

ЭКОЛОГИЯ / ECOLOGY

DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2023.39.13>НАКОПЛЕНИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НИКЕЛЯ (Ni⁺) В ОРГАНИЗМЕ ПЧЕЛ И ПРОДУКТАХ ПЧЕЛОВОДСТВА В РАЗЛИЧНЫХ РАЙОНАХ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

Научная статья

Сычев К.В.^{1,*}, Колочкова Е.В.², Пахалина И.А.³, Ндайишимийе Э.⁴, Низамов Р.Н.⁵¹ORCID : 0000-0002-0476-5698;¹Казанский федеральный университет, Казань, Российская Федерация^{2,3}Казанский государственный медицинский университет, Казань, Российская Федерация⁴Университет Бурунди, Бужумбура, Бурунди⁵Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности, Казань, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (kvs14[at]yandex.ru)

Аннотация

Проведенная работа была направлена на анализ характера распределения и степени кумуляции никеля (Ni⁺) в организме пчел и продуктах пчеловодства, отобранных в различных районах Республики Татарстан с дифференцированной антропогенно-техногенной нагрузкой. На основании проведенного анализа с помощью биологических тест-систем (апимониторинга) в районах повышенного техногенеза (нефтедобыча и нефтепереработка) Республики Татарстан показали различие уровня загрязнения, а также характера распределения Ni⁺ в организме пчел продуктах пчеловодства. Показано, что распределение Ni⁺ имеет неравномерный характер. По Ni⁺ в ЗБЦ (звеньях биологической цепи) «почва-пыльца», «пыльца-пчела», «пчела-мед» и «пчела-перга» районы РТ были сгруппированы, на основании коэффициента накопления.

Ключевые слова: *Apis mellifera* L., тяжелые металлы, апимониторинг, звенья биологической цепи, коэффициент накопления, никель.

ACCUMULATION AND DISTRIBUTION OF NICKEL (Ni⁺) IN THE ORGANISM OF BEES AND BEE PRODUCTS IN DIFFERENT REGIONS OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN

Research article

Sichev K.V.^{1,*}, Kolochkova E.V.², Pakhalina I.A.³, Ndayishimiye E.⁴, Nizamov R.N.⁵¹ORCID : 0000-0002-0476-5698;¹Kazan Federal University, Kazan, Russian Federation^{2,3}Kazan State Medical University, Kazan, Russian Federation⁴University of Burundi, Bujumbura, Burundi⁵Federal Center for toxicological, radiation, and biological safety, Kazan, Russian Federation

* Corresponding author (kvs14[at]yandex.ru)

Abstract

The conducted work was aimed at analysing the nature of distribution and degree of nickel (Ni⁺) cumulation in the organism of bees and beekeeping products sampled in different areas of the Republic of Tatarstan with differentiated anthropogenic and technogenic load. On the basis of the conducted analysis with the help of biological test-systems (apimonitoring) in the areas of increased technogenesis (oil production and oil refining) of the Republic of Tatarstan showed the difference in the level of pollution, as well as the nature of (Ni⁺) distribution in the organism of bees and bee products. It is demonstrated that the distribution of (Ni⁺) has a non-uniform character. The districts of the Republic of Tatarstan were grouped by (Ni⁺) in LBCs (links of the biological chain) "soil-pollen", "pollen-bee", "bee-honey" and "bee-ambrosia" on the basis of the accumulation coefficient.

Keywords: *Apis mellifera* L., heavy metals, apimonitoring, biological chain links, accumulation factor, nickel.

Введение

Техногенные и антропогенные воздействия оказывают негативное влияние на экосистемы в целом. Для нивелирования последствий этого воздействия на биогеоценозы необходим постоянный комплексный контроль, например, с помощью биоиндикаторов. Одним из сравнительно новых направлений биоиндикационных исследований является апимониторинг. Экологическая значимость медоносных пчел (*Apis mellifera* L.) определяется их присутствием в самых разнообразных типах биогеоценозов [1], [5]. Основными и наиболее опасными химическими загрязнителями почв крупных населенных пунктов являются тяжелые металлы. Проникая в почву, они начинают мигрировать по пищевым цепям, а так же напрямую воздействовать на человека. Масса никеля в коре земли (по массе %) – не более 10. Основное его присутствие – в рудах: сульфидных, медно-никелевых, окисленных силикатных и мышьяковистых. Он используется для получения коррозионностойких и пластичных сплавов (с железом, хромом, медью и др.), которые широко применяются в медицине (никелирование посуды и инструментов), машиностроении (покрытие деталей, производство аккумуляторных батарей), органической химии. Источники загрязнения окружающей среды – горнодобывающие, металлургические комбинаты, предприятия нефте-газовой отрасли. При попадании в почву тяжелый металл вызывает изменения микробного состава почвы в разных ее слоях (снижение в верхнем слое и увеличение в нижних слоях): способствует угнетению актиномицетов и стимулированию роста грибов.

В организм человека никель попадает через ЖКТ, слизистые, респираторную систему. Отравления никелем и его соединениями могут привести к летальному исходу.

С учетом разноречивости литературных данных о значительных колебаниях в концентрации никеля в продуктах пчеловодства в зависимости от региона, а также геоэкоморфологических особенностей, нами проведены настоящие исследования, целью которых являлось изучение накопления и распределения (Ni^{+}) в почве, организме пчёл и продуктах пчеловодства, собранных в различных районах Республики Татарстан [4], [6].

Методы и принципы исследования

В качестве объекта исследования использовали 195 образцов почвы, 288 проб продуктов пчеловодства – меда (85), пчел (63), пыльцы (69), и перги (71), отобранных в пасечных зонах Республики Татарстан, на территории восьми районов с наиболее высокой техногенной нагрузкой (Альметьевского, Азнакаевского, Бугульминского, Заинского, Лениногорского, Новошешминского, Чистопольского, Черемшанского). Для определения содержания ТМ в пыльце (обножке) забор проб производили 3х-кратно (май, июль-август) на 21 пасеке в течение 5 лет. Исследование полученных образцов проводили в несколько этапов.

Для исследования содержания никеля в почве проводили пробоподготовку. На этапе пробоподготовки осуществляли отбор проб почвы в соответствии с требованиями, изложенными в МУ 2.1.7.730-99 «Гигиеническая оценка качества почвы пасечных мест» и в ГОСТ 17.4.3.01-83 (СТСЭВ 3847-82) «Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб». В каждую пробу почвы (навески по 0,5 г), помещенную в тефлоновый стаканчик, добавлялось 10 мл концентрированной азотной кислоты. В дальнейшем осуществляли разложение проб в минерализаторе. Для этого герметично закрытые стаканчики со смесью помещали в микроволновую печь-минерализатор MARS 5. Разложение проб в печи происходило при температуре 165°C, мощности 400 Вт, давлении 35000 кПа (350 бар) в течение 2 мин. По завершении программы разложения и охлаждения, полученный раствор пропускали через фильтр «Синяя лента», в мерную колбу на 100 см³, до метки раствор доводили дистиллированной водой. Коэффициент разбавления образцов проб почвы составлял 5.

Параллельно готовили контрольный раствор с использованием тех же реактивов, что и для подготовки анализируемой пробы.

На втором этапе работы в исследуемых пробах определяли содержание никеля методом масс-спектрометрии с использованием индуктивно связанной плазмы (ICP-MS). Для этого параллельно два (анализируемый и контрольный) раствора помещали в загрузочное устройство прибора и измеряли выходной сигнал. Измерение повторяли 3 раза.

Обработку результатов проводили с использованием общепринятых методов вариационной статистики и пакета программ «Excel – 2010» [2], [3], [8], [10].

Сбор цветочной пыльцы осуществляли с помощью навесного пыльцеуловителя, учитывая критерии ГОСТ 28887-90 «Пыльца цветочная (обножка)» и СанПиН 2.3.2.1078-01. Для проб готовили навески цветочной пыльцы по 0.5 г. Каждую навеску помещали во фторопластовые цилиндры (PTFE, Viton™, Teflon™, PFA), добавляли 10 мл концентрированной азотной кислоты. Для разложения проб в минерализаторе помещали герметично закрытые стаканчики с реакционной смесью в микроволновую печь-минерализатор MARS 5 (при температуре 165°C, мощности 400 Вт, давлении 35000 кПа (350 бар)) на 2 минуты. По завершении программы разложения и охлаждения, полученный раствор пропускали через фильтр «Синяя лента», в мерную колбу на 100 см³, дистиллированной водой доводили раствор до метки. Коэффициент разбавления образцов проб пыльцы составлял 25 ($K = 25$). Все последующие исследования по определению тяжелых металлов в пробах пыльцы проводили так же, как в пробах почвы [2], [3], [8], [10].

Для исследования содержания никеля в пчелах, навески трупов пчел по 0,5 г, помещали во фторопластовые цилиндры (PTFE, Viton™, Teflon™, PFA), добавляли 10 мл концентрированной азотной кислоты и помещали в микроволновую печь-минерализатор MARS 5. Последующие исследования по определению концентраций никеля и обработку полученных результатов проводили так же, как в пробах почвы и пыльцы. По аналогичной методике проводили определение никеля в меде и перге.

Используя данные о концентрации никеля в исследуемых заборах, рассчитывали коэффициент накопления (K_n) из почвы в организмы пчел и продукты пчеловодства по формуле:

$$K_n = C_1 / C$$

где C_1 и C – соответственно концентрации тяжелого металла в звене-акцепторе и -доноре [2], [3], [8], [10].

Полученные данные обрабатывали методом вариационной статистики с использованием критерия Стьюдента [7], [9].

Основные результаты

3.1. Накопление и распределение никеля в почве, пчелах и апипродуктах

Результаты накопления и распределения (Ni^{+}) в почве, организме пчел и апипродуктах представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Накопление и распределение никеля в почве, организме пчел и апипродуктах, собранных в различных районах Республики Татарстан

DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2023.39.13.1>

Район	Концентрация тяжелого металла (мг/кг)				
	почва	мед	перга	пыльца	подмор пчел
Альметьевский	26,3	2,6	0,49	0,55	14,39

Бугульминский	34,9	1,38	0,61	0,71	12,31
Азнакаевский	27,11	1,43	0,53	0,63	4,41
Лениногорский	25,9	1,01	0,55	0,79	5,07
Новошешминский	11,9	1,65	0,29	0,56	5,09
Черемшанский	14,31	0,65	0,33	0,38	7,41
Чистопольский	14,1	0,98	0,23	0,37	2,39
Заинский	21,9	0,31	0,43	0,61	8,91

Из представленных в таблице 1 материалов видно, что изученные объекты (почва, пыльца растений, пчелы, мед и перга) контаминированы никелем весьма неравномерно. Наиболее контаминированная никелем почва была получена из Бугульминского района республики, наименее загрязненный почвенный слой относится к Новошешминскому району. По меду наиболее загрязненный – Альметьевский район, наименее – Заинский район. По перге и пыльце максимальная концентрация никеля зафиксирована в Бугульминском и Лениногорском районах соответственно, минимальная в Чистопольском. Подмор пчел наиболее загрязненный также в Альметьевском районе, наименее загрязненный в Чистопольском районе. Результаты неравномерного распределения в целом повторяют картину наших предыдущих исследований относительно Cu^+ , Cd^+ , Fe^+ и радионуклидов St^{90} и Cs^{137} .

3.2. Накопление никеля в звеньях биологической цепи

Результаты расчёта Кн никеля в звене биологической цепи (ЗБЦ) почва-пыльца, пыльца-пчела, пчела-мед, пчела-перга (таблица 2) дают возможность отнести районы по степени аккумуляции в апипродуктах к одной из групп согласно принятой методике [2], [3], [8], [10]:

- Сильное накопление (Кн более 10);
- Слабое накопление (Кн = 1-10);
- Отсутствие аккумуляции (Кн = 0,1-1,0);
- Слабая дискриминация (Кн = 0,01-0,1);
- Сильная дискриминация (Кн < 0,01);
- Полное отсутствие аккумуляции (Кн = 0).

Таблица 2 - Коэффициенты накопления никеля из почвы в апипродукты и организм пчел, обитающих в разных районах Республики Татарстан

DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2023.39.13.2>

Район	Звено биологической цепи			
	Почва-пыльца	Пыльца-пчела	Пчела-мед	Пчела-перга
Альметьевский	0,021	26,16	0,18	0,03
Бугульминский	0,020	17,34	0,11	0,05
Азнакаевский	0,023	7	0,32	0,12
Лениногорский	0,031	6,42	0,19	0,11
Новошешминский	0,047	9,09	0,32	0,06
Черемшанский	0,027	19,5	0,09	0,04
Чистопольский	0,026	6,46	0,41	0,09
Заинский	0,028	14,6	0,03	0,05

Накопление (сильное и слабое) наблюдается в ЗБЦ «пыльца-пчела» во всех районах республики. Отсутствие аккумуляции в ЗБЦ «пчела-мед» также отмечено в большинстве районов, кроме Черемшанского и Заинского. В ЗБЦ «пчела-перга», напротив большинство районов имеют слабую дискриминацию. Слабая дискриминация в ЗБЦ «почва-пыльца» присутствует во всех исследуемых районах.

Обнаружение различия степени аккумуляции никеля в изученных апипродуктах объясняется комплексом факторов, способствующих усилению или дискриминации накопления тяжелого металла в том или ином объекте, физико-химических свойств тяжелых металлов, агрохимической характеристики почвы, биологической особенностью акцептора.

Заключение

Результаты проведенного апимониторинга в районах интенсивного техногенеза в Республике Татарстан показали существенную разницу уровней контаминации и характера распределения никеля в организме пчёл и продуктов, вырабатываемых насекомыми. Результаты проведенных исследований позволили сделать следующие выводы:

1. Распределение никеля в организме пчёл и апипродуктах носила дифференцированный характер. Наиболее высокая концентрация наблюдается в районах с высокой антропогенно-техногенной нагрузкой;

2. Результаты проведенных расчетов по определению величины антропогенной нагрузки на исследованные апипродукты в звеньях биологической цепи «почва-пыльца», «пыльца-пчела», «пчела-мед» и «пчела-перга» позволили сгруппировать их по степени аккумуляции никеля на 4 группы: Сильное накопление (K_n более 10), слабое накопление ($K_n = 1-10$), отсутствие аккумуляции ($K_n = 0,1-1,0$), слабая дискриминация ($K_n = 0,01-0,1$).

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Билалов Ф.С. Апимониторинг в системе контроля загрязнения окружающей среды / Ф.С. Билалов, Л.А. Скребнева, В.З. Латыпова [и др.]. — Казань: Издательство КГУ, 2010. — 264 с.
2. Сычев К.В. Накопление и распределение железа в организме пчел и продуктах пчеловодства в различных районах Республики Татарстан / К.В. Сычев, Р.Н. Низамов, А.Р. Фазульянова [и др.] // Экология родного края: Проблемы и пути их решения. — Киров, 2022. — Книга 1. — С. 310-312.
3. Сычев К.В. Накопление и распределение меди (Cu^+) в организме пчел и продуктах пчеловодства в различных районах Республики Татарстан / К.В. Сычев, Р.Н. Низамов, Р.Р. Гайнуллин [и др.] // Экосистемы. — 2023. — № 34. — С. 174-178.
4. Bilalov F. Seasonal Variation in Heavy-metal Accumulation in Honey Bees as an Indicator of Environmental Pollution / F. Bilalov, L. Skrebneva, O. Nikitin [et al.] // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. — 2015. — № 6(4). — P. 215-221.
5. Bianu E. Honeybees – Bioindicators in a Heavy Metal Polluted Area / E. Bianu, D. Nica // Second European Conf. of Apidology, Prague 10-14th September 2006. — Prague, 2006. — P. 85.
6. Bogdanov S. Minerals in Honey: Environmental, Geographical and Botanical Aspects / S. Bogdanov, M. Haldimann, W. Luginbuhl [et al.] // Journal of Apicultural Research and Bee World. — 2007. — № 46(4). — P. 269-275.
7. Chiron S. Application of Online Solid-phase Extraction Followed by Liquid Chromatography-thermospray Mass Spectrometry to the Determination of Pestic / S. Chiron, S. Dupas, P. Scribe [et al.] // Journal of Chromatography A. — 1994. — № 2. — P. 295-305.
8. Galiullina A.V. Accumulation and Redistribution of Radionuclides in Honey Bees and Apiary Products in the Republic of Tatarstan, Russia / A.V. Galiullina, R.N. Nizamov, K.N. Vagin [et al.] // Astra Salvensis. — 2017. — № 2. — P. 581-590.
9. Golovanova A.M. A Composite Therapeutic Preparation for Radioisotope Elimination: Theoretical Presuppositions / A.M. Golovanova, R.N. Nizamov, K.V. Sychev [et al.] // International Journal of Pharmacy & Technology. — 2016. — Vol. 8. — № 4. — P. 24558-24564.
10. Sychev K.V. Accumulation and Redistribution of Cadmium in Honeybees and Apiary Products in Different Areas of the Tatarstan Republic / R.N. Nizamov, K.V. Sychev // Journal of Agriculture and Environment. — 2022. — № 2(22).

Список литературы на английском языке / References in English

1. Bilalov F.S. Apimonitoring v sisteme kontrolja zagriznenija okruzhajushhej sredy [Apimonitoring in the Environmental Pollution Control System] / F.S. Bilalov, L.A. Skrebneva, V.Z. Latypova [et al.]. — Kazan: KSU Publishing House, 2010. — 264 p. [in Russian]
2. Sychev K.V. Nakoplenie i raspredelenie zheleza v organizme pchel i produktah pchelovodstva v razlichnyh rajonah Respubliki Tatarstan [Accumulation and Distribution of Iron in the Body of Bees and Bee Products in Various Regions of the Republic of Tatarstan] / K.V. Sychev, R.N. Nizamov, A.R. Fazulyanova [et al.] // Jekologija rodnogo kraja: Problemy i puti ih reshenija [Ecology of the Native Land: Problems and Ways to Solve Them]. — Kirov, 2022. — Book 1. — P. 310-312. [in Russian]
3. Sychev K.V. Nakoplenie i raspredelenie medi (Cu^+) v organizme pchel i produktah pchelovodstva v razlichnyh rajonah Respubliki Tatarstan [Accumulation and Distribution of Copper (Cu^+) in the Body of Bees and Bee Products in Various Regions of the Republic of Tatarstan] / K.V. Sychev, R.N. Nizamov, R.R. Gainullin [et al.] // Jekosistemy [Ecosystems]. — 2023. — № 34. — P. 174-178. [in Russian]
4. Bilalov F. Seasonal Variation in Heavy-metal Accumulation in Honey Bees as an Indicator of Environmental Pollution / F. Bilalov, L. Skrebneva, O. Nikitin [et al.] // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. — 2015. — № 6(4). — P. 215-221.
5. Bianu E. Honeybees – Bioindicators in a Heavy Metal Polluted Area / E. Bianu, D. Nica // Second European Conf. of Apidology, Prague 10-14th September 2006. — Prague, 2006. — P. 85.

6. Bogdanov S. Minerals in Honey: Environmental, Geographical and Botanical Aspects / S. Bogdanov, M. Haldimann, W. Luginbuhl [et al.] // *Journal of Apicultural Research and Bee World*. — 2007. — № 46(4). — P. 269-275.
7. Chiron S. Application of Online Solid-phase Extraction Followed by Liquid Chromatography-thermospray Mass Spectrometry to the Determination of Pestic / S. Chiron, S. Dupas, P. Scribe [et al.] // *Journal of Chromatography A*. — 1994. — № 2. — P. 295-305.
8. Galiullina A.V. Accumulation and Redistribution of Radionuclides in Honey Bees and Apiary Products in the Republic of Tatarstan, Russia / A.V. Galiullina, R.N. Nizamov, K.N. Vagin [et al.] // *Astra Salvensis*. — 2017. — № 2. — P. 581-590.
9. Golovanova A.M. A Composite Therapeutic Preparation for Radioisotope Elimination: Theoretical Presuppositions / A.M. Golovanova, R.N. Nizamov, K.V. Sychev [et al.] // *International Journal of Pharmacy & Technology*. — 2016. — Vol. 8. — № 4. — P. 24558-24564.
10. Sychev K.V. Accumulation and Redistribution of Cadmium in Honeybees and Apiary Products in Different Areas of the Tatarstan Republic / R.N. Nizamov, K.V. Sychev // *Journal of Agriculture and Environment*. — 2022. — № 2(22).