ISNN 3030-3907

2026/3
VOLUME 5

DEVELOPMENT OF SCIENCE

ILMIY JURNAL



Development of science

Ilmiy jurnal

2026/3 VOLUME 5

ISSN 3030 -3907

Ilmiy jurnal OAK rayosatining 2024 yil 27 sentabrdagi 361-son qaroriga asosan 02.00.00 kimyo fanlari hamda 2025 yil 12 fevral 367- son qaroriga asosan 05.00.00 texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro'yxatiga kiritilgan.

BOSH MUHARRIR:
Temirov Alisher Hoshim o‘g‘li – texnika fanlari falsafa doktori (PhD),Dotsent.
TAHRIRIYAT KENGASH RAISI:
Fozilov Sadriddin Fayzullayevich – texnika fanlari doktori, professor
TAHRIRIYAT KENGASH A’ZOLARI

TEXNIKA FANLARI/ TECHNICAL SCIENCES/ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Bozorov G‘ayrat Rashidovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Abdurahmonov Olim Rustamovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Adizov Bobur Zamirovich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti, professor
Hayitov Ruslan Rustamjonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Jumayev Qayum Karimovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Berdiyev Dorob Murodovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor
Maxmudov Rafiq Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Tilloyev Lochin Ismatilloyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Raxmonov Qahramon Sanakulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Barakayev Nusratullo Rajabovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor.
Jo‘rayev Xayrullo Fayziyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Panoyev Erali Rajabboyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Ataullayev Sherzod Nabiullyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Malik Negmurodovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Axmedova Ozoda Bahronovna
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti.
Safarov Bahri Jumayevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Xaydarov Axtam Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Safarov Jasur Alijon o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Асадова Раъно Дилмуратовна
Тошкент Давлат техника университети доценти

KIMYO FANLARI/ CHEMICAL SCIENCES/ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Axmedov Voxid Nizomovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Umarov Baqo Bafoyevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Kodirov Abduaxad Abduraximovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Qurbonov Mingniqul Jumagulovich
Qarshi davlat Universiteti, dotsent
Turemuratov Sharibay Naurizbaevich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Qoraqalpog‘iston bo‘limi Bosh ilmiy kotibi, professor
Tursunov Kaxor Shonazarovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Do‘stov Hamro
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Panoyev Nodir Shavkatovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Olimov Bobur Bahodir o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Kasimov Sherzod Abduazimovich
Termiz Davlat Universiteti, professor.
Aliqulov Rustam Valiyevich
Termiz Davlat Universiteti, professor
Tropov Xamza Tursunovich
Samarqand Davlat Universiteti, professor

IQTISODIYOT FANLARI/ ECONOMICS/ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Nizamov Aslitdin Badreddinovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Boboyev Akmal Choriyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Ergashxojayeva Shaxnoza Djasurovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Saidaxmedova Nodira Ilxomovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Muxsinov Bekzod Toxirovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shakarov Qulmat Ashirovich
Renessans ta'lim universiteti,dotsent.
Jumaeva Zulfiya Qayumovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Norova Salomat Yusupovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Avezova Shaxnoza Maxmudjonovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Jalilov Jamshid G‘anijonovich
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, dotsent
Xasanova Gulruh Djumanazarovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

PEDAGOGIKA FANLARI/ PEDAGOGICAL SCIENCES / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Siddiqova Sadoqat G‘afforovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Zoyirov Erkin Xalilovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, DSc, professor
Gaffarov Feruz Hasanovich
Puchon Universiteti, *professor*
Ruziyev Davron Yuldashevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Muradova Firuza Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Yunusova Gulandon Samiyevna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
To‘xtayeva Zebo Sharifovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Navro‘zova Gulchixra Nigmatovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Uzoqova Laylo Polvonovna
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.
To‘raqulova Marjona Qiyom qizi
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Muradova Zarina Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Sanjar Aslonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shodiyev Jahongir Jo‘raqulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent
Gaffarov Laziz Hasanovich
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.

Tahririyat a’zolarning to‘liq ro‘yxati jurnalning www.devos.uz saytida keltirilgan.

Tahririyat hay’ati a’zolarining tarkibini o‘zgartirish hamda qo‘shimcha kiritish yoki tahririyat a’zoligidan chiqarish bosh muharrir tomonidan amalga oshiriladi.

ISSN 3030-3907

Development of science ilmiy jurnali 2024 yil 15 aprel kuni №256445 sonli guvohnoma bilan Davlat ro‘yxatidan o‘tgan.

To‘plam elektron ko‘rinishda (pdf formatida) mualliflarga taqdim etiladi. To‘plamga kiritiladigan maqolalarning mazmuni, ulardagi statistik ma’lumotlar va me’yoriy hujjatlarning to‘g‘riligiga hamda har qanday fikr - mulohazalarga mualliflarning o‘zlari mas’ul hisoblanadilar. Talablarga javob bermaydigan maqolalar to‘plamga kiritilmaydi. Tashkiliy qo‘mita maqola matnini qisqartirish, qisman tuzatish kiritish, seksiyalarga joylashtirish huquqiga ega.

ISSN 3030-3907

УДК: 543.42:543.544:546.48:546.56:628.4

СОРБЦИОННО-СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНДИЯ И ТЕЛЛУРА В ОТХОДАХ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

Умматова Б. Р.

Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека, Ташкент

Сманова З. А.

Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека, Ташкент

E-mail: usmanovakhonzo@gmail.com

Аннотация. В работе представлен аналитический обзор методов определения индия и теллура в отходах металлургического производства, основанных на сочетании сорбционного концентрирования и спектрофотометрических измерений. Рассмотрены традиционные хромогенные реагенты, а также современные варианты твёрдофазной и жидко-жидкостной экстракции. Особое внимание уделено биополимерным сорбентам, включая материалы на основе шелкового фиброина. Показано, что интеграция сорбционных процедур со спектрофотометрией обеспечивает высокую чувствительность и устойчивость анализа в условиях сложных матриц металлургических отходов.

Ключевые слова: индий, теллур, сорбция, спектрофотометрия, экстракция, шелковый фиброин, отходы металлургии.

Annotatsiya. Maqolada metallurgiya chiqindilarida indiy va tellurni aniqlashning sorbsiya va spektrofotometriyaga asoslangan zamonaviy usullari ko‘rib chiqiladi. Klassik xromogen reagentlar, suyuqlik-suyuqlik va qattiq fazali ekstraksiya usullari, shuningdek ipak fibroiniga asoslangan biopolimer sorbentlar tahlil qilindi. Sorbsiya bilan birgalikda spektrofotometriya qo‘llanishi murakkab matritsali sanoat chiqindilarida yuqori sezuvchanlik va selektivlikni ta’minlashi ko‘rsatildi.

Kalit so‘zlar: indiy, tellur, sorbsiya, spektrofotometriya, ekstraksiya, ipak fibroini, metallurgiya chiqindilari.

Abstract. This paper presents an analytical review of methods for determining indium and tellurium in metallurgical waste, based on a combination of sorption concentration and spectrophotometric measurements. Traditional chromogenic reagents are considered, as well as modern variants of solid-phase and liquid-liquid extraction. Particular attention is paid to biopolymer sorbents, including materials based on silk fibroin. It is shown that the integration of sorption procedures with

ISSN 3030-3907

spectrophotometry ensures high sensitivity and stability of the analysis under the conditions of complex matrices of metallurgical waste.

Keywords: indium, tellurium, sorption, spectrophotometry, extraction, silk fibroin, metallurgical waste.

ВВЕДЕНИЕ.

Индий и теллур относятся к редким элементам, востребованным в высокотехнологичных отраслях — производстве полупроводников, солнечных элементов, специальных сплавов и функциональных материалов. Металлургические предприятия формируют отходы, содержащие следовые количества этих элементов, что требует применения высокочувствительных аналитических методик.

Промышленное значение индия растет по мере того, как металл, его сплавы и химические вещества используются. Индий и его соединения имеют многочисленные промышленные применения и в настоящее время используются в производстве жидкокристаллических дисплеев, полупроводников, низкотемпературных припоев и инфракрасных фотодетекторов

Спектрофотометрия остаётся одним из наиболее доступных инструментальных методов, однако сложный состав отходов (Fe, Zn, Cu, Pb, Sn, As, Se) делает необходимым предварительное выделение аналитов. Наиболее эффективным решением является использование сорбционных методов концентрирования, совмещённых со спектрофотометрическим детектированием [9–12].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

1.1. Спектрофотометрические методы определения индия

Для определения In (III) предложено множество хромогенных реагентов. Наиболее известным является ПАН, образующий интенсивно окрашенные комплексы [1, 2]. Галлион обеспечивает повышенную селективность в присутствии Ga(III) [6]. β-дикетоны, такие как TTA и TTFA, применяются в экстракционно-спектрофотометрических схемах [5]. Полимерные реагенты, например PV·FPAQ, позволяют повысить устойчивость аналитического сигнала [8].

Методы производной спектрофотометрии дают возможность одновременного определения индия и галлия [7].

1.2. Сорбционно-экстракционные методы для индия

Для повышения селективности и чувствительности анализа используются различные сорбенты:

- Chromosorb-108 для SPE [9];

ISSN 3030-3907

- магнитные нанотрубки MWCNT-Fe_3O_4 [10];
- функционализированные силикагели [11];
- C18-картриджи, модифицированные азопиримидиновыми реагентами [12];
- композитные сорбенты на основе органических и неорганических материалов [14].

Эти методы позволяют эффективно удалять мешающие ионы и концентрировать индий до уровней, измеримых спектрофотометрически.

2.1. Спектрофотометрические методы определения теллура

Для определения Te(IV) и Te(VI) предложены различные подходы. Классические методы включают образование иодотеллуритного комплекса [16], использование 1,1′-диантримида [17], а также экстракцию комплекса Te(IV) с диантипирилметаном [18]. Ранние работы также описывают прямые спектрофотометрические методики [19].

2.2. Сорбционно-экстракционные методы для теллура

Для повышения селективности применяются:

- ксантогенатные реагенты [20];
- серосодержащие экстрагенты [21];
- комбинированные методы с использованием 4-BPH+NEDA, MBTH+CA и 2,3-DMSO [22];
- дифференциальное определение Te(IV)/Te(VI) с дитиокарбаматами [23];
- SASAC-метод [24];
- каталитические схемы для следовых концентраций [25];
- восстановление Te(IV) до элементарного теллура с последующей спектрофотометрией [26];
- современные высокочувствительные методики [27].
- Биосорбенты на основе шелкового фиброина

Шелковый фиброин представляет собой перспективный природный сорбент благодаря развитой поверхности, наличию функциональных групп и возможности химической модификации. Исследования показывают его высокую эффективность при сорбции различных тяжёлых металлов [28].

Фиброин шелка (silk fibroin, SF) — это основной белковый компонент натурального шелка (из коконов шелкопряда Bombyx mori), который широко используется как биосорбент (biosorbent) благодаря своей экологичности, биосовместимости, доступности и наличию функциональных групп (амино-, карбоксильные, гидроксильные, пептидные связи), способных к хелатированию и ионному обмену с ионами металлов [29-32].

Преимущества фиброина шелка как сорбента в сорбционно-спектрофотометрическом анализе:

ISSN 3030-3907

-Экологичность и безопасность: Натуральный биополимер, нетоксичен, биоразлагаем, не вводит дополнительных загрязнителей в пробу (в отличие от синтетических сорбентов).

-Высокая сорбционная ёмкость: Для тяжёлых металлов (Cu, Pb, Cd, Fe, Ni, Cr и др.) достигает 50–200 мг/г в зависимости от формы (порошок, плёнка, волокна, гель, наночастицы). Для индия (In(III)) и теллура (Te(IV)) данных мало, но по аналогии с похожими металлоидами/металлами (Ga, Al, Fe) — сорбция возможна за счёт координации с серосодержащими/азотсодержащими группами.

- Широкий диапазон pH: Сорбция эффективна в кислой (pH 2–6 для In/Te) и нейтральной/слабокислой среде (pH 4–8 для многих тяжёлых металлов), что удобно для проб металлургических отходов.

- Предконцентрирование: Позволяет концентрировать следы металлов (фактор 50–500) из больших объёмов раствора, что критично для низких концентраций In/Te в отходах.

- Совместимость со спектрофотометрией: После сорбции возможны:

1) Прямое измерение на сорбенте (диффузно-отражательная спектрофотометрия, DRS);

2) Десорбция (кислотами, комплексонами, этанолом/щелочью) → измерение в растворе;

3) Иммобилизация реагентов (PAR, Chrome Azurol S, Eriochrome Black T и др.) на фиброине для тест-методов.

- Повторное использование: До 5–10 циклов с минимальной потерей ёмкости (особенно в порошковой или мембранной форме).

- Модификации для улучшения: Можно модифицировать (допамином, магнитными наночастицами Fe_3O_4, биосиликой) для повышения селективности, магнитного разделения или ёмкости.

Материалы на основе фиброина могут быть адаптированы для предварительного концентрирования индия и теллура, что делает их привлекательными для экологически ориентированных аналитических технологий [33-38].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Сорбционно-спектрофотометрические методы обладают рядом преимуществ:

- возможность определения аналитов на уровне нг/л [7, 12, 21];
- высокая селективность благодаря сорбционному этапу [9–12];
- устойчивость к сложным матрицам металлургических отходов [20–23];
- низкая стоимость и доступность оборудования;

ISSN 3030-3907

- возможность автоматизации анализа.

Использование биосорбентов на основе фиброина открывает перспективы для создания экологически безопасных и экономичных методов концентрирования редких элементов [28–38].

Выбраны реагенты, совместимые с биосорбентом, для повышения селективности и чувствительности (предел обнаружения 0.01–0.1 мкг/мл).

Таблица 1.

Реагенты для комплексообразования теллура

Реагент	**Цвет реагента**	**Цвет комплекса**	**λ_{max} (нм)**	**ε (L моль$^{-1}$ см$^{-1}$)**	**Примечание/среда**
Бриллиантовый зеленый	зелёный	зелёный / сине-зелёный	620 - 640	8-10 × 10^4	Ионная ассоциация с $[TeCl_6]^{2-}$ или $[TeBr_6]^{2-}$; pH 1–3; экстракция в органику, сорбция на фиброине >95%
Лейкометиленовый зеленый	бесцветный	синий	650	4,9 × 10^4	pH 3-5, сорбируется на белке
Родамин Б	розовый / малиновый	фиолетовый / синий-фиолетовый	550 - 590	9-11 × 10^4	С галогенидами; pH 1–4; высокая стабильность, совместим с биосорбентами
Виктория синий	синий	синий	590 - 610	7-9 × 10^4	3-5 М кислота + KBr/LiCl; pH 2–5; селективен в матрице отходов
Хром Азурол С + цетилпиридиний	красный / фиолетовый	розовый	525	2,5 × 10^4	pH 3 + ПАВ

ISSN 3030-3907

Бензагрин	зеленый	зеленый	620 - 640	-	Иммобилирован на вискозе

В ходе анализа литературных данных и сравнения характеристик реагентов для комплексообразования индия и теллура установлено, что для разрабатываемого сорбционно-спектрофотометрического метода с использованием фиброина шелка как сорбента наиболее перспективны реагенты, не содержащие серу в структуре лиганда. Это позволяет избежать перекрёстных реакций между определяемыми элементами и обеспечить селективность в сложных матрицах металлургических отходов.

Для теллура оптимальными являются катионные красители, образующие ион-ассоциаты с гексагалогено-анионами $[TeX_6]^{2-}$ ($X = Br^-, Cl^-$), а также некоторые ион-парные и окислительные системы:

- Родамин Б — наиболее чувствительный и контрастный реагент, обеспечивает устойчивую сорбцию на белковой матрице фиброина шелка за счёт электростатического и гидрофобного взаимодействия.
- Бриллиантовый зеленый — даёт максимальную визуальную контрастность на белом сорбенте, рекомендован как один из лучших для твёрдофазной спектрофотометрии.
- Виктория синий — обеспечивает хорошую селективность и высокую степень извлечения на фиброине [39-41].

Таблица 2.

Реагенты для комплексообразования индия

Реагент	**Цвет реагента**	**Цвет комплекса**	**λ_{max} (нм)**	**ε (L моль$^{-1}$ см$^{-1}$)**	**Примечание/среда**
ПАР	оранжево-красный	красный / красно-фиолетовый	500 – 520	8–10 × 10^4	pH 5–6; маскировка ЭДТА/цитратом
ПАН	оранжевый	красный / фиолетово-красный	520 – 550	5–7 × 10^4	pH 5–7; экстракция или прямая сорбция
Арсеназо III	фиолетовый	синий / фиолетово-синий	650 – 675	1–1.5 × 10^5	pH 1–3 (HCl/H_2SO_4); сильнокислый.

ISSN 3030-3907

Ксиленовый оранжевый	жёлто-оранжевый	розовый / красно-фиолетовый	550 – 570	4–6 × 10^4	pH 3–5; маскировка фторидом/ЭДТА
Метилтимоловый синий	синий / фиолетовый	синий / сине-фиолетовый	600 – 620	5–8 × 10^4	pH 4–6
Хром Азурол С + цетилпиридиний	красный / фиолетовый	синий / голубой	620 – 650	8–12 × 10^4	pH 4–6 + ПАВ

Для индия приоритетными являются азосоединения и трифенилметановые красители, образующие интенсивно окрашенные комплексы:

- ПАР и ПАН — наиболее чувствительные и гидрофобные комплексы, отлично сорбируются на фиброине шелка.
- Ксиленовый оранжевый и Метилтимоловый синий — дают высокую контрастность и устойчивость окраски на сорбенте.
- Хром Азурол С + цетилпиридиний — ион-парный комплекс с ПАВ, обеспечивает максимальную чувствительность и сорбционную способность.

Общие преимущества выбранных реагентов:

- Высокие значения молярных коэффициентов поглощения ($\varepsilon > 5\times10^4$ в большинстве случаев) позволяют определять микро- и нанограммовые количества элементов.
- Гидрофобные и ионные комплексы эффективно удерживаются на белковой матрице фиброина шелка без значительной десорбции в течение 24–48 ч.
- Возможность твёрдофазного измерения (диффузное отражение) или десорбции с последующей спектрофотометрией в растворе.
- Селективность в присутствии типичных мешающих ионов (Fe, Cu, Se, Al, Ga) достигается с помощью маскирующих агентов (ЭДТА, фторид-ионы, аскорбиновая кислота, тартраты) [42-43].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сорбционно-спектрофотометрические методы являются эффективным инструментом для определения индия и теллура в отходах металлургического производства. Применение современных сорбентов — от наноструктурированных материалов до биополимеров — обеспечивает высокую чувствительность и селективность анализа. Перспективным

ISSN 3030-3907

направлением является разработка гибридных сорбентов и миниатюризация аналитических процедур.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Shibata S. Spectrophotometric determination of indium with 1-(2-pyridylazo)-2-naphthol (PAN) // Analytica Chimica Acta. 1960. Vol. 23. P. 434–438. DOI: 10.1016/S0003-2670(00)89902-4.
2. Cheng K. L. Spectrophotometric determination of traces of gallium and indium with 1-(2-pyridylazo)-2-naphthol // Analytica Chimica Acta. 1966.
3. Raby B. A., Banks C. V. Direct spectrophotometric determination of indium in tin // Analytical Chemistry. 1961. Vol. 33. P. 1580–1583. DOI: 10.1021/ac60144a058.
4. Athavale V. T., et al. Spectrophotometric determination of microgram quantities of indium in uranium and thorium metals and their salts // Analytica Chimica Acta. 1960.
5. Solanke K. R., et al. Solvent extraction and spectrophotometric determination of indium(III) with thiothenoyltrifluoroacetone // Analytica Chimica Acta. 1973.
6. Joshi A. P. Spectrophotometric determination of indium using gallion // Fresenius' Zeitschrift für Analytische Chemie. 1971.
7. Singh V. K., et al. Simultaneous determination of gallium(III) and indium(III) by derivative spectrophotometry // Talanta. 2001. Vol. 55, No. 4. P. 799–806. DOI: 10.1016/S0039-9140(01)00507-0.
8. Liang S. C., Zang E. L. Spectrophotometric determination of indium(III) with the polymeric chromogenic reagent PV·FPAQ // Analytical and Bioanalytical Chemistry. 1989. Vol. 334. P. 511–513. DOI: 10.1007/BF00483568.
9. Tuzen M., Soylak M. A solid phase extraction procedure for indium prior to its graphite furnace atomic absorption spectrometric determination // Journal of Hazardous Materials. 2006. Vol. 129. P. 179–185. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2005.08.040.
10. Zolfonoun E. Solid phase extraction and determination of indium using multiwalled carbon nanotubes modified with magnetic nanoparticles // Analytical Methods in Environmental Chemistry Journal. 2018.
11. Burylin M. A., et al. Determination of indium in water samples using solid-phase extraction with modified silica gel and slurry sampling with electrothermal atomic absorption spectrometry // Chemical Papers. 2022. DOI: 10.1007/s11696-022-02285-y.
12. Amin A. S., et al. Solid phase extraction using polymer-based C18 cartridge modified with 5-(2′-methyl-4′-hydroxyphenylazo)-6-hydroxypyrimidine-2,4-

ISSN 3030-3907

dione for spectrophotometric determination of indium(III) // Analytical Chemistry Letters. 2019. Vol. 9, No. 5. DOI: 10.1080/22297928.2019.1685906.
13. Sharma M., et al. Spectrophotometric determination of indium in zinc effluent // Fresenius' Journal of Analytical Chemistry. 1996.
14. Chebotarev A., et al. Solid-phase extraction of trace gallium(III) and indium(III) // Bulletin of Chemical Communications. 2021.
15. Huseyinli A. A., et al. Spectrophotometric determination of aluminium and indium // Journal of Hazardous Materials. 2009. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2008.11.088.
16. Johnson R. A. Spectrophotometric determination of tellurium as iodotellurite complex // Analytical Chemistry. 1951. Vol. 23, No. 4. P. 651–653. DOI: 10.1021/ac60052a029.
17. Skaar O. B., Langmyhr F. J. Spectrophotometric determination of tellurium(IV) with 1,1′-dianthrimide // Analytica Chimica Acta. 1960. Vol. 23. P. 175–177.
18. Donaldson E. M. Spectrophotometric determination of tellurium in concentrates and brasses by chloroform extraction of the tellurium(IV) hexabromide–diantipyrylmethane complex // Talanta. 1976. Vol. 23, No. 5. P. 411–416. DOI: 10.1016/0039-9140(76)80094-x.
19. Hanson M. W. Spectrophotometric determination of tellurium // Analytical Chemistry. 1957.
20. Donaldson E. M. Spectrophotometric determination of tellurium in concentrates and brasses // Talanta. 1976.
21. Barache U. B., et al. Selective and sensitive liquid–liquid extraction and spectrophotometric determination of tellurium(IV) using sulfur-containing reagent // Chemical Data Collections. 2019. Vol. 19. DOI: 10.1016/j.cdc.2018.100173.
22. Suvardhan K., et al. Spectrophotometric determination of tellurium(IV) in environmental and telluride film samples // Journal of Analytical Chemistry. 2007. Vol. 62, No. 11. P. 1032–1039. DOI: 10.1134/S1061934807110068.
23. Kamada T. Differential determination of tellurium(IV) and tellurium(VI) with sodium diethyldithiocarbamate // Talanta. 1979. Vol. 26, No. 5. P. 337–340.
24. Raasi S. F., et al. Spectrophotometric determination of tellurium using salicylidene-2-aminophenol-4-sulphonic acid (SASAC).
25. Shamsipur M., Mousavi M. F. Catalytic spectrophotometric determination of traces of tellurium(IV) // Iranian Journal of Chemistry & Chemical Engineering.
26. Molina R. C., et al. Simple, fast, and sensitive method for quantification of tellurite in culture media // Applied and Environmental Microbiology. 2010. DOI: 10.1128/AEM.00598-10.

ISSN 3030-3907

27. Qiu X., et al. Highly sensitive spectrophotometric determination of trace tellurium(IV).
28. Farooq M. U., et al. Unveiling the biosorption performance of silk fibroin fiber for Pb(II) and Cr(VI) removal: Machine learning and DFT analysis // Journal of Water Process Engineering. 2024. DOI: 10.1016/j.jwpe.2024.105312.
29. Han X., et al. Dopamine-modified silk fibroin powder for adsorption of heavy metal ions in water // Adsorption. 2024. Vol. 30. DOI: 10.1007/s10450-024-00510-6.
30. Ernawati L., et al. Silk fibroin/soursop seed bio-adsorbent for crystal violet and copper metal ion removal // Journal of Engineering and Technological Sciences. 2022.
31. Rastogi S., Kandasubramanian B. Progressive trends in heavy metal ions and dyes adsorption using silk fibroin composites // Separation and Purification Reviews. 2020.
32. Chen J., et al. Silk fibroin: a promising biomaterial for the treatment of heavy metal-contaminated water // Environmental Science and Pollution Research. 2022. Vol. 29, No. 37. P. 56606–56619. DOI: 10.1007/s11356-022-19833-4.
33. Godiya C. B., et al. Silk fibroin/polyethylenimine functional hydrogel for metal ion adsorption and upcycling utilization // Journal of Hazardous Materials. 2019.
34. Wahab N., et al. Silk/bentonite clay composite for heavy metal removal from aqueous solution // Frontiers in Chemistry. 2019. DOI: 10.3389/fchem.2019.00653.
35. Reizabal A., et al. Processing strategies to obtain highly porous silk fibroin structures for water remediation.
36. Shivani R., et al. Biosilica/silk fibroin/polyurethane biocomposite for toxic heavy metals removal // Environmental Technology & Innovation. 2022.
37. Ernawati L., et al. Hierarchically 3-D porous structure of silk fibroin-based biocomposite adsorbent for water pollutant removal // Environments. 2021. Vol. 8, No. 11. DOI: 10.3390/environments8110127.
38. Xu-Wei Chen, et al. Silk fibroin as a sorbent for on-line extraction and preconcentration of copper with detection by electrothermal atomic absorption spectrometry // Journal Talanta. 2009.
39. Balogh I.S., Andruch V., Anal. Chim. Acta, 1999, DOI: 10.1016/S0003-2670(98)00860-5.
40. Prasad P., et al. Spectrophotometric determination of indium(III) with 2-hydroxy-1-naphthaldehyde thiosemicarbazone // E-Journal of Chemistry. 2007. Vol. 4, No. 1. P. 49–56. DOI: 10.1155/2007/692641.

ISSN 3030-3907

41. Bashir W. A., Hanna G. K., Sulaiman S. T. Spectrophotometric determination of tellurium(IV) with Chrome Azurol S: application to sea water and synthetic alloys // Rafidain Journal of Science. 2013. Vol. 24, No. 11. P. 10–22. DOI: 10.33899/rjs.2013.80278.
42. Marczenko Z. Separation, Preconcentration and Spectrophotometry in Inorganic Analysis // Comprehensive Analytical Chemistry. Vol. 37. Amsterdam: Elsevier, 2000. 584 p. DOI: 10.1016/S0926-4345(00)80088-7.
43. Бабко А. К. Лучшие реагенты для спектрофотометрического определения индия // Журнал аналитической химии. 1962. Т. 17, № 3. С. 345–350. OSTI: 4779719.

ISSN 3030-3907