УДК 504.7.054/ 581.5
МРНТИ 87.19.91
DOI 10.37238/2960-1371.2960-138X.2026.103(3).29

Нурсеитова А.М.*, Ермолдина Г.Т., Жумалынов К.А., Тауакелов Ч.А.

Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы, Костанай, Казахстан
***Автор-корреспондент:** aruzhan.nurseitova03@gmail.com

E-mail: aruzhan.nurseitova03@gmail.com, gulnazyermoldina@gmail.com, zhumalynov.k@mail.ru, chingiz kspi@bk.ru

ЭКОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ РАСТЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ КОСТАНАЙСКОГО РЕГИОНА

Аннотация. В статье представлены результаты эколого-географического мониторинга растений на территории Костанайского региона с целью оценки содержания тяжёлых и токсичных химических элементов в растительных тканях. Объектами исследования послужили образцы сельскохозяйственных и дикорастущих растений, отобранные в зонах различной антропогенной нагрузки: вблизи горнорудных предприятий г. Рудного (Юбилейное), в сельскохозяйственных зонах Костанайского (Московское) и Фёдоровского районов, а также на условно-фоновых участках Аулиекольского района (Аманкарагай, Новонежинка). Отбор проб осуществлялся по радиальной схеме с учётом направления преобладающих ветров и удалённости от источников промышленных выбросов; на каждой точке закладывалось три реплицированные площадки. Аналитические исследования проводились методом оптико-эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-OES) с определением массовых долей макро-, мезо- и микроэлементов, включая свинец, кадмий, никель, хром, мышьяк и другие токсичные компоненты, а также показателя зольности растительного сырья. Установлено, что в восточном и северо-восточном направлениях от г. Рудного концентрации никеля и хрома в растениях превышают фоновые уровни в 5–10 раз, что обусловлено аэрозольным переносом пылевых частиц с территорий рудодобывающих и перерабатывающих предприятий. Фёдоровский и Аулиекольский районы демонстрируют экологически сбалансированный элементный состав без признаков техногенного загрязнения. Пространственный анализ выявил чётко выраженный радиальный градиент содержания тяжёлых металлов, снижающийся по мере удаления от промышленной зоны. Полученные данные формируют научную основу для регионального биогеохимического мониторинга и разработки рекомендаций по обеспечению экологической и продовольственной безопасности в условиях интенсивного промышленного освоения территории.

Ключевые слова: тяжёлые металлы, растительный мониторинг, Костанайская область, горнорудные предприятия, ICP-OES, экологическая безопасность, биогеохимия.

Введение

Загрязнение окружающей среды тяжёлыми металлами остаётся острой проблемой в регионах с развитой горнодобывающей промышленностью. Растения

аккумулируют токсичные вещества в тканях и служат надёжными биоиндикаторами состояния экосистем [1; 2]. Костанайская область сочетает интенсивное сельскохозяйственное производство и крупную горнорудную промышленность г. Рудного - мощного источника аэрозольных эмиссий Ni, Cr, Pb, Cd, As, формирующих устойчивую техногенную биогеохимическую аномалию на прилегающих территориях [3; 4]. Фитомониторинг, отражая интегральную биодоступность элементов из всех сред, является оптимальным инструментом оценки загрязнения, однако для Костанайской области такой комплексный анализ ранее не проводился, что определяет научную новизну работы [5; 6].

Для обеспечения репрезентативности исследования были выбраны территории с различным уровнем антропогенного воздействия: промышленно нагруженная зона г. Рудного и Юбилейного (UB), сельскохозяйственные угодья Костанайского района - с. Московское (MSK), Фёдоровский район (FE), а также условно-фоновые участки Аулиекольского района - Аманкарагай (AMK) и Новонежинка (NO). Такой пространственный охват позволяет провести сравнительный геохимический анализ по градиенту антропогенной нагрузки - от индустриально-трансформированных территорий к аграрным и природным фоновым зонам - и выявить закономерности накопления элементов в растительных тканях в зависимости от удалённости от источников загрязнения [7].

Цель работы - комплексная оценка содержания макро-, мезо- и микроэлементов, включая токсичные As, Pb, Cd, Ni, Cr, в растениях Костанайского региона методом ICP-OES, установление пространственных закономерностей их распределения и оценка степени техногенного влияния на растительный покров.

Материалы и методы

Исследование проводилось в Костанайской области РК в 2024–2025 гг. Преобладающие ветры - северного, северо-восточного и восточного направлений - определяют характер распространения промышленных загрязнителей.

Для охвата территорий с различным уровнем антропогенной нагрузки было выбрано шесть пунктов пробоотбора, сгруппированных в три категории: промышленно нагруженные, сельскохозяйственные и условно-фоновые зоны. Характеристика всех пунктов приведена в Таблице 1.

Таблица 1 - Перечень и характеристика пунктов пробоотбора растительных образцов

№	Населённый пункт	Код	Район	Тип территории	Координаты
1	г. Рудный и Юбилейное	RU, UB	Рудненский ГО	Промышленно нагруженная	53°01′N 63°07′E
2	с. Московское	MSK	Костанайский р-н	Сельскохозяйственная	52°57′N 63°16′E
4	Фёдоровский район	FE	Фёдоровский р-н	Сельскохозяйственная	53°32′N 62°44′E
5	Аманкарагай	AMK	Аулиекольский р-н	Условно-фоновая	53°10′N 64°05′E
6	с. Новонежинка	NO	Аулиекольский р-н	Условно-фоновая	53°05′N 63°58′E

Пробоотбор в районе г. Рудного осуществлялся по радиальной схеме в восьми секторах (С, СВ, В, ЮВ, Ю, ЮЗ, З, СЗ) на расстояниях 0,5; 1; 2 и 4 км от границы предприятия.

Пространственное расположение всех точек пробоотбора наглядно представлено на Рисунке 1.



Рисунок 1 - Карта размещения точек пробоотбора растительных образцов на территории вблизи г. Рудного

В южном и юго-западном направлениях отбор на расстоянии 4 км не проводился: эти сектора являются наветренными по отношению к источнику. Итоговый перечень всех точек пробоотбора с географическими координатами приведён в Таблице 2.

На каждой точке закладывались три реплицированные площадки; срезалась надземная часть растений на высоте 10–15 см.

Таблица 2 - Координаты точек пробоотбора растительных проб в районе г. Рудного

№	Точка отбора	Направление	Расст., км	Широта	Долгота	Реплики
1	С 500 м	Север	0,5	53°02′43″N	63°11′43″E	A1,A2,A3
2	С 1 км	Север	1,0	53°02′56″N	63°11′30″E	A1,A2,A3
3	С 2 км	Север	2,0	53°03′20″N	63°11′15″E	A1,A2,A3
4	С 4 км	Север	4,0	53°04′15″N	63°10′33″E	A1,A2,A3
5	СВ 500 м	Северо-восток	0,5	53°03′13″N	63°18′20″E	A1,A2,A3
6	СВ 1 км	Северо-восток	1,0	53°03′29″N	63°18′45″E	A1,A2,A3
7	СВ 2 км	Северо-восток	2,0	53°03′50″N	63°19′12″E	A1,A2,A3
8	СВ 4 км	Северо-восток	4,0	53°04′52″N	63°19′28″E	A1,A2,A3

№	Точка отбора	Направление	Расст., км	Широта	Долгота	Реплики
9	В 500 м	Восток	0,5	53°01′19″N	63°18′50″E	A1,A2,A3
10	В 1 км	Восток	1,0	53°01′18″N	63°19′19″E	A1,A2,A3
11	В 2 км	Восток	2,0	53°01′31″N	63°20′08″E	A1,A2,A3
12	В 4 км	Восток	4,0	53°01′35″N	63°22′17″E	A1,A2,A3
13	ЮВ 500 м	Юго-восток	0,5	52°59′59″N	63°15′43″E	A1,A2,A3
14	ЮВ 1 км	Юго-восток	1,0	52°59′45″N	63°16′10″E	A1,A2,A3
15	ЮВ 2 км	Юго-восток	2,0	52°59′33″N	63°17′30″E	A1,A2,A3
16	ЮВ 4 км	Юго-восток	4,0	52°59′23″N	63°18′43″E	A1,A2,A3
17	Ю 500 м	Юг	0,5	52°57′58″N	63°10′39″E	A1,A2,A3
18	Ю 1 км	Юг	1,0	52°57′41″N	63°10′30″E	A1,A2,A3
19	Ю 2 км	Юг	2,0	52°57′04″N	63°10′27″E	A1,A2,A3
20	ЮЗ 500 м	Юго-запад	0,5	52°56′51″N	63°01′30″E	A1,A2,A3
21	ЮЗ 1 км	Юго-запад	1,0	52°56′41″N	63°01′00″E	A1,A2,A3
22	ЮЗ 2 км	Юго-запад	2,0	52°56′29″N	63°00′18″E	A1,A2,A3
23	З 500 м	Запад	0,5	53°00′39″N	63°02′38″E	A1,A2,A3
24	З 1 км	Запад	1,0	53°00′27″N	63°02′08″E	A1,A2,A3
25	З 2 км	Запад	2,0	53°00′11″N	63°01′34″E	A1,A2,A3
26	З 4 км	Запад	4,0	52°59′40″N	63°00′00″E	A1,A2,A3
27	СЗ 500 м	Северо-запад	0,5	53°03′00″N	63°00′38″E	A1,A2,A3
28	СЗ 1 км	Северо-запад	1,0	53°03′11″N	63°00′16″E	A1,A2,A3
29	СЗ 2 км	Северо-запад	2,0	53°03′29″N	62°59′33″E	A1,A2,A3
30	СЗ 4 км	Северо-запад	4,0	53°03′55″N	62°58′14″E	A1,A2,A3
32	Рудный (центр)	-	-	52°57′53″N	63°06′23″E	A1,A2,A3

В ряде точек дополнительно отбирались листья нижнего, среднего и верхнего ярусов, стебли и рыльца. Перечень типов образцов по районам представлен в Таблице 3.

Для предотвращения перекрёстного загрязнения инструменты промывались дистиллированной водой после каждой выборки. В Аманкарагае дополнительно отбирались хвоя и опад сосны.

Таблица 3 - Типы растительных образцов по пунктам пробоотбора

Район / пункт	Код	Тип образца	Кол-во точек	Всего реплик
г. Рудный и Юбилейное	RU, UB	Надземная часть; листья по ярусам; стебли; рыльца	32	96+
с. Московское, (Костанайский р-н)	MSK, KONST	Надземная часть (злаки, разнотравье)	6	18
Фёдоровский район	FE	Надземная часть (злаки, разнотравье)	1	3
Аманкарагай, Новонежинка (Аулиекольский р-н)	AMK, NO	Хвоя, опад, листья (L), злаки (Z)	6	18+

Растительный материал промывали, высушивали при 65°C до постоянной массы, измельчали и отбирали аналитическую навеску методом квартования.

Зольность определяли озолением при 500–550°C (ГОСТ 24027.2-80). Для ICP-OES навеску 0,5 г разлагали в тефлоновом автоклаве смесью HNO_3/H_2O_2 (4:1) при 180–200°C.

Элементный состав определяли на спектрометре Thermo Fisher Scientific iCAP Pro (ICP-OES). Для каждого образца - не менее двух параллельных измерений (RSD ≤ 5%), калибровка по сертифицированным стандартам [8].

Таблица 4 - Перечень определяемых показателей, методы и нормативная база

Определяемые элементы / показатель	Метод анализа	Прибор / оборудование	Нормативный документ
Зольность	Гравиметрический (весовой)	Муфельная печь; аналитические весы	ГОСТ 24027.2-80
Ca, Mg, K, Na, P, S (макро- и мезоэлементы)	ICP-OES	Thermo Fisher Scientific iCAP Pro	ГОСТ ISO 17294-2
Zn, Cu, Mn, Fe, Al, Sr, Sn, Co (микроэлементы)	ICP-OES	Thermo Fisher Scientific iCAP Pro	ГОСТ ISO 17294-2
As, Pb, Cd, Ni, Cr (токсичные тяж. металлы)	ICP-OES	Thermo Fisher Scientific iCAP Pro	ГОСТ ISO 17294-2
Пробоподготовка	Автоклавное разложение (HNO_3 + H_2O_2)	Автоклав лабораторный	ГОСТ Р 51301-99

Статистическая обработка: среднее ($\bar{x}$), SD, CV; нормальность - критерий Шапиро–Уилка; выбросы - критерий Грабса. Коэффициент концентрации Кк = отношение содержания элемента к фону Аулиекольского района (Кк >2 - умеренная аномалия, Кк >5 - интенсивное обогащение) [9]. Межгрупповые различия - ANOVA/Тьюки (Excel 2019, SPSS 26).

Результаты и обсуждение

Зольность растительных образцов как интегральный показатель минеральной нагрузки.Зольность служит интегральным индикатором минеральной нагрузки. Межрайонные различия закономерно отражают степень техногенного воздействия (Таблица 5).

Таблица 5 - Сводные показатели зольности растительных образцов по районам исследования

Район / пункт	**Мин., %**	**Макс., %**	**Среднее, %**	**Особенности**
г. Рудный, Юбилейное (RU, UB)	1,51	25,31	~9,3	Аномально высокие в СВ и ЮВ секторах
с. Московское (MSK)	3,73	5,74	~4,7	Низкие, близкие к фону
Фёдоровский район (FE)	5,07	6,66	5,75	Стабильные, однородные
с. Новонежинка (NO)	3,32	6,23	~4,6	Фоновые (листья умеренные, злаки низкие)
Аманкарагай (AMK)	2,18	8,15	~4,3	Мин. - хвоя (2,18–2,27%); листья умеренные

Наиболее высокие значения зольности зафиксированы в промышленной зоне г. Рудного: диапазон 1,51–25,31%, среднее ~9,3%. Экстремально высокие значения (>16%) отмечены в листьях юго-восточного и северо-восточного секторов. Образцы Юбилейного (UB) демонстрируют умеренные значения (6,69–7,40%), Московского (MSK) - низкие (3,73–5,74%), Фёдоровского (FE) - стабильные (5,07–6,66%, среднее 5,75%), что соответствует экологическому благополучию данных территорий.

Таким образом, зольность убывает по ряду: РУ/UB (~9,3%) → FE (~5,75%) → MSK (~4,7%) → NO (~4,6%), что соответствует снижению антропогенной нагрузки и удалению от промышленного источника. Новонежинка занимает закономерно низкую позицию в этом ряду как условно-фоновая территория.

Содержание биогенных макро- и мезоэлементов (P, S, Mg, Ca, Na, K).

Результаты по биогенным макро- и мезоэлементам по всем районам сведены в Таблицу 6.

Образцы промышленной зоны демонстрируют сбалансированный макроэлементный профиль: P - 1786–3848 мг/кг, Ca - 4345–7281 мг/кг, K до 10 684 мг/кг, S до 2144 мг/кг. Аномалий макроэлементного состава не выявлено, что подтверждает сохранность физиологических функций питания растений даже в условиях техногенного воздействия.

Московский участок выделяется максимальными концентрациями P (до 6452 мг/кг) и K (до 17 106 мг/кг) среди всех территорий, что обусловлено систематическим применением минеральных удобрений, а не техногенным загрязнением. Прочие макроэлементы (S, Mg, Ca, Na) находятся в пределах нормы.

Таблица 6 - Содержание биогенных макро- и мезоэлементов в растительных образцах, мг/кг

Район / пункт	P	S	Mg	Ca	Na	K	Примечание
RU, UB (г. Рудный)	2378–3848	1298–1981	1252–1863	4345–6085	68–182	6650–10684	Умеренный профиль
MSK (с. Московское)	1498–6452	1108–3130	967–2327	1887–3591	88–408	7003–17106	Максимальный P и K
FE (Фёдоровский р-н)	1857–2046	1099–1528	1869–2086	4917–7873	72–80	7584–10455	Сбалансированный
NO (с. Новонежинка)	848–2661	1459–1761	897–1428	1030–2488	328–3979	6827–14907	Высокий K; аномальный Na в листьях
AMK (Аманкарагай)	1046–2318	653–2143	719–1484	2243–9857	64–196	943–13733	Макс. Ca в опаде; низкий Na

Фёдоровский район характеризуется наиболее сбалансированным макроэлементным составом: P - 1857–2046, S - 1099–1528, Mg - 1869–2086, Ca - 4917–7873 мг/кг. Узкие диапазоны значений и отсутствие аномалий свидетельствуют о стабильных агрохимических условиях без техногенного воздействия.

В Новонежинке выявлена дифференциация состава по типу образца: P в злаках (2549–2661 мг/кг) выше, чем в листьях (848–1122 мг/кг). Нетипично высокий Na в листьях (3676–3979 мг/кг) может указывать на локальное засоление или присутствие галофитов. В целом макроэлементный состав соответствует фоновому уровню.

Аманкарагай (сосновый бор) отличается высоким Ca в опаде (6939–9857 мг/кг), умеренным P в хвое (2258–2318 мг/кг) и низким Na (64–196 мг/кг). Биогеохимический профиль определяется лесной экосистемой и карбонатными почвами без признаков техногенного загрязнения.

Содержание тяжёлых металлов высокой токсичности (As, Pb, Cd, Ni, Cr).

Сводные данные по тяжёлым металлам с расчётом Кк (относительно Новонежинки) представлены в Таблице 7.

Таблица 7 - Содержание тяжёлых металлов в растительных образцах по районам, мг/кг (* Кк по средним значениям Ni)

Район / пункт	As	Pb	Cd	Ni	Cr	Кк (Ni)*	Оценка
RU, UB (г. Рудный)	0,03–2,43	0,15–2,95	0,02–0,73	0,8–182	3,4–62	до >20	Высокая аномалия

Район / пункт	As	Pb	Cd	Ni	Cr	Кк (Ni)*	Оценка
MSK (с. Московское)	0,51–1,08	0,27–1,02	0,12–0,25	3,4–5,4	4,1–9,4	~0,9–1,1	Близкая к фону
FE (Фёдоровский р-н)	0,30–0,87	0,86–1,25	0,42–0,58	8,0–13,5	14,3–25,6	~1,5–2,6	Умеренная / геогенная
NO (с. Новонежинка) - фон	0,92–2,26	0,03–0,52	0,02–0,15	4,1–8,8	6,4–16,8	1,0 (фон)	Фоновая
AMK (Аманкарагай) - фон	1,05–1,97	0,14–2,93	0,08–0,41	4,9–8,1	5,4–11,0	~1,0 (фон)	Фоновая

Образцы Юбилейного (UB) показывают фоновые значения: As - 0,46–0,50, Pb - 0,82–0,88, Cd - 0,17–0,19, Ni - 4,1–5,7, Cr - 6,0–9,4 мг/кг, что подтверждает его расположение вне зоны активного техногенного воздействия.

В окрестностях г. Рудного: As - 0,03–2,43 мг/кг (макс. в В и ЮЗ направлениях); Pb - до 3,11 мг/кг в восточной зоне, повышен в листьях нижних ярусов (поверхностное осаждение); Cd - 0,02–0,73 мг/кг, макс. в верхних ярусах листьев (аэрогенный путь); Ni - 0,8–182 мг/кг (аномалия СВ-2-А1); Cr - 3,4–62 мг/кг (макс. в СВ и В секторах). Пространственная сопряжённость аномалий Ni и Cr указывает на общий металлургический источник.

Пространственный градиент Ni и Cr в окрестностях г. Рудного

Радиальный градиент Ni и Cr по восьми направлениям от г. Рудного представлен в Таблице 8; в качестве фона использованы значения Новонежинки (NO).

Таблица 8 - Пространственный градиент содержания Ni и Cr в растениях по направлениям от г. Рудного, мг/кг

Направление / элемент	0,5 км	1 км	2 км	4 км	Фон (NO)	Характер градиента
Никель (Ni), мг/кг						
Север (С)	7–9	5–10	6–8	4–6	4,1–8,8	Умеренное снижение с дистанцией
Северо-восток (СВ)	6–9	7–8	14–182	4–15	4,1–8,8	Аномальный пик на 2 км
Восток (В)	4–14	6–19	6–8	8–12	4,1–8,8	Повышенные по всей дистанции
Юго-восток (ЮВ)	4–10	6–14	6–18	9–13	4,1–8,8	Умеренно повышенные

Направление / элемент	0,5 км	1 км	2 км	4 км	Фон (NO)	Характер градиента
Никель (Ni), мг/кг						
Запад (З)	4–6	4–6	3–5	3–5	4,1–8,8	Близко к фону NO
Хром (Cr), мг/кг						
Северо-восток (СВ)	8–15	9–18	33–62	6–31	6,4–16,8	Аномальный максимум на 2 км
Восток (В)	7	12–37	7–13	5–10	6,4–16,8	Пик на 1 км
Юго-восток (ЮВ)	8–28	10–27	8–18	17–26	6,4–16,8	Устойчивое загрязнение
Запад (З)	4–7	4–5	4–6	5–7	6,4–16,8	Близко к фону NO

Пространственный градиент загрязнения чётко ориентирован по розе ветров. В наветренном западном направлении концентрации Ni и Cr минимальны, в восточном и северо-восточном - значительно выше. Абсолютный максимум Ni (182 мг/кг) зафиксирован на расстоянии 2 км в СВ-направлении, что объясняется аэродинамикой переноса крупнодисперсных частиц. На расстоянии 4 км концентрации снижаются, но в восточных секторах остаются повышенными, свидетельствуя о значительной протяжённости зоны техногенного влияния.

Московский участок: As - 0,51–1,08, Pb - 0,27–1,02, Cd - 0,12–0,25, Ni - 3,4–5,4, Cr - 4,1–9,4 мг/кг. Кк для Ni ~1,0 относительно фоновых значений. Признаков техногенного загрязнения тяжёлыми металлами не выявлено - территория характеризуется как экологически благополучная агрозона.

Фёдоровский район: Ni - 8,0–13,5, Cr - 14,3–25,6 мг/кг (Кк ~2,5 относительно MSK - умеренная аномалия), Cd - 0,42–0,58 мг/кг. Природа повышенных Ni и Cr (геохимическая или агрогенная) требует дополнительного изучения с привлечением почвенных проб.

Новонежинка: As - 0,92–2,26, Pb - 0,03–0,52, Cd - 0,02–0,15, Ni - 4,1–8,8, Cr - 6,4–16,8 мг/кг. Минимальные концентрации Pb и Cd при умеренных Ni и Cr, определяемых литогенными факторами, подтверждают статус эталонной фоновой территории для расчёта коэффициентов концентрации.

Аманкарагай: As - 1,05–1,97, Pb - 0,14–2,93 (максимум в опаде - аккумуляция при разложении органики), Cd - 0,08–0,41, Ni - 4,9–8,1, Cr - 5,4–11,0 мг/кг. Совместно с Новонежинкой образует надёжную парную фоновую базу (степная и лесная экосистемы) для регионального мониторинга.

Сопоставление результатов позволяет сформулировать следующие закономерности. (1) Промышленная зона г. Рудного - доминирующий источник загрязнения: аномалии Ni (до 182 мг/кг) и Cr (до 62 мг/кг) в восточном и СВ-секторах, Кк >20 относительно фона NO. (2) С. Московское - экологически чистая агрозона с фоновыми концентрациями тяжёлых металлов (Кк по Ni ~1) и агрогенно повышенными

Р и К. (3) Фёдоровский район демонстрирует умеренно повышенные Ni и Cr (Кк ~2,5 относительно MSK), природа которых требует дополнительного изучения. (4) Новонежинка и Аманкарагай формируют надёжную фоновую базу для регионального биогеохимического мониторинга. Полученные результаты подтверждают необходимость регулярного мониторинга агроэкосистем Костанайского региона, прежде всего в восточном и СВ-секторах г. Рудного [10].

Выводы

В зоне влияния горнодобывающих предприятий г. Рудного выявлена устойчивая техногенная биогеохимическая аномалия с накоплением Ni, Cr, Pb в растительных тканях; концентрации в восточном и СВ-направлениях превышают фон в 5–20 раз. Территории Московского, Фёдоровского и Аулиекольского районов демонстрируют экологически сбалансированный состав и могут служить эталонными зонами мониторинга. Результаты обосновывают необходимость регулярного биогеохимического контроля агроэкосистем региона для обеспечения продовольственной безопасности.

Благодарности

Научные исследования проводились в рамках грантовой программы целевого финансирования по проекту «Исследование воздействия экотоксикантов и инновационных агротехнологий на сельскохозяйственные земли и продукцию Костанайской области» на 2024–2026 годы (проект № BR24992839).

ЛИТЕРАТУРА

[1] Добровольский, В. В. Основы биогеохимии : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / В. В. Добровольский. - М. : Академия, 2003. - 400 с.

[2] Verkleij, J. A. C. Plants and the Chemical Elements: Biochemistry, Uptake, Tolerance and Toxicity / J. A. C. Verkleij, M. E. Schat. - 2nd ed. - Weinheim : Wiley-VCH, 2007. - 392 p.

[3] Панин, М. С. Эколого-биогеохимическая оценка техногенных ландшафтов Казахстана / М. С. Панин. - Семипалатинск, 2000. - 338 с.

[4] Бейсеев, О. Б. Экология и минеральные ресурсы Казахстана / О. Б. Бейсеев. - Алматы : Гылым, 2005.

[5] Алексеенко, В. А. Геохимия ландшафта : учебник / В. А. Алексеенко. - М. : Патриот, 2000. - 542 с.

[6] Kabata-Pendias, A. Trace Elements in Soils and Plants / A. Kabata-Pendias. - 4th ed. - Boca Raton : CRC Press, 2011. - 548 p.

[7] Alloway, B. J. Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability / B. J. Alloway. - 3rd ed. - Dordrecht : Springer, 2013. - 613 p.

[8] Методика выполнения измерений массовой доли металлов в пробах почв и растений методом атомно-эмиссионной спектрометрии (ICP-OES). - М. : ВНИИМ, 2012.

[9] Гигиенические нормативы «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию загрязняющих веществ в пищевой продукции» (Приказ Министра здравоохранения РК от 2 августа 2022 года № ҚР ДСМ-71).

[10] ГОСТ 24027.2-80. Сырьё лекарственное растительное. Методы определения влажности, содержания золы, экстрактивных и дубильных веществ, эфирного масла. - М. : Изд-во стандартов, 1980.

REFERENCES

[1] Dobrovol'skij, V. V. Osnovy biogeohimii [Fundamentals of Biogeochemistry] : ucheb. posobie dlja stud. vyssh. ucheb. zavedenij / V. V. Dobrovol'skij. - M. : Akademija, 2003. - 400 p.

[2] Verkleij, J. A. C. Plants and the Chemical Elements: Biochemistry, Uptake, Tolerance and Toxicity / J. A. C. Verkleij, M. E. Schat. - 2nd ed. - Weinheim : Wiley-VCH, 2007. - 392 p.

[3] Panin, M. S. Jekologo-biogeohimicheskaja ocenka tekhnogennyh landshaftov Kazahstana [Ecological and Biogeochemical Assessment of Technogenic Landscapes of Kazakhstan] / M. S. Panin. - Semipalatinsk, 2000. - 338 p.

[4] Bejseev, O. B. Ekologija i mineral'nye resursy Kazahstana [Ecology and Mineral Resources of Kazakhstan] / O. B. Bejseev. - Almaty : Gylym, 2005.

[5] Alekseenko, V. A. Geohimija landshafta [Landscape Geochemistry] : uchebnik / V. A. Alekseenko. - M. : Patriot, 2000. - 542 p.

[6] Kabata-Pendias, A. Trace Elements in Soils and Plants / A. Kabata-Pendias. - 4th ed. - Boca Raton : CRC Press, 2011. - 548 p.

[7] Alloway, B. J. Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability / B. J. Alloway. - 3rd ed. - Dordrecht : Springer, 2013. - 613 p.

[8] Metodika vypolnenija izmerenij massovoj doli metallov v probah pochv i rastenij metodom atomno-jemissionnoj spektrometrii (ICP-OES) [Method for Measuring Mass Fractions of Metals in Soil and Plant Samples by ICP-OES]. - M. : VNIIM, 2012.

[9] Gigienicheskie normativy «Sanitarno-jepidemiologicheskie trebovanija k soderzhaniju zagrjaznjajushhih veshhestv v pishhevoj produkcii» [Hygienic Standards "Sanitary and Epidemiological Requirements for the Content of Pollutants in Food Products"] : prikaz Ministra zdravoohranenija Respubliki Kazahstan ot 2 avgusta 2022 goda № QR DSM-71.

[10] GOST 24027.2-80. Syr'jo lekarstvennoe rastitel'noe. Metody opredelenija vlazhnosti, soderzhanija zoly, jekstrativnyh i dubil'nyh veshhestv, jefirnogo masla [Medicinal Plant Raw Materials. Methods for Determination of Moisture, Ash, Extractive and Tannin Substances, Essential Oil]. - M. : Izd-vo standartov, 1980.

Нурсеитова А.М., Ермолдина Г.Т., Жумалынов К.А., Тауакелов Ч.А.

ҚОСТАНАЙ ӨҢІРІНІҢ АУМАҒЫНДАҒЫ ӨСІМДІКТЕРГЕ ЭКОЛОГИЯЛЫҚ-ГЕОГРАФИЯЛЫҚ МОНИТОРИНГ

Аңдатпа. Мақалада Қостанай өңірінің аумағындағы өсімдіктерге жүргізілген экологиялық-географиялық мониторингтің нәтижелері ұсынылған; мақсаты - өсімдік тіндеріндегі ауыр және уытты химиялық элементтердің мөлшерін бағалау. Зерттеу нысандары ретінде антропогендік жүктеменің әртүрлі аймақтарында жиналған ауылшаруашылық және жабайы өсімдіктердің үлгілері пайдаланылды: Рудный қаласындағы тау-кен кәсіпорындарының маңында (Юбилейное), Қостанай (Московское) және Федоров аудандарының ауылшаруашылық аймақтарында, сондай-ақ Әулиекөл ауданының шартты фондық учаскелерінде (Аманқарағай, Новонежинка). Үлгілер алу үстем желдер бағытын және өнеркәсіптік шығарындылар көздерінен қашықтықты ескере отырып, радиалды схема бойынша жүзеге асырылды; әрбір нүктеде үш қайталанған алаңша салынды. Аналитикалық зерттеулер индуктивті байланысқан плазмалы оптикалық-эмиссиялық спектрометрия (ICP-OES) әдісімен жүргізілді; қорғасын, кадмий, никель, хром, мышьяк және басқа да уытты компоненттерді қоса алғанда макро-, мезо- және микроэлементтердің массалық үлестері, сондай-ақ өсімдік шикізатының күлділік

көрсеткіші анықталды. Рудный қаласынан шығыс және солтүстік-шығыс бағыттарда өсімдіктердегі никель мен хромның концентрациясы фондық деңгейден 5–10 есе асатыны анықталды; бұл тау-кен өндіру және өңдеу кәсіпорындарының аумақтарынан шаң бөлшектерінің аэрозольдік тасымалдануымен байланысты. Федоров және Әулиекөл аудандары техногендік ластану белгілерінсіз экологиялық тепе-тең элементтік құрамды көрсетеді. Кеңістіктік талдау өнеркәсіптік аймақтан алыстаған сайын төмендейтін ауыр металдар мөлшерінің айқын радиалды градиентін анықтады. Алынған деректер аймақтық биогеохимиялық мониторинг үшін және аумақты қарқынды өнеркәсіптік игеру жағдайында экологиялық және азық-түлік қауіпсіздігін қамтамасыз ету бойынша ұсынымдар әзірлеу үшін ғылыми негіз қалыптастырады.

Кілт сөздер: ауыр металдар, өсімдік мониторингі, Қостанай облысы, тау-кен кәсіпорындары, ICP-OES, экологиялық қауіпсіздік, биогеохимия.

Nurseitova A.M., Yermoldina G.T., Zhumalynov K.A., Tauakelov Ch. A.

ECOLOGICAL AND GEOGRAPHICAL MONITORING OF PLANTS IN THE KOSTANAY REGION

Annotation. The article presents the results of ecological and geographical monitoring of plants in the Kostanay region aimed at assessing the content of heavy and toxic chemical elements in plant tissues. The objects of study were samples of agricultural and wild plants collected in zones of varying anthropogenic pressure: near the mining enterprises of Rudny (Yubileynoe), in the agricultural zones of the Kostanay (Moskovskoye) and Fedorovsky districts, as well as at conditionally background sites of the Auliekol district (Amankaragay, Novonezhinka). Sampling was carried out according to a radial scheme, taking into account the direction of prevailing winds and the distance from industrial emission sources; three replicated plots were established at each sampling point. Analytical studies were conducted using inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES) to determine the mass fractions of macro-, meso-, and microelements, including lead, cadmium, nickel, chromium, arsenic and other toxic components, as well as the ash content of plant material. It was established that in the eastern and northeastern directions from Rudny, the concentrations of nickel and chromium in plants exceed background levels by 5–10 times, which is attributed to aerosol transport of dust particles from mining and processing enterprises. The Fedorovsky and Auliekol districts demonstrate an ecologically balanced elemental composition with no signs of technogenic contamination. Spatial analysis revealed a clearly expressed radial gradient in heavy metal content, decreasing with distance from the industrial zone. The data obtained form a scientific basis for regional biogeochemical monitoring and the development of recommendations for ensuring environmental and food safety under conditions of intensive industrial development of the territory.

Keywords: heavy metals, plant monitoring, Kostanay region, mining enterprises, ICP-OES, environmental safety, biogeochemistry.