

УДК: 613.26/.29:541.43

Г.Г. Морковкин, Е.В. Панова

Возможные медико-экологические проблемы, обусловленные различным поступлением химических элементов в систему «почва–овощи–человек»

Избыток химических элементов в окружающей среде, как и их недостаток, может привести к нарушению обмена веществ и развитию специфических заболеваний человека [1–4].

Большая часть многих необходимых, либо токсичных веществ поступает в организм человека с пищевыми продуктами. К. Рейлли, указывает, что этим путем может поступать до 70% химических элементов [1].

По мнению Б.А. Ягодина, практически для каждого элемента необходимо различать четыре уровня концентрации: 1) дефицит элемента, когда организм страдает от недостатка; 2) оптимальное содержание, способствующее хорошему состоянию организма; 3) терпимые концентрации, когда депрессии организма лишь начинают проявляться; 4) губительные для данного организма [2].

Из 92 встречающихся в природе химических элементов 81 обнаружен в организме человека. Микроэлементы (медь, цинк, хром) признаны эссенциальными, т.е. жизненно необходимыми; никель – условно эссенциальный [2–3]. Однако по степени опасности цинк относится к первому классу высоко опасных для здоровья людей элементов; медь, никель, хром – ко второму классу умеренно опасных [5].

Цинк наиболее подвижен в виде иона Zn^{2+} в кислых средах. Основные его соединения в почвах представлены $Zn(OH)_2$, $ZnCO_3$, $Zn_3(PO_4)_2$. В кислой среде цинк адсорбируется по катионно-обменному механизму, в щелочной среде – в результате хемосорбции. Важными факторами, влияющими на подвижность цинка, является содержание в почвах глинистых минералов и гумуса. С органическим веществом цинк образует устойчивые формы, поэтому в большинстве случаев он накапливается в горизонтах почв с высоким содержанием гумуса и торфа [6].

Цинк в больших количествах ($>7 \times 10^{-3}\%$) токсичен для растений, так как наблюдается угнетение процессов окисления [7]. Предельно допустимая концентрация (ПДК) цинка в растительных кормах составляет 50 мг/кг, в растительных продуктах питания человека – 10–50 мг/кг [8]. При избыточной концентрации соединения цинка (особенно, оксид, хлорид, сульфат)

вызывают у людей воспаление кожи и заболевание органов верхних дыхательных путей, поражают кровь и центральную нервную систему [4].

Недостаток цинка ($3 \times 10^{-3}\%$) приводит к задержке или прекращению роста большинства растений [7].

Цинк относится к микроэлементам, необходимым для функционирования человеческого организма, входит в состав инсулина, функционирует как активатор 80 ферментов. Его недостаток в рационе человека представляет серьезную угрозу для здоровья. При отсутствии или недостатке цинка нарушается биосинтез витаминов (аскорбиновой кислоты, витамина B_1) и ростовых веществ – ауксинов, что проявляется в замедленном росте и половом инфантилизме подростков, нарушении вкуса (гипогезия), потери аппетита и нарушении обоняния (гипосмия), нарушении заживления ран [9].

Необходимая суточная доза цинка в рационе среднестатистического взрослого человека – 5,5–22,0 мг [9].

Медь. В химическом отношении медь является малоактивным металлом. Образует оксиды: Cu_2O , CuO и Cu_2O_3 . Гидроксид меди $Cu(OH)_2$ – очень слабое основание. В почве катионы меди взаимодействуют с органическими и минеральными соединениями и могут осаждаться в виде сульфидов, карбонатов и гидроксидов. Поэтому медь является малоподвижным элементом в почвах, представленным главным образом валовой формой. Все соли меди достаточно ядовиты. Наибольшее значение в токсикологии имеют ее подвижные соединения. Основное количество меди в почве связано с оксидами железа и марганца, гидроксидами железа и алюминия. Гуминовые и фульвокислоты образуют с медью устойчивые комплексы. В связи с этим вполне объяснима известная медная недостаточность растений на торфяных почвах, т.е. торф обладает способностью прочной фиксации этого элемента [5].

При недостатке меди ($6–15 \times 10^{-4}\%$) нарушаются процессы метаболизма растений, они заболевают: свертываются и засыхают листья, задержи-

вается развитие корневой системы, проявляется хлороз. Медь необходима для образования гемоглобина у человека, помогает работоспособности желез внутренней секреции, стимулирует белковый обмен. Недостаток Cu вызывает анемию, является одной из причин деминерализации костей, развития остеопороза.

В концентрациях свыше $6 \times 10^{-3}\%$ медь токсична для живых организмов. Мутагенные и канцерогенные свойства у Cu не установлены. Попадая в организм человека, соединения меди действуют как токсины, вызывая отравления, заболевания крови, почек, кишечного тракта [3; 4; 7; 9; 10].

Поступление меди с пищей должно составлять 2–5 мг в сутки, причем суточное потребление менее 2 мг опасно в связи с возможностью развития медьдефицитных состояний [3; 10].

Никель образует два оксида: оксид никеля (II) NiO и оксид никеля (III) Ni₂O₃ и соответствующие им основания. В природной среде никель существует в виде сульфидов и арсенидов, часто замещает железо в железомagneзиевых соединениях, а также ассоциируется с карбонатами, фосфатами и силикатами. С оксидами Mn и Fe связывается в почве до 15–30% общего количества никеля. В верхних горизонтах почв никель присутствует в связанных с органическим веществом формах, часть которых находится в виде легкорастворимых хелатов. Однако наиболее доступны растениям оксиды металлов Fe, Mn, а также и Ni [6].

Никель относят к биологически активным элементам, которые стимулируют определенные физиологические процессы. Никельдефицитные состояния у человека не зарегистрированы, однако имеются указания, что в контролируемой окружающей среде космического корабля может возникать недостаточность никеля.

Токсичность никеля, как и многих других металлов, зависит от химической формы его соединений и пути их поступления в организм. При попадании в организм человека соединения никеля могут выступать как токсины и канцерогены [8]. Суточная потребность в никеле для взрослого человека 0,6–0,8 мг [3; 9].

Хром образует три оксида: оксид хрома (II) CrO, имеющий основной характер, оксид хрома (III) Cr₂O₃, проявляющий амфотерные свойства и оксид хрома (VI) или хромовый ангидрид CrO₃ – кислотный оксид. В почве хром формирует комплексные ионы: Cr(OH)²⁺, CrO₄²⁻, CrO₃⁻. Большая часть хрома в почве присутствует в виде Cr³⁺, который образует оксиды вместе с ионами Fe. В кислой среде ион Cr³⁺ инертен, при pH

5,5 почти полностью выпадает в осадок. Ион Cr⁶⁺ крайне не стабилен и легко мобилизуется в кислых и щелочных почвах. При увеличении pH адсорбция Cr⁶⁺ уменьшается, а адсорбция Cr³⁺ повышается. Органическое вещество почвы стимулирует восстановление Cr⁶⁺ до Cr³⁺. Для растений хром токсичен только в окисленной (шестивалентной) форме. Поглощение его происходит преимущественно корневой системой [6].

При недостатке хрома в организме человека нарушается усвоение глюкозы. А это напрямую связано с развитием диабета. Недостаток хрома может спровоцировать развитие сердечных заболеваний, почечной недостаточности. Хром (особенно шестивалентный) обладает наиболее выраженным общетоксическим, нефротоксическим, гепатоксическим, мутагенным и канцерогенным действием. Рекомендуемое потребление 0,02–0,5 мг в сутки [4; 9].

В целом территория Алтайского края характеризуется высоким содержанием тяжелых металлов в почвах. Большое содержание тяжелых металлов в почвах районов, расположенных в предгорной зоне Алтая: Рубцовском, Локтевском, Змеиногорском, Третьяковском – в южной части края; Усть-Калманском, Смоленском, Алтайском, Солонешенском – на востоке; Заринском, Тальменском – на севере. Эти территории характеризуются высокими фоновыми значениями вследствие повышенного содержания в породах металлических руд. Малозагрязнены Троицкий, Зональный, Бийский, Тогульский, Ельцовский районы [11].

Около 460 тыс. семей в крае ведут личные подсобные хозяйства, являются владельцами земельных участков в коллективных садоводствах и огородничествах. В 2003 г. на подворьях было выращено более 90% овощей и картофеля от общего количества в крае, закуплено у населения 10 тыс. т картофеля. В 2003 г. в России был принят закон «О личном подсобном хозяйстве», и с начала 2004 г. закуп продукции в личных подсобных хозяйствах ведется более высокими темпами [12].

Выращиваемая на приусадебных участках овощная продукция используется в основном для личного потребления и является основным растительным продуктом в течение многих лет, в связи с чем возможно значительное влияние химического состава выращиваемых растений на накопление либо дефицит химических элементов в организме человека.

Поступление элементов в растения одного и того же вида, выращенные при одинаковых условиях, в сильной степени зависит от типа почвы. На поглощение того или иного элемента из

почвы влияет и содержание в ней других микроэлементов [13].

Содержание различных химических элементов в почве зависит от химического состава почвообразующих пород, поступлении их в почву в результате техногенеза (ТЭЦ, металлургических комбинатов, предприятий химической промышленности, автотранспорта), поступления с минеральными и органическими удобрениями, пестицидами и др. [14].

Повышенные концентрации тяжелых металлов природного происхождения в почвах встречаются в тех районах, где имеют место выходы полиметаллических руд. На территории Алтайского края к ним относятся предгорья Алтая и Салаирского кряжа. Добыча полиметаллических руд (Локтевский, Змеиногорский районы), их обогащение привели к тому, что в южной части края возникли локальные очаги с повышенными концентрациями таких элементов, как Zn, Pb, Sb, Cd, Ni и др. Однако в степной части территории региона также установлено некоторое превышение ряда тяжелых металлов над фоном, что не связано с естественными выходами рудных месторождений. Очевидно, что эти металлы и металлоиды, содержание которых превышает фон, имеют антропогенное происхождение [15].

Установлено, что на техногенно загрязненных почвах растения способны накапливать в своих подземных и надземных органах большое количество тяжелых металлов [16–17]. Содержание металла в почве не должно приводить к загрязнению выращенной на ней растениеводческой продукции сверх ПДК.

С целью изучения медико-экологических проблем, связанных с различным поступлением химических элементов в систему «почва–овощи–человек» проводились исследования в следующих природно-почвенных зонах Алтайского края:

1. Зона каштановых почв сухих степей (административные районы Славгородский (с. Знаменка), Михайловский (с. Бастан), Угловский (с. Наумовка), Благовещенский (с. Степное-Озеро)).

2. Зона черноземов засушливой и умеренно засушливой степи (административные районы Хабарский (с. Хабары), Родинский (п. Шаталовка), Рубцовский (с. Зеленая Дубрава, с. Половинкино), Алейский (с. Боровское)).

3. Зона выщелоченных черноземов и серых лесных почв средней лесостепи (административные районы: Тальменский (р.п. Тальменка), Косихинский (с. Косиха), г. Заринск).

4. Зона черноземов предгорных равнин, предгорий и низкогорий Алтая (административные районы: Третьяковский (с. Староалейское), Курьинский (с. Трусово), Краснощековский (с. Мара-

лиха, с. Усть-Козлуха, с. Карпово), Петропавловский (с. Алексеевка), Смоленский (с. Новотырышкино), Советский (с. Красный Яр, с. Половинка)).

В каждом населенном пункте было проведено анкетирование 30 семей, имеющих приусадебные участки и выращивающих овощи. При разработке анкеты принимались во внимание основные эколого-гигиенические нормативные документы, опыт ряда исследователей по опубликованным работам, а также специфика проживания людей. Почвенные пробы отбирались с приусадебных участков в местах выращивания овощной продукции, а также были выбраны образцы основных овощей (свеклы, моркови, лука, капусты) и картофеля. При отборе проб почв, продуктов растениеводства, подготовки проб к анализу, проведении анализа руководствовались «Методическими указаниями по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства» (1992 г.) [18].

Химическое разложение проб почв при валовом определении металлов проводилось 5М раствором азотной кислоты с последующим кипячением на водяной бане в течение 3 часов. Подвижные формы соединений элементов в почвах извлекались ацетатно-аммонийным буферным раствором с pH = 4,8. Этот экстрагент принят агрохимической службой для извлечения доступных растениям микроэлементов и служит для оценки обеспеченности почв ими. Минерализацию растительных проб проводили методом сухого озоления по ГОСТ 26657-85.

Анализ образцов почвы, овощей и картофеля проводился в НИИ химизации сельского хозяйства государственного образовательного учреждения АГАУ атомно-абсорбционным методом на спектрофотометре с лампами полого катода С115-1М с пламенной атомизацией.

Оценку загрязнения почв проводили методом сравнения относительно ПДК и сравнением с фоновыми концентрациями элементов в почве данного региона, овощных культур – относительно ПДК.

В данной статье нами приводятся обобщенные данные о поступлении в систему «почва–овощные культуры», меди и цинка по трем природным зонам: сухая степь; зона предгорных равнин, предгорий и низкогорий Алтая; лесостепь. Средние значения валовых цинка и меди в почвах приусадебных участков обследованных районов не превышают ПДК. Отмечено превышение фона по цинку в почве (0–20 см) Петропавловского района (зона предгорных равнин, предгорий и низкогорий Алтая),

по меди – в почве г. Заринска (лесостепь) (0–20 см) – в 1,4 раза.

Во всех образцах столовой свеклы, выращенной на приусадебных участках г. Заринска, отмечалось превышение ПДК по цинку, в среднем в три раза. В Славгородском (сухая степь) и Смоленском (зона предгорных равнин, предгорий и низкогорий Алтая) районах свекла накапливала Zn выше ПДК в 1,3 и 1,4 раза соответственно. В картофеле, луке, моркови и капусте отмечалось содержание цинка ниже ПДК, кроме единичных проб картофеля во всех районах, проб лука в г. Заринске, моркови – в Петропавловском районе и г. Заринске.

Медь преимущественно накапливалась в съедобной части свеклы и была выше норм ПДК во всех районах, кроме свеклы, выращенной в Славгородском районе. Отмечено превышение содержания Cu в 35% проб картофеля Петропавловского района.

Средние данные по содержанию цинка и меди в овощной продукции обследованных районов дают возможность отметить, что наибольшим уровнем их накопления характеризуется столовая свекла, низким – капуста.

По нашим данным, съедобная часть моркови, столовой свеклы меньше накапливает Zn и Cu, чем кожура. У картофеля примерно одинаковое содержание цинка и меди, что в мякоти клубней, что в кожуре. Кочерыга накапливает больше химических элементов, чем листья кочана.

Таким образом, зная распределение тяжелых металлов в отдельных зонах и тканях различных органов растений, можно оценить долю участия каждой зоны в общем запасе элемента в продукте, что дает основание для механического удаления части продукта, накапливающей избыточное количество элемента.

Необходимо отметить широкое варьирование содержания цинка и меди в овощной продукции одного и того же населенного пункта. В каждом районе был рассчитан суточный рацион на одного среднестатистического человека в килограммах и в килокалориях по каждому продукту и по сбалансированности продуктов растительного и животного происхождения.

На основании суточного рациона, результатов о содержании элементов в основных пищевых продуктах (по литературным данным [14; 19–21]) и собственным исследованиям были произведены расчеты суточного потребления жителями химических элементов (меди, цинка, никеля, хрома) в каждом районе. В основном жители сельских населенных пунктов потребляют продукты питания, выращенные на приусадебных участках либо на территории района проживания.

Оценка структуры питания (потребления отдельных пищевых продуктов) показала преобладание в рационе сельских жителей Алтайского края хлеба и хлебобулочных изделий, картофеля, яиц и низкое потребление овощей, мяса, рыбы, молока, фруктов, чем рекомендуется Институтом питания РАМН (1999) [22].

Нормой потребления энергии для условного взрослого человека, по данным И.М. Скурихина, М.Н. Волгарева, является 2775 ккал [21]. По рассчитанным данным энергетическая ценность суточного рациона составила в Славгородском районе 2602,9 ккал; Третьяковском – 2396,8; Советском – 2355,2; Угловском – 2506,4; Рубцовском – 2112,0 ккал, что значительно ниже рекомендуемого уровня. В Смоленском и Краснощевском районах отмечены высококалорийные рационы питания, соответственно 3349,4 и 3466,4 ккал, за счет потребления хлеба и хлебобулочных изделий, картофеля, мяса, молока выше рекомендуемого и овощей в пределах рекомендуемой нормы.

Суточный рацион оценивался в целом по району у групп здоровых лиц и населения с проявлением различных заболеваний. Установлено различие в рационах у здоровых жителей и лиц с различными заболеваниями. В большинстве районов суточное потребление продуктов питания у лиц с различными заболеваниями выше как по количеству, так и по калорийности по сравнению со здоровым населением.

Большую часть рациона питания сельских жителей обследованных районов составляют продукты растительного происхождения, что согласуется с литературными данными [19]. Наблюдается различие в сезонном рационе питания. В зимнем рационе преобладают мучные изделия, мясо, сало, супы, домашние заготовки, в летнем – свежие овощи, ягоды.

В ряде районов Алтайского края содержание меди в рационах находится ниже нормы, при рекомендуемом поступлении – 2–5 мг в сутки, в Советском районе жители потребляют 1,532 мг, в Третьяковском – 1,553, в Курьинском – 1,875.

Установлено, что при рекомендуемой норме потребления хрома 0,02–0,5 мг в сутки, в Смоленском районе здоровое население потребляет 0,669 мг, население с заболеваниями – 1,154 мг, что в 2,3 раза выше верхней границы рекомендуемого значения.

На протяжении ряда лет в Алтайском крае в структуре заболеваемости по всем возрастным группам первое место занимают болезни органов дыхания (24%), второе место – болезни системы кровообращения (15,8%), третье место – болезни органов пищеварения (9,3%). Болезни

мочеполовой системы и костно-мышечной системы составляют соответственно, 8 и 7,9% [23].

На основании статистических данных по заболеваемости населения Алтайского края за пять лет (1998–2002 гг.), предоставленных Алтайским краевым информационно-аналитическим центром при Комитете здравоохранения выделены средние показатели по каждому виду болезни в конкретном районе. Была проведена попытка выявления влияния конкретных химических элементов на проявление наиболее распространенных заболеваний сельских жителей Алтайского края с помощью корреляционного анализа.

Содержание меди и цинка в рационах питания положительно коррелирует со всеми основными заболеваниями, причем корреляционная зависимость отражает сильную связь ($r > 0,7$) содержания Cu, Zn, Ni в рационах питания с болезнями системы кровообращения. Средние коэффициенты корреляции имеют место для меди при болезнях органов дыхания, костно-мышечной системы, для цинка – болезни органов

дыхания, никеля – врожденные аномалии. Между содержанием хрома в рационах питания и наиболее распространенными в Алтайском крае заболеваниями корреляционная связь слабая или близка к нулю.

Лечение болезней, связанных с дисбалансом микроэлементов, обычными фармакотерапевтическими средствами неэффективно, лишь коррекция рационов, направленная на сбалансирование элементного состава, может оказывать положительный эффект [2].

Оценка содержания химических элементов в почвах и овощах по природно-почвенным зонам Алтайского края и оценка их поступления в организм человека, должна являться предварительным этапом при разработке мероприятий, регулирующих поступление отдельных химических элементов в продукцию растениеводства, снижающих эффект токсичного накопления ряда металлов в продуктах, а также при разработке рекомендаций соответствующих рационов питания для снижения рисков специфических заболеваний человека.

Литература

1. Рейли К. Металлические загрязнения пищевых продуктов / Пер. с англ. М., 1985.
2. Ягодин Б.А. Тяжелые металлы и здоровье человека // Химия в сельском хозяйстве. 1995. №4.
3. Микроэлементозы человека: этиология, классификация, органопатология / А.П. Авцын, А.А. Жаворонков, М.А. Риш, Л.С. Строчкова; АМН СССР. М., 1991.
4. Краткая медицинская энциклопедия / Под ред. А.Н. Шабанова. М., 1974. Т. 3.
5. Беспямятнов Г.П., Кротов Ю.А. Предельно допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде: Справочник Л., 1985.
6. Аристархов А.Н. Оптимизация питания растений и применения удобрений в агроэкосистемах / Под ред. В.Г. Минеева. М., 2000.
7. Безуглова О.С., Орлов Д.С. Биогеохимия. Ростов-на-Дону, 2000.
8. Нормативные данные по предельно допустимым уровням загрязнения вредными веществами объектов окружающей среды: Справочный материал. СПб., 1993.
9. Микроэлементы в питании человека. Женева, 1975. №532.
10. Альберт А. Избирательная токсичность. Физико-химические основы терапии: Пер. с англ.; В 2-х т. М., 1989. Т. 2.
11. Состояние окружающей природной среды в Алтайском крае в 1996 году: Доклад Гос. комитета по охране окружающей среды Алтайского края / Под ред. О.П. Дорощенко, Ю.И. Винокурова. Барнаул, 1997.
12. Дмитриенко Т., Блохин Р. Рывок вперед или назад // Свободный курс. 2004. 19 февр.
13. Ковда В.А. Биогеохимия почвенного покрова. – М., 1985.
14. Бурлакова Л.М., Антонова О.И., Деев Н.Г., Морковкин Г.Г. и др. Экотоксиканты в системе «почвы–растения–животные» (на примере отдельных зон Алтайского края): Монография. Барнаул, 2001.
15. Медико-экологический атлас Алтайского края: научно-методические основы разработки и составления / И.А. Хлебович, Ю.И. Винокуров, И.Н. Ротанова, В.С. Ревякин. Новосибирск, 2000.
16. Алексеев Ю.В. Тяжелые металлы в почвах и растениях. Л., 1987.
17. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва–растение. Новосибирск, 1991.
18. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. Изд. 2-е, перераб. и доп. М., 1992.
19. Коломийцева М.Г., Габович Р.Д. Микроэлементы в медицине. М., 1970.
20. Габович Р.Д., Припутина Л.С. Гигиенические основы охраны продуктов питания от вредных химических веществ. Киев, 1987.
21. Химический состав пищевых продуктов. Кн. 1: Справочные таблицы содержания основных пищевых веществ и энергетической ценности пищевых продуктов / Под ред. И.М. Скурихина, М.Н. Волгарева. М., 1987.
22. Поздняковский В.М. Гигиенические основы питания, безопасность и экспертиза продовольственных товаров: Учебник. Новосибирск, 1999.
23. Материалы к Государственному докладу о состоянии окружающей природной среды Алтайского края в 2000 году / Под общ. ред. Я.Н. Ишутина, В.Н. Горбачева. Барнаул, 2001.