

УДК: 631.416.9+574.2

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ МЕДИ И ЦИНКА В ОБЪЕКТАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И В ВОЛОСАХ НАСЕЛЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ ОКТЯБРЬСКОГО РАЙОНА ХАНТЫ-МАНСКИЙСКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА-ЮГРЫ ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

© 2025 г. А. В. Синдирева^{а, *}, М. А. Белов^{а, **}, Д. О. Пузанов^{б, ***},
С. С. Вешкурцева^{а, ****}

^аТюменский государственный университет, Тюмень, Россия

^бООО «РН-Юганскнефтегаз», Нефтеюганск, Россия

*E-mail: sindireva72@mail.ru

**E-mail: m.blvv@yandex.ru

***E-mail: puzanov31292@mail.ru

****E-mail: king805@mail.ru

Поступила в редакцию 26.11.2024 г.

После доработки 25.02.2025 г.

Принята к публикации 10.03.2025 г.

В рамках исследований в 2019–2022 гг. проведена оценка содержания меди и цинка в компонентах окружающей среды и волосах населения территории Октябрьского района Ханты-Мансийского автономного округа-Югры Тюменской области. Содержание подвижных форм микроэлементов в почвах агроценозов исследуемого района изменяется в зависимости от типа почв: меди — от 0.57 до 0.85 мг/кг, цинка — от 13.5 до 22.53 мг/кг. Эти значения не превышают предельно допустимых концентраций, но по агрохимическим грациям классифицируются как высокие. Содержание меди и цинка в овощных культурах, произрастающих на исследуемых почвах, в среднем составляет: картофель — медь 0.07 мг/кг, цинк — 0.34 мг/кг, морковь — медь 0.08 мг/кг, цинк — 0.50 мг/кг, свекла — медь 0.07 мг/кг, цинк — 0.50 мг/кг. Превышения предельно допустимых концентраций не обнаружено. Результаты анализа показывают, что в овощах, выращенных на дерново-подзолистых и подзолистых почвах, наиболее высокие концентрации меди и цинка, в отличие от овощей, произрастающих на серых лесных почвах.

Среднее содержание меди и цинка в водных объектах Октябрьского района ХМАО составляет: медь — 0.025 мг/л, цинк — 0.65 мг/л, что также не превышает допустимых значений и в то же время характеризуется как низкое.

Изучено содержание меди и цинка в волосах населения, постоянно проживающего на территории Октябрьского района. Установлена зависимость уровня микроэлементов в биосубстратах от пола, возраста и места проживания. С возрастом среднее содержание меди и цинка в волосах населения увеличивается. Количество этих элементов также зависит от пола: у женщин (среднее содержание меди — 59.65 мг/кг, цинка — 212.47 мг/кг) больше, чем у мужчин (среднее содержание меди — 21.87 мг/кг, цинка — 152.53 мг/кг). Установлена взаимосвязь содержания меди и цинка в воде и в волосах жителей региона, что позволяет сделать вывод о том, что питьевая вода является одним из источников элементов для человека.

Ключевые слова: медь, цинк, почвы, овощные культуры, вода, волосы населения

DOI: 10.31857/S0869607125010096, EDN: LHDMD E

ВВЕДЕНИЕ

Элементы, содержащиеся в организмах в очень небольших количествах, принято называть микроэлементами. Микроэлементы влияют на направленность действия ферментов и их активность [5]. Содержание микроэлементов в массе живых организмов составляет от 0.01 до 0.0001% [9].

Медь и цинк участвуют в круговороте веществ, влияют на биохимические процессы в живых организмах и поддерживают функционирование экосистем в целом [4]. Медь необходима для работы ферментов, участвующих в дыхании и энергетическом обмене растений и животных, играет важную роль в иммунной системе, участвуя в выработке ферментов, убивающих патогенные микроорганизмы. Цинк участвует более чем в 300 ферментативных реакциях, метаболических функциях, регуляции экспрессии генов, апоптозе и иммуномодуляции, тем самым демонстрируя свою важную роль в поддержании общего здоровья и благополучия [15].

В условиях Крайнего Севера России может отмечаться недостаток, избыток и дисбаланс содержания меди и цинка в живых организмах, которые участвуют в обмене белков, жиров, углеводов, синтезе белка в организме, теплообмене, кроветворении, костеобразовании, размножении, реакциях иммунитета [3]. С одной стороны, это может быть обусловлено природными факторами, с другой — интенсивное развитие северных территорий может быть причиной антропогенного поступления тяжелых металлов в объекты окружающей среды и, как следствие, в организм человека.

Недостаток этих микроэлементов может привести к серьезным нарушениям здоровья у людей и животных. Дефицит меди и цинка может вызывать анемию, задержку роста, иммунодефицитные состояния и нарушения репродуктивной функции. Профицит меди и цинка в окружающей среде также оказывает негативное воздействие на здоровье. Избыток меди может приводить к нарушению функций печени, почек и нервной системы, а избыток цинка — к нарушению всасывания других микроэлементов и другим негативным последствиям [12].

Дисбаланс между медью и цинком может возникать как при недостатке, так и при избытке одного из этих элементов. Это может приводить к нарушению обмена веществ, снижению иммунитета, нарушению репродуктивной функции и другим заболеваниям. Например, избыток меди приводит к дефициту цинка и молибдена [8]. Избыток, недостаток и дисбаланс микроэлементов в системе "почва — растение" может препятствовать росту сельскохозяйственных культур, тем самым снижая их урожайность. На загрязненных почвах у чувствительных растений могут развиваться токсические эффекты, которые могут замедлить рост растений или даже привести к их гибели [14].

Для решения проблемы дефицита, профицита и дисбаланса меди и цинка необходимо предпринимать меры по контролю над промышленными выбросами, правильному использованию удобрений и пестицидов в сельском хозяйстве, а также обеспечению сбалансированного питания для людей и животных. В связи с этим необходима комплексная оценка содержания микроэлементов в объектах окружающей среды.

Цель исследования: экологическая оценка содержания меди и цинка в объектах окружающей среды и в волосах населения Октябрьского района ХМАО-Югры Тюменской области.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Отбор проб и анализ почв, растений, воды проведен в Октябрьском районе ХМАО-Югры в 2019–2022 гг. Выбраны три населенных пункта (рис. 1) в различных частях района: северная часть — поселок (п.) Перегребное; центральная часть — поселок городского типа (пгт.) Приобье; юго-западная часть — поселок (п.) Уньюган.

Почвенный покров района складывается в основном из: подзолистых почв на наиболее дренированных участках; дерново-подзолистых почв под хвойными лесами, где преобладает кислая листовая подстилка, способствующая выщелачиванию оснований из верхних слоев почвы; серых лесных почв, сформированных под смешанными лесами, расположенными на суглинистых породах [2, 10]. Промышленность района представлена традиционными отраслями (лесозаготовка, лесопереработка, рыбодобыча и рыбообработка) и отраслями, история развития которых на территории Октябрьского района сравнительно небольшая (разведка недр и добыча нефти). Данный вид антропогенного воздействия может оказывать влияние на микроэлементный статус территории.

Почвы и растения. Всего за время исследования отобрано свыше 70 проб почв (агроценозов и фоновых территорий) в соответствии с ГОСТ 17.4.4.02-2017. Почвы и почвенный покров пахотных угодий характеризуются как пригодные для ведения очагового земледелия, возделывания в основном овощных культур. Отбор проб проводился одновременно с растительными образцами в период физиологической спелости растений. Растения представлены сельскохозяйственными культурами, которые человек употребляет в пищу (картофель, морковь, свекла). Образцы проанализированы на содержание меди и цинка методом плазменной атомно-абсорбционной спектрофотометрии в соответствии с ГОСТ 32343-2013.

Водные объекты. В ходе исследования водных объектов в период с 2019 по 2022 г. отобрано и проанализировано 60 образцов из поверхностных водных объектов — источников питьевого водоснабжения и грунтовой воды (из водоносных скважин). Отбор проб воды проведен в соответствии с ГОСТ 31861-2012. Пробы на содержание меди и цинка проанализированы методом плазменной атомно-абсорбционной



Рис. 1. Картошесмы отбора проб на территории п. Перегребное, пгт. Приобье, п. Уньюган Октябрьского района Ханты-Мансийского автономного округа — Югры Тюменской области.

Fig. 1. Schematic maps on the territory of the village of Peregrebnoye, the village of Prioby, the village of Unyugan of the Oktyabrsky district of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug-Yugra of the Tyumen Region.

спектрофотометрии по “Методике выполнения измерений массовой концентрации железа, кадмия, кобальта, марганца, никеля, меди, цинка, хрома и свинца в пробах природных и сточных вод”.

Биологические образцы (волосы). Отбор волос проводился согласно МУК 4.1.763-4.1.779-99 “Определение химических соединений в биологических средах”.

Всего было исследовано 57 человек: 22 человека до 18 лет; 35 человек в возрасте от 18 до 85 лет, постоянно проживающих на территории Октябрьского района ХМАО-Югры Тюменской области. При отборе проб волос населения проведен опрос. Люди, употребляющие с пищей витаминно-минеральные комплексы и/или биологически активные добавки, имеющие крашенные волосы и работающие в условиях вредности по химическому фактору, к исследованию не допускались.

По окончании полученные данные подвергали статистической обработке с использованием пакета программ MS EXEL. В ходе обработки информации проведен корреляционный анализ и применен метод оценки статистической значимости по методу Стьюдента. Во всех процедурах статистического анализа рассчитывали достигнутый уровень значимости (p). При этом за критический уровень значимости принимали $p \leq 0.05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Уровень содержания меди и цинка в почве может варьироваться в зависимости от ее типа в целом, гранулометрического состава, кислотности, содержания органических веществ, а также других физико-химических факторов среды. В исследовании проанализированы подвижные формы меди и цинка, поскольку они являются доступными для растений и с позиции диагностики питания растений являются наиболее информативными. Содержание подвижных форм меди и цинка в исследуемых почвах представлено в табл. 1.

В дерново-подзолистых почвах в п. Перегребное содержание подвижных форм меди в среднем составляет 0.85 ± 0.07 мг/кг, а цинка — 13.5 ± 1.89 мг/кг. Содержание подвижных форм меди в подзолистых почвах в пгт. Приобье в среднем 0.57 ± 0.10 мг/кг, а цинка 22.53 ± 0.45 мг/кг. В серых лесных почвах п. Уньюган содержание подвижных форм меди и цинка в среднем составляет 0.62 ± 0.93 мг/кг и 21.05 ± 3.15 мг/кг соответственно. Самое высокое содержание меди зафиксировано

Таблица 1. Содержание подвижных форм меди и цинка в почвах Октябрьского района ХМАО-Югры Тюменской области

Table 1. The content of mobile forms of copper and zinc in the soils of the Oktyabrsky district of KhMAO-Yugra, Tyumen Region

Район исследования / Research area	Тип почв / Soil type	Содержание, мг/кг / Content, mg/kg	
		Cu	Zn
Уньюган	Серые лесные	0.62 ± 0.93	21.05 ± 3.15
Приобье	Подзолистые	0.57 ± 0.10	22.53 ± 0.45
Перегребное	Дерново-подзолистые	0.85 ± 0.07	13.5 ± 1.89
ПДК*, мг/кг		3	23

* Согласно СанПиН 1.2.3685-21 “Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания”.

в дерново-подзолистых почвах (0.85 ± 0.07 мг/кг). Наивысшее содержание цинка в почвах агроценозов исследуемых населенных пунктов наблюдается в пгт. Приобье (22.53 ± 0.45 мг/кг) и в п. Уньюган (21.05 ± 3.15 мг/кг), а наименьшая концентрация зафиксирована в пробах почвы в п. Перегребное 13.5 ± 1.89 мг/кг.

Согласно агрохимическим грациям “Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения” и гигиеническим нормативам СанПиН 1.2.3685-21 среднее содержание подвижных форм меди ($>0.5\text{--}3.0$ мг/кг) и цинка ($>5.0\text{--}23.0$ мг/кг) в обследуемых почвах характеризуется как высокое. В то же время превышений гигиенических нормативов по содержанию подвижных форм меди и цинка на исследуемой территории не установлено. Однако встречаются территории как с избытком, так и с недостатком меди. Содержание цинка практически во всех образцах почвы выше нормы, и его значение в 70% обследованных проб приближается к ПДК (23 мг/кг). Необходимо отметить, что содержание подвижных форм цинка на исследуемых территориях гораздо выше, чем его уровень для тех же типов почв на юге Тюменской области, который составляет в среднем от 0.6 до 1.5 мг/кг и характеризуется, напротив, как низкий [6]. Очевидно, это объясняется характером антропогенного воздействия на территорию — разведка недр и добыча нефти. Так, использование химических реагентов, таких как буровые растворы и ингибиторы коррозии, которые могут содержать цинк или способствовать его мобилизации, а также аварии и утечки нефтепродуктов, приводят к поступлению цинка в почву. Кроме того, выбросы тяжелых металлов при сжигании топлива и отходов, связанных с нефтедобычей, также увеличивают концентрацию цинка в окружающей среде.

Содержание тяжелых металлов в растениях прежде всего зависит от биологических особенностей культуры. Среди эдафических факторов важнейшим являются тип почвы и ее характеристики (гранулометрический состав, pH, содержание органического вещества). И самое главное — наличие доступных (подвижных) соединений микроэлементов в почве. Поэтому особенности аккумуляции цинка и меди в почвах оказывают влияние на накопление этих микроэлементов в растениях [6]. Содержание меди и цинка в продукции растениеводства представлено в табл. 2.

Согласно данным (табл. 2), наиболее высокое содержание меди отмечается: в образцах картофеля в п. Перегребное (0.13 ± 0.001 мг/кг), выращенных на дерново-подзолистых почвах; в пробах моркови в п. Уньюган и п. Перегребное (0.10 ± 0.015 мг/кг); в пробах свеклы в п. Уньюган (0.10 ± 0.015 мг/кг), выращенных на серых лесных почвах.

Среднее значение содержания меди во всех исследуемых культурах по населенным пунктам составило 0.079 ± 0.011 мг/кг и не превышает ПДК, который составляет 5 мг/кг.

В соответствии с полученными результатами (табл. 2) наиболее высокое среднее содержание цинка содержится: в пробах картофеля в п. Уньюган (0.41 ± 0.069 мг/кг), выращенных на серых лесных почвах; в пробах моркови и свеклы в пгт. Приобье (0.66 ± 0.059 мг/кг и 0.83 ± 0.006 мг/кг соответственно) выращенных на подзолистых почвах. Средний показатель для всех образцов составляет 0.69 мг/кг. Самые высокие средние значения зафиксированы в п. Перегребном (1.3 мг/кг), а самые низкие — в п. Уньюган (0.41 мг/кг). ПДК цинка в овощах составляет 10 мг/кг, таким образом, во всех исследуемых культурах не установлено превышение гигиенических нормативов. Результаты анализа показывают, что в овощах, выращенных на дерново-подзолистых и подзолистых почвах, более высокое содержание меди и цинка, в отличие от растений, произрастающих на серых лесных почвах.

Таблица 2. Содержание меди и цинка в продукции растениеводства Октябрьского района ХМАО-Югры Тюменской области**Table 2.** Copper and zinc content in crop production Oktyabrsky district of KhMAO-Yugra, Tyumen Region

Район исследования / Research area	Сельскохозяйственная культура / Agricultural culture	Содержание, мг/кг / Content, mg/kg		ПДК*, мг/кг / MPC, mg/kg	
		Cu	Zn	Cu	Zn
Уньюган	Картофель белый Сорт: Елизавета	0.04 ± 0.005	0.41 ± 0.069	5	10
Приобье		0.04 ± 0.005	0.31 ± 0.043		
Перегребное		0.13 ± 0.001	0.32 ± 0.035		
Уньюган	Морковь Сорт: Витаминная 6	0.10 ± 0.015	0.36 ± 0.054		
Приобье		0.05 ± 0.005	0.66 ± 0.059		
Перегребное		0.10 ± 0.015	0.49 ± 0.064		
Уньюган	Свекла Сорт: Бордо 237	0.10 ± 0.015	0.48 ± 0.038		
Приобье		0.07 ± 0.005	0.83 ± 0.006		
Перегребное		0.04 ± 0.005	0.21 ± 0.027		

* Согласно СанПиН 2.3.2.1078-01 “Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов”.

В целом по результатам анализа отмечаются низкие значения исследуемых микроэлементов в овощных культурах, произрастающих в Октябрьском районе ХМАО-Югры Тюменской области.

На рис. 2 представлены коэффициенты биологического накопления меди и цинка в пробах сельскохозяйственных культур, выращенных на территории Октябрьского района Ханты-Мансийского автономного округа — Югры Тюменской области. Коэффициент накопления рассчитан как отношение содержания элемента в растении к содержанию его подвижных форм в почве. Этот показатель позволяет оценить способность растений накапливать элементы из почвы.

В соответствии с полученными данными (рис. 2) более высокие показатели коэффициента биологического накопления по меди в пробах моркови (0.06) и свеклы (0.16), выращенных на серых лесных почвах. Более высокие показатели по двум элементам в пробах картофеля (медь — 0.06, цинк — 0.02) и моркови (медь — 0.12, цинк — 0.036), выращенных на дерново-подзолистых почвах. Согласно данным (рис. 2), на подзолистых почвах свекла обладает большей способностью к накоплению меди (0.12) и цинка (0.036), в отличие от картофеля и моркови.

Коэффициент накопления зависит от почвенных условий, биологических особенностей культур и свойств элементов. Этот показатель для меди выше, чем цинка, что может говорить о высокой доступности меди для растений. Очевидно, что в данном случае срабатывают биологические механизмы защиты самих сельскохозяйственных культур. Известно, что растения при высоком содержании элемента в почве могут поглощать только необходимое его количество, не превышающее пороговое значение.

Таким образом, несмотря на высокое содержание меди и цинка в почве, установлено низкое содержание меди и цинка в овощной продукции, выращиваемой на территории Октябрьского района ХМАО-Югры, что подтверждается довольно низкими

коэффициентами биологического накопления. Поскольку данный регион не является сельскохозяйственным, вклад возделываемой растениеводческой продукции в формирование микроэлементного статуса местного населения невелик. В то же время многие авторы отмечают, что местная вода, предназначенная для питьевых нужд, является довольно значимым источником микроэлементов для человека [4, 5, 9]. Поэтому при оценке элементного статуса территории необходимо учитывать содержание микроэлементов (в частности, меди и цинка) в водных объектах. В наших исследованиях представлено обобщенное содержание в объектах водоснабжения Октябрьского района (табл. 3).

Анализ показал (табл. 3), что содержание меди в поверхностных и грунтовых водах находится на одинаковом уровне: от 0.02 ± 0.003 до 0.04 ± 0.007 мг/л. Средний показатель составляет 0.025 мг/л при максимально допустимой концентрации 1 мг/л. Усредненные значения по населенным пунктам также не превышают норму.

Наиболее высокий уровень содержания цинка был обнаружен в образцах, отобранных из скважин. Содержание цинка в поверхностных водах в среднем составляет 0.7 мг/л. Максимальная средняя концентрация зафиксирована в п. Уньюган (0.87 ± 0.121 мг/л), а минимальная — в пгт. Приобье (<0.001 мг/л). Средний показатель равен 0.65 мг/л, что не превышает ПДК, равного 5 мг/л.

Анализ содержания меди и цинка в поверхностных и грунтовых водах показал, что их концентрации не превышают предельно допустимых уровней. В целом уровень содержания меди и цинка в грунтовых и поверхностных водах является важным показателем, поскольку служит одним из критериев биогеохимического прогноза микроэлементного статуса разных ландшафтов.

Таким образом, комплексный анализ объектов окружающей среды на содержание меди и цинка позволяет использовать эти данные в целях экологического мониторинга. Однако для более полной характеристики микроэлементного статуса территории

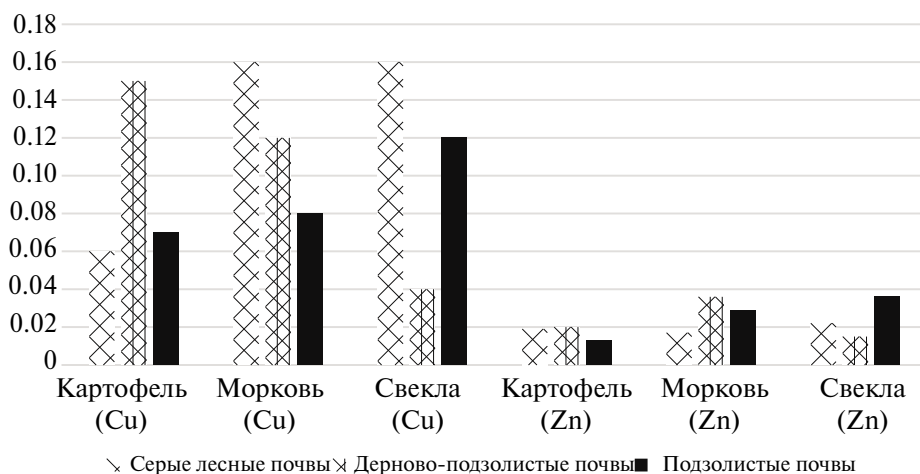


Рис. 2. Коэффициент накопления меди и цинка в пробах сельскохозяйственных культур, выращенных на территории Октябрьского района Ханты-Мансийского автономного округа — Югры Тюменской области.

Fig. 2. The coefficient accumulation of copper and zinc in samples of agricultural crops grown in the Oktyabrskiy district of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug-Yugra of the Tyumen Region.

Таблица 3. Содержание меди и цинка в пробах воды Октябрьского района ХМАО-Югры Тюменской области**Table 3.** Copper and zinc content in water samples Oktyabrsky district of KhMAO-Yugra, Tyumen Region

Район исследования / Research area	Тип водного объекта / Type of water body	Тип водоснабжения / Type of water supply	Содержание, мг/л / Content, mg/kg	
			Cu	Zn
Уньюган	Поверхност- ные воды	Система общего водоснабжения	0.02 ± 0.003	0.58 ± 0.081
Уньюган	Грунтовые воды	Скважина	0.03 ± 0.002	0.87 ± 0.121
Приобье	Грунтовые воды	Скважина	0.03 ± 0.002	0.81 ± 0.145
Приобье	Поверхност- ные воды	Система общего водоснабжения	0.04 ± 0.007	0.64 ± 0.070
Приобье	Поверхност- ные воды	Речной водозабор	<0.001	<0.001
Перегребное	Поверхност- ные воды	Речной водозабор	0.03 ± 0.002	0.73 ± 0.102
Перегребное	Грунтовые воды	Система общего водоснабжения	<0.001	0.3 ± 0.003
ПДК*, мг/л		-	1	5

* Согласно СанПиН 1.2.3685-21 “Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания”.

необходимо определение содержания элементов, в частности меди и цинка, в организме человека. Помимо природных условий территории, уровня техногенной нагрузки в регионе, микроэлементозы связаны с профессиональной деятельностью населения, приемом медикаментов, использованием косметики и средств бытовой химии. На территории Октябрьского района ХМАО-Югры большая часть людей работают в нефтегазовой отрасли, и район исследования относится к нефтегазопромысловому. Близость к широтам Крайнего Севера, суровые климатические условия вместе с профессиональной деятельностью введут к ухудшению здоровья населения, что может усугубляться недостатком или дисбалансом физиологически активных веществ и микроэлементов.

Многие исследователи отмечают, что волосы человека позволяет оценить уровень микроэлементов в организме за последние несколько месяцев. Также можно использовать метод анализа крови или мочи. Однако они отражают лишь текущую информацию об их содержании в организме. Содержание меди и цинка в волосах населения приведено в табл. 4.

Исследования показали, что с возрастом средний уровень меди и цинка в волосах в основном увеличивается. Исключение составляют показатели у жителей с. Перегребное, где такая зависимость не установлена. Самые низкие показатели отмечены у детей из пгт. Приобье (2.09 ± 0.18 мг/кг (Cu) и 88.75 ± 11.53 мг/кг (Zn), самые высокие у взрослых из п. Уньюган (97.12 ± 12.62 (Cu) мг/кг и 307.8 ± 18.42 мг/кг (Zn)). В целом как по меди, так и по цинку наиболее высокое содержание в волосах отмечается у населения п. Уньюган и превышает допустимый физиологический уровень [7].

Представляют также интерес не только возрастные, но и половые отличия в накоплении меди и цинка в волосах населения на определенной территории (табл. 5).

Таблица 4. Содержание меди и цинка в волосах населения Октябрьского района ХМАО-Югры Тюменской области

Table 4. The content of copper and zinc in the hair of the population Oktyabrsky district of KhMAO-Yugra, Tyumen Region

Район исследования / Research area	Группы населения / Population groups	Содержание, мг/кг / Content, mg/kg	
		Cu	Zn
Уньюган	Дети	58.84 ± 7.67*	253.38 ± 35.47
	Взрослые	97.12 ± 12.62*	307.8 ± 18.42*
Приобье	Дети	2.09 ± 0.18 ^x	88.75 ± 11.53 ^x
	Взрослые	11.9 ± 1.54* ^x	188.8 ± 16.99* ^x
Перегребное	Дети	18.9 ± 3.59 ^x	202.76 ± 32.44
	Взрослые	10.43 ± 5.73 ^x	151.91 ± 24.30 ^x
Среднее значение	Дети	24.71	123.56
	Взрослые	74.15	243.95
Допустимый уровень, мг/кг [7]		от 11 до 17	от 180 до 230

* Достоверность различий между группами “дети” и “взрослые” в пределах района при $p \leq 0.05$;

^x — достоверность различий по отношению к самому высокому значению между районами соответственно между группами “дети” и “взрослые” при $p \leq 0.05$.

Таблица 5. Содержание меди и цинка в волосах женщин и мужчин Октябрьского района ХМАО-Югры Тюменской области

Table 5. The content of copper and zinc in the hair of women and men Oktyabrsky district of KhMAO-Yugra, Tyumen Region

Район исследования / Research area	Группы населения / Population groups	Содержание, мг/кг / Content, mg/kg	
		Cu	Zn
Уньюган	Мужчины	50.26 ± 5.54	389.43 ± 39.17
	Женщины	134.41 ± 10.12*	408.48 ± 31.55
Приобье	Мужчины	7.12 ± 0.17 ^x	156.17 ± 12.13 ^x
	Женщины	14.0 ± 1.51* ^x	154.04 ± 17.14 ^x
Перегребное	Мужчины	11.14 ± 3.53 ^x	199.02 ± 17.45 ^x
	Женщины	26.24 ± 3.76* ^x	159.03 ± 14.17 ^x
Среднее значение	Мужчины	21.74	204.29
	Женщины	46.83	220.88
Допустимый уровень, мг/кг [7]		от 11 до 17	от 180 до 230

* Достоверность различий между группами “мужчины” и “женщины” в пределах района при $p \leq 0.05$; ^x — достоверность различий по отношению к самому высокому значению между районами соответственно между группами “мужчины” и “женщины” при $p \leq 0.05$.

Согласно данным табл. 5, содержание меди в волосах жителей исследуемых населенных пунктов отличается в зависимости от пола: в среднем по всей территории исследования у женщин концентрация выше — 46.83 мг/кг, чем у мужчин — 21.74 мг/кг. Наибольшие показатели у жителей п. Уньюган — 50.26 мг/кг у мужчин и 134.41 мг/кг у женщин. По содержанию цинка в волосах мужчин и женщин достоверных отличий не установлено.

Обнаруженные количественные различия в содержании микроэлементов в зависимости от пола и возраста свидетельствуют о том, что химический состав волос, помимо природных и антропогенных факторов окружающей среды, зависит от особенностей метаболизма человека.

Для выявления степени влияния содержания различных факторов окружающей среды на элементный состав волос человека проведен корреляционный анализ. Проведена оценка связей между уровнем меди и цинка в биосубстратах (волосы взрослого населения) и их содержанием в окружающей среде (вода, овощная продукция).

Между содержанием меди и цинка в овощных культурах и их уровнем в организме человека не установлено положительной связи.

Взаимосвязь меди и цинка в питьевой воде и в волосах человека характеризуется высокой (для Cu) и функциональной (для Zn) связью, коэффициент корреляции составляет соответственно 0.82 и 0.99. Это указывает на то, что химический состав воды может оказывать значительное влияние на микроэлементный статус населения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На территории Октябрьского района Ханты-Мансийского автономного округа — Югры изучено содержание меди и цинка в системе почва-растение, в воде и в волосах населения, проживающего в различных населенных пунктах территории.

Содержание подвижных форм меди и цинка в почвах исследуемой территории составляет в среднем: меди от 0.57 до 0.85 мг/кг, цинка от 13.5 до 22.53 мг/кг. Согласно агрохимическим градациям, среднее содержание подвижных форм меди и цинка в обследуемых почвах характеризуется как высокое. В то же время превышений гигиенических нормативов по содержанию подвижных форм меди и цинка на исследуемой территории не установлено.

Коэффициент биологического накопления меди и цинка зависит от почвенных условий, биологических особенностей культур и свойств элементов. Коэффициент биологического накопления растениями картофеля, свеклы, моркови для меди выше, чем цинка, что может говорить о высокой доступности меди для растений. В то же время валовое содержание меди в растениях овощных культур ниже, нежели цинка. По результатам анализа отмечаются низкие значения исследуемых микроэлементов в овощных культурах, произрастающих в Октябрьском районе ХМАО-Югры Тюменской области.

Содержание меди в поверхностных и грунтовых водах находится на одинаковом уровне: от 0.02 до 0.04 мг/л, при этом усредненные значения по населенным пунктам не превышают норму. Наиболее высокий уровень содержания цинка был обнаружен в образцах, отобранных из скважин. Среднее содержание цинка в воде составляет 0.65 мг/л, что не превышает ПДК. Отмечена высокая корреляция между уровнем меди и цинка в водных источниках, используемых для питьевого водоснабжения и в волосах населения, проживающего на данной территории.

Накопление микроэлементов, в частности, меди и цинка в организме жителей Октябрьского района ХМАО-Югры Тюменской области определяется рядом фак-

торов: природные (содержание Cu, Zn в объектах окружающей среды), уровень антропогенной нагрузки, включая загрязнение воздуха, воды, почвы, продуктов питания, методы ведения сельского хозяйства, характер питания, образ жизни, генетические факторы, пол, возраст и другие. Обращает на себя внимание значительная вариабельность распределения меди и цинка в зависимости от географического расположения административного района, среди изученных районов жители п. Уньюган имеют повышенное содержание меди и цинка по сравнению с другими районами и установленными физиологическими нормативами. Этот факт требует дополнительного изучения и выявления причин повышенного накопления меди и цинка в волосах. Установленные закономерности следует учитывать при разработке программы экологического и санитарно-эпидемиологического мониторинга территории и при разработке природоохранных мероприятий, и при оптимизации микроэлементного статуса населения.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алиева А. К., Кубалова Л. М. Биологическая роль химических элементов в зависимости от положения в периодической системе Д. И. Менделеева // Современные наукоемкие технологии. 2014, с. 83.
2. Добринский Л. Н. Экология ХМАО. // Изд. Софт-Дизайн. Тюмень. 1997, с. 288.
3. Клиническая лабораторная диагностика: национальное руководство: в 1 т. — Т. 1 / Под ред. В. В. Долгова, В. В. Меньшикова. — М.: ГЭОТАР-Медиа, 2012, с. 248-249.
4. Никитин Д. П., Новиков Ю. В. Окружающая среда и человек. — М.: Высшая школа, 1986, с. 415.
5. Протасова Н. А. Микроэлементы: биологическая роль, распределение в почвах, влияние на распространение заболеваний человека и животных // Изд-во Соросовский образовательный журнал, № 12, 1998, с. 32–37.
6. Синдирева А. В., Пузанов Д. О., Букин А. В., Томилова Е. В. Содержание меди и цинка в системе почва-растение на примере Октябрьского района Ханты-Мансийского автономного округа — Югры // Вестник Красноярского государственного аграрного университета, № 6 (159), 2020, pp. 99–104.
7. Скальный А. В., Сальникова Е. В., Кудрявцева Е. А., Кустова А. С. Аккумуляция тяжелых металлов и микроэлементов в волосах населения Оренбургской области // Микроэлементы в медицине, 2012, с. 42–45.
8. Тедеева И. Р., Кубалова Л. М. Биологическая роль меди и ее соединений // Изд. Северо-Осетинский государственный университет им. К.Л. Хетагурова. Владикавказ, 2014, с. 92.
9. Титов А. Ф., Таланова В. В., Казнина Н. М., Лайдинен Г. Ф. Устойчивость растений к тяжелым металлам // Институт биологии КарНЦ РАН. / Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007, с. 172.
10. Чижов Б. Е. Лес и нефть Ханты-Мансийского округа — Югры. // Изд. Тюмень. Ю. Мандрики, 1998, с. 105.
11. Шеуджен А. Х. Биогеохимия. Майкоп // ГУ- РИПП “Адыгея”, 2003, 1028 с.
12. Giovana Clarice, Poggere Amanda, Gasparin Julierme, Zimmer Barbosa, George Wellington, Melo Rodrigo S., Corrêa Antonio, Carlos Vargas Motta. Soil contamination by copper: sources, ecological risks, and mitigation strategies in Brazil. Journal of trace elements and minerals, 4 (2023):100059-100059. <https://doi.org/10.1016/j.jtemin.2023.100059>

13. *Kabata-Pendias A.* Trace Elements in Soils and Plants // A. Kabata-Pendias. 4th Edition. Boca Raton, FL: CRC Press, 2011 548 p.
14. *Kumar, Vinod et al.* Copper bioavailability, uptake, toxicity and tolerance in plants: A comprehensive review. // Chemosphere vol. 262 (2021): 127810.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127810>
15. *Schoofs, Hannah, Joyce Schmit, and Lothar Rink.* 2024. Zinc Toxicity: Understanding the Limits // Molecules 29, no. 13: 3130.
<https://doi.org/10.3390/molecules29133130>

Ecological Assessment of the Content of Copper and Zinc in Environmental Objects and in the Hair of the Population in the Oktyabrsky District of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug-Yugra of the Tyumen Region

A. V. Sindireva^{1, *}, M. A. Belov^{2, **}, D. O. Puzanov^{1, *}, S. S. Veshkurtseva^{1, ****}**

¹*Tyumen State University, Tyumen, Russia*

²*LLC RN-Yuganskneftegaz, Nefteyugansk, Russia*

**E-mail: sindireva72@mail.ru*

***E-mail: m.blvv@yandex.ru*

****E-mail: puzanov31292@mail.ru*

*****E-mail: king805@mail.ru*

Abstract — As part of the research in 2019–2022, an assessment of the content of copper and zinc in environmental components and hair of the population of the Oktyabrsky District of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug-Yugra of the Tyumen Region was carried out. The content of mobile forms of trace elements in the soils of agrocenoses of the studied area varies depending on the type of soil: copper — from 0.57 to 0.85 mg/kg, zinc — from 13.5 to 22.53 mg/kg. These values do not exceed the maximum permissible concentrations, but are classified as high according to agrochemical gradations. The average content of copper and zinc in vegetable crops growing on the studied soils is: potatoes — copper 0.07 mg/kg, zinc — 0.34 mg/kg; carrots — copper 0.08 mg/kg, zinc — 0.50 mg/kg; beetroot — copper 0.07 mg/kg, zinc — 0.50 mg/kg. No excess of the maximum permissible concentrations was detected. The results of the analysis show that vegetables grown on sod-podzolic and podzolic soils have the highest concentrations of copper and zinc, unlike vegetables growing on gray forest soils. The average content of copper and zinc in the water bodies of the Oktyabrsky district of the Khanty-Mansi Autonomous Okrug is: copper — 0.025 mg/l, zinc — 0.65 mg/l, which also does not exceed the permissible values and at the same time is characterized as low.

The content of copper and zinc in the hair of the population permanently residing in the Oktyabrsky district was studied. The dependence of the level of trace elements in biosubstrates on gender, age and place of residence has been established. With age, the average copper and zinc content in the hair of the population increases. The amount of these elements also depends on gender: women (average copper content — 59.65 mg/kg, zinc — 212.47 mg/kg) have more than men (average copper content — 21.87 mg/kg, zinc — 152.53 mg/kg). The relationship between the content of copper and zinc in water and in the hair of the inhabitants of the region has been established, which allows us to conclude that drinking water is one of the sources of these elements for humans.

Keywords: copper, zinc, soils, vegetable crops, water, hair of the population

REFERENCES

1. *Alieva A. K., Kubalova L. M.* Biologicheskaya rol' himicheskikh elementov v zavisimosti ot polozheniya v periodicheskoy sisteme D.I. Mendeleeva // *Sovremennye naukoemkie tekhnologii.* 2014, s. 83.
2. *Dobrinskij L. N.* Ekologiya HMAO. // *Izd. Soft-Dizajn. Tyumen'.* 1997, s. 288.
3. *Klinicheskaya laboratornaya diagnostika: nacional'noe rukovodstvo: v 1 t. — T. I / Pod red. V. V. Dolgova, V. V. Men'shikova. — M.: GEOTAR-Media, 2012, s. 248-249.*
4. *Nikitin D. P., Novikov Yu. V.* Okruzhayushchaya sreda i chelovek. — M.: Vysshaya shkola, 1986, s. 415.
5. *Protasova N. A.* Mikroelementy: biologicheskaya rol', raspredelenie v pochvah, vliyaniye na rasprostraneniye zabolevaniy cheloveka i zhivotnykh // *Izd-vo Sorosovskij obrazovatel'nyj zhurnal, № 12, 1998, s. 32–37.*
6. *Sindireva A. V., Puzanov D. O., Bukin A. V., and Tomilova E. V.* Soderzhanie medi i cinka v sisteme pochva-rasteniye na primere Oktyabr'skogo rajona Hanty-Mansijskogo avtonomnogo okrug — YUgry // *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, № 6 (159), 2020, pp. 99–104.*
7. *Skal'nyj A. V., Sal'nikova E. V., Kudryavceva E. A., Kustova A. S.* Akkumulyaciya tyazhelykh metallov i mikroelementov v volosakh naseleniya Orenburgskoj oblasti // *Mikroelementy v medicine, 2012, s. 42–45.*
8. *Tedeeva I. R., Kubalova L. M.* Biologicheskaya rol' medi i ee soedinenij // *Izd Severo-Osetinskij gosudarstvennyj universitet im. K. L. Hetagurova Vladikavkaz, 2014, s. 92.*
9. *Titov A. F., Talanova V. V., Kaznina N. M., Lajdinen G. F.* Ustojchivost' rastenij k tyazhelym metallam // *Institut biologii KarNC RAN. / Petrozavodsk: Karel'skij nauchnyj centr RAN, 2007, s. 172.*
10. *Chizhov B. E.* Les i neft' Hanty-Mansijskogo okruga — YUgry. // *Izd. Tyumen'. Yu. Mandriki, 1998, s. 105.*
11. *Sheudzhen A. H.* Biogeohimiya. Majkop // *GU- RIPP "Adygeya", 2003, 1028 s.*
12. *Giovana Clarice, Poggere Amanda, Gasparin Julierme, Zimmer Barbosa, George Wellington, Melo Rodrigo S., Corrêa Antonio, Carlos Vargas Motta.* Soil contamination by copper: sources, ecological risks, and mitigation strategies in Brazil." *Journal of trace elements and minerals, 4 (2023):100059–100059.* <https://doi.org/10.1016/j.jtemin.2023.100059>.
13. *Kabata-Pendias A.* Trace Elements in Soils and Plants // *A. Kabata-Pendias. 4th Edition. Boca Raton, FL: CRC Press, 2011. 548 p.*
14. *Kumar Vinod et al.* Copper bioavailability, uptake, toxicity and tolerance in plants: A comprehensive review. // *Chemosphere vol. 262 (2021): 127810.* <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127810>
15. *Schoofs Hannah, Joyce Schmit, and Lothar Rink.* 2024. Zinc Toxicity: Understanding the Limits // *Molecules 29, no. 13: 3130.* <https://doi.org/10.3390/molecules29133130>