9,13,14,15], O'zbekiston maktab kimyo ta'limi dasturlariga yashil kimyo tamoyillarini integratsiya qilishning ilmiy-metodik modeli, bosqichlari, pedagogik texnologiyalari va baholash mezonlari hali kompleks tarzda ishlab chiqilmagan. Mazkur maqola aynan shu ilmiy bo'shliqni to'ldirishga qaratilgan.

Yuqoridagilardan kelib chiqib, maqolaning asosiy maqsadi maktab ta'limining kimyo fani dasturlariga yashil kimyo ta'limini integratsiya qilishning ilmiy-metodik asoslarini ishlab chiqish hamda xalqaro tajribalar asosida O'zbekiston ta'lim tizimi uchun konseptual integratsiya modelini taklif etishdan iborat.

TADQIQOT METODOLOGIYASI

Mazkur tadqiqot maktab ta'limining kimyo fani dasturlariga yashil kimyo ta'limini integratsiya qilishning ilmiy-metodik asoslarini ishlab chiqishga qaratilgan bo'lib, unda zamonaviy pedagogik tadqiqot metodlari, qiyosiy ta'lim tahlili hamda tizimli

yondashuvdan foydalanildi. Tadqiqot metodologiyasi UNESCOning Barqaror rivojlanish ta'limi konsepsiyasiga [12], yashil kimyoning 12 tamoyiliga [1], kompetensiyaviy yondashuv (kompetensiyaga asoslangan ta'lim) hamda tizimli fikrlash (Systems Thinking) nazariyalariga [3,11,16] tayandi.

Tadqiqotning metodologik asosi sifatida quyidagi ilmiy yondashuvlar tanlandi:

- tizimli yondashuv (Systems Thinking);
- kompetensiyaviy yondashuv (Competency-Based Education);
- konstruktivistik yondashuv (Constructivism);
- barqaror rivojlanish uchun ta'lim (Education for Sustainable Development – ESD);
- fanlararo integratsiya (Interdisciplinary Integration);
- loyiha asosida o'qitish (Project-Based Learning);
- muammoli ta'lim (Problem-Based Learning).

Mazkur yondashuvlar o'quvchilarda nafaqat kimyoviy bilimlarni, balki ekologik tafakkur, mas'uliyatli qaror qabul qilish, resurslardan oqilona foydalanish va barqaror rivojlanish kompetensiyalarini shakllantirishga xizmat qiladi.

Mazkur ilmiy-tahliliy ishda kontent, qiyoslash, tizimli fikrlash kabi tahliliy usullardan foydalanildi.

Mazkur tadqiqot metodologiyasi yashil kimyo ta'limini maktab kimyo fani dasturlariga integratsiya qilishni kompleks o'rganish imkonini berdi. Kontent tahlili, qiyosiy tahlillari hamda tizimli fikrlash yondashuvining uyg'un qo'llanilishi O'zbekistonda yashil kimyo ta'limining xalqaro tajriba bilan qiyoslash va milliy sharoitga mos integratsiya modelini ishlab chiqish uchun mustahkam ilmiy asos yaratdi.

TADQIQOT NATIJALARI

3.1. Xalqaro tajribalar asosida maktab kimyo ta'limiga yashil kimyo tamoyillarini integratsiya qilish holatining qiyosiy tahlili

So'nggi yillarda yashil kimyo ta'limini maktab va oliy ta'lim tizimiga integratsiya qilish barqaror rivojlanish strategiyasining muhim yo'nalishiga aylandi. AQSH, Buyuk Britaniya, Germaniya, Yaponiya, Finlandiya, Avstraliya, Xitoy va Janubiy Koreya kabi davlatlarda yashil kimyo tamoyillari kimyo ta'limining ajralmas qismi sifatida qaralmoqda [5,6,9,10,16]. Mazkur mamlakatlarda kimyo ta'limi nafaqat nazariy bilimlarni o'zlashtirish, balki ekologik mas'uliyat, resurslardan oqilona foydalanish, tizimli fikrlash va innovatsion texnologiyalarni qo'llash kompetensiyalarini rivojlantirishga yo'naltirilgan.

Xalqaro tajribalarni tahlil qilish shuni ko'rsatdiki, barcha mamlakatlarda yashil kimyo ta'limini joriy etishning asosiy maqsadi o'quvchilarda barqaror rivojlanish g'oyalarini shakllantirish va ekologik xavfsiz texnologiyalarni tushunishga yordam berishdan iborat[5,6]. Biroq bu maqsadga erishish mexanizmlari mamlakatlarning ta'lim siyosati, iqtisodiy rivojlanishi va milliy ustuvor yo'nalishlariga qarab farqlanadi 1-jadvalga qarang.

**1-jadval. Xalqaro tajribalarda yashil kimyo ta'limining asosiy yo'nalishlari
(muallif ishlanmasi, [4,5,6,10,16] asosida).**

Mamlakat	Asosiy yondashuv	O'quv dasturiga integratsiya	Yashil kimyoga asoslangan laboratoriyani mavjudligi	Tizimli fikrlash	SDG* hamda ESD**ga muvofiqligi
AQSH	Yashil kimyo tizimi	To'liq	+	+	+
Buyuk Britaniya	Yashil kimyo tizimi	To'liq	+	+	+

Mamlakat	Asosiy yondashuv	O'quv dasturiga integratsiya	Yashil kimyoga asoslangan laboratoriyaning mavjudligi	Tizimlari fikrlash	SDG* hamda ESD**ga muvofiqligi
Germaniya	Yashil iqtisodiyot	To'liq	+	+	+
Yaponiya	Yashil kimyo tizimi	To'liq	+	+	+
Finlandiya	Hodisalarga asoslangan ta'lim	Yuqori	+/-	+	+
Avstraliya	Tadqiqotga asoslangan ta'lim	Yuqori	+	+	+
Xitoy	Yashilishlabchiqarish	Yuqori	+	+/-	+
Janubiy Koreya	Yashil o'sish	Yuqori	+	+	+

Izoh: "+" – to'liq joriy etilgan; "±" – qisman joriy etilgan.

*- BMTning Barqaror rivojlanish maqsadlari (SDG),

** - UNESCOning "Barqaror rivojlanish uchun ta'lim konsepsiyasi (ESD).

Jadval natijalari shuni ko'rsatadiki, rivojlangan davlatlarda yashil kimyo ta'limi alohida fan sifatida emas, balki kimyo kursining barcha bo'limlariga integratsiya qilingan. Ayniqsa, AQSH va Buyuk Britaniyada laboratoriya mashg'ulotlari yashil kimyo tamoyillari asosida qayta tashkil etilgan bo'lib, xavfli reagentlardan foydalanishni kamaytirish, mikrousulli tajribalarni o'tkazish va chiqindilarni minimallashtirishga alohida e'tibor qaratiladi [1,5].

Yaponiya va Janubiy Koreya tajribasida esa yashil kimyo ta'limi raqamli texnologiyalar, sun'iy intellekt va virtual laboratoriyalar bilan integratsiya qilingan. Bu esa o'quvchilarning amaliy ko'nikmalarini xavfsiz muhitda rivojlantirish imkonini beradi.

Tahlillarimiz, rivojlangan mamlakatlarda zamonaviy kimyo ta'limi faqat an'anaviy kimyoviy bilim va savodxonlik bilan cheklanmasdan, ekologik barqarorlik, tizimli fikrlash, yashil kimyo, hayotiy siklni baholash va aylanma iqtisodiyot kabi zamonaviy kompetensiyalarni ham qamrab olishini ko'rsatadi. Taqqoslash AQSH, Germaniya, Yaponiya, Finlyandiya va O'zbekistonda kimyo ta'limi doirasida shakllantiriladigan asosiy quyidagi kompetensiyalar bo'yicha amalga oshirildi: Kimyoviy savodxonlik, Ekologik, Tizimli fikrlash, Yashil kimyo, LCA (Life Cycle Assessment — mahsulot yoki jarayonning hayotiy siklini baholash), Innovasion fikrlash kompetensiyali.

O'zbekistonda kimyo fanini o'rganuvchilarida kimyoviy savodxonlik to'liq shakllangan bo'lsada, unga bog'liq ravishda ekologik kompetensiya va innovasion fikrlash ompetensiyalari qisman rivojlangan, Tizimli fikrlash, Yashil kimyo kompetensiyalari yo'nalishlarida ayrim kamchiliklar. Shu bois, kimyo o'qituvchilarini tayyorlash dasturlariga yashil kimyo prinsiplari, tizimli fikrlash, LCA konsepsiyalarini integratsiya qilish O'zbekiston ta'lim tizimini xalqaro zamonaviy tendensiyalarga yaqinlashtirishning muhim yo'nalishi hisoblanadi.

O'zbekiston uchun asosiy muammo kimyoviy bilimlarning yetishmasligi emas, balki ularni barqaror rivojlanish va ekologik mas'uliyat nuqtai nazaridan kompleks qo'llash kompetensiyalarining yetarlicha shakllanmaganligi ekanini ko'rsatadi.

Olib borilgan qiyosiy tahlillar shuni ko'rsatdiki, rivojlangan mamlakatlarda yashil kimyo ta'limi alohida mavzu sifatida emas, balki butun kimyo ta'limining metodologik asosiga aylangan [1,5,6]. O'quvchilar nazariy bilimlarni amaliy faoliyat, loyiha ishlari, laboratoriya tajribalari va raqamli vositalar orqali o'zlashtiradilar. Natijada ularda

ekologik madaniyat, tizimli fikrlash, muammolarni kompleks tahlil qilish va barqaror rivojlanishga yo'naltirilgan qarorlar qabul qilish ko'nikmalari shakllanadi.

O'zbekiston umumiy o'rta ta'lim maktablarining amaldagi kimyo dasturlari esa fundamental bilimlarni shakllantirishga xizmat qilayotgan bo'lsa-da, yashil kimyoning zamonaviy komponentlari tizimli ravishda integratsiya qilinmagan. Ayniqsa, Yashil kimyo, Ekologik, Tizimli fikrlash, mahsulot yoki jarayonning hayotiy siklini baholash, innovasion fikrlash kompetensiyalarinio'quv dasturiga kiritish dolzarb masaladir.

Mazkur natijalar O'zbekiston ta'lim tizimida kimyo fanini modernizatsiya qilish uchun yangi konseptual model va integratsiya texnologiyasini ishlab chiqish zarurligini ko'rsatadi. Shu asosda "O'zbekistonda maktab kimyo ta'limiga yashil kimyoni integratsiya qilishning konseptual modeli" yaratish bo'yicha tadqiqotlarni amalga oshirmoqdamiz va ushbu dastlabki model keng ilmiy jamoatchilikka muhokama uchun keying ishlarimizda taqdim etiladi.

XULOSA

Qiyosiy tahlil natijalari shuni ko'rsatdiki, xalqaro tajribada yashil kimyo ta'limi barqaror rivojlanish maqsadlari, tizimli fikrlash va kompetensiyaviy yondashuv asosida tashkil etilgan [2,3,12,16]. O'zbekiston ta'lim tizimida esa bu yo'nalishda muayyan imkoniyatlar mavjud bo'lsa-da, metodik ta'minot va o'quv mazmunini takomillashtirish talab etiladi. Xalqaro tajribalarning mos elementlarini milliy ta'lim tizimiga integratsiya qilish orqali kimyo ta'limining sifati va o'quvchilarning ekologik kompetensiyalarini sezilarli darajada oshirish mumkin.

ADABIYOTLAR RO'YXATI.

1. Anastas P.T., Warner J.C. Green Chemistry: Theory and Practice. — Oxford: Oxford University Press, 1998. — 135 p.
2. UNESCO. Education for Sustainable Development: A Roadmap. — Paris: UNESCO, 2020. — 66 p.
3. Mahaffy P.G., Krief A., Hopf H., Mehta G., Matlin S.A. Reorienting chemistry education through systems thinking // Nature Reviews Chemistry. — 2018. — Vol. 2. — Art. 0126.

4. IUPAC. Learning Objectives and Strategies for Infusing Systems Thinking into (Post-)Secondary General Chemistry Education. IUPAC Project No. 2017-010-1-050. — Research Triangle Park, NC: International Union of Pure and Applied Chemistry, 2017.
5. Hurst G.A. Systems thinking approaches for international green chemistry education // Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry. — 2020. — Vol. 21. — P. 93–97.
6. Hurst G.A., Slootweg J.C., Balu A.M., Climent-Bellido M.S. et al. International perspectives on green and sustainable chemistry education via systems thinking // Journal of Chemical Education. — 2019. — Vol. 96, No. 12. — P. 2794–2804.
7. Kolopajlo L. Green Chemistry Pedagogy // Physical Sciences Reviews. — 2017. — Vol. 2, No. 2.
8. Burmeister M., Rauch F., Eilks I. Education for Sustainable Development (ESD) and chemistry education // Chemistry Education Research and Practice. — 2012. — Vol. 13, No. 2. — P. 59–68.
9. Garner N., Siol A., Eilks I. The potential of non-formal laboratory environments for innovating the chemistry curriculum and promoting secondary school level students' education for sustainability // Sustainability. — 2015. — Vol. 7, No. 2. — P. 1798–1818.
10. Linkwitz M., Eilks I. An action research teacher's journey while integrating green chemistry into the high school chemistry curriculum // Sustainability. — 2022. — Vol. 14, No. 17. — Art. 10621.
11. Orgill M.K., York S., MacKellar J. An introduction to systems thinking for the chemistry education community // Journal of Chemical Education. — 2019. — Vol. 96, No. 12. — P. 2720–2729.
12. Aubrecht K.B., Dori Y.J., Holme T.A., Lavi R., Matlin S.A., Orgill M., Skaza-Acosta H. Graphical tools for conceptualizing systems thinking in chemistry education // Journal of Chemical Education. — 2019. — Vol. 96, No. 12. — P. 2888–2900.
13. Kolopajlo L. Green Chemistry Pedagogy // Physical Sciences Reviews. — 2017. — Vol. 2, No. 2.
14. Nahlik P. et al. Developing green chemistry educational principles by exploring the pedagogical content knowledge of secondary and pre-secondary school teachers // Chemistry Education Research and Practice. — 2023. — Vol. 24, No. 1.
15. Grieger K., Hill B., Leontyev A. Exploring curriculum adoption of green and sustainable chemistry in undergraduate organic chemistry courses: results from a national survey in the United States // Green Chemistry. — 2022. — Vol. 24, No. 22. — P. 8770–8782.
16. Mahaffy P.G., Matlin S.A., Holme T.A., MacKellar J. Systems thinking for education about the molecular basis of sustainability // Nature Sustainability. — 2019. — Vol. 2. — P. 362–370.