

УДК 582.998.2(470.56)

DOI: 10.33284/2658-3135-102-4-69

**Особенности элементного состава тысячелистника обыкновенного
в условиях техногенного загрязнения**

О.Н. Немерешина¹, Н.Ф. Гусев², В.В. Трубников³

¹*Оренбургский государственный медицинский университет (г. Оренбург)*

²*Оренбургский государственный аграрный университет (г. Оренбург)*

³*Филиал Российского государственного университета нефти и газа (национальный исследовательский университет) им. И.М. Губкина (г. Оренбург)*

Аннотация: Тяжёлые металлы являются одними из важнейших техногенных загрязнителей в силу выраженной способности к кумуляции в поверхностном плодородном слое почвы и миграции в пищевых цепях. В статье приведены результаты определения элементного состава лекарственного растительного сырья (трава) тысячелистника обыкновенного (*Achillea millefolium* L.), произрастающего в условиях различной техногенной нагрузки. Образцы растений тысячелистника были собраны в условиях техногенного влияния Оренбургского газоперерабатывающего завода на территории санитарно-защитной зоны и различных производственных объектов предприятия. Контрольной зоной на территории Оренбургского района Оренбургской области были выбраны окрестности сёл Каменнозёрное и Нежинка. Методом атомной абсорбционной спектрометрии в растительном сырье было определено содержание Mn, Zn, Fe, Cu, Ba, Sr, Pb, Zr, Ni, Cr, V, Co, Ag, Mo. Установлено, что уровень содержания исследуемых тяжёлых металлов в сырье тысячелистника обыкновенного, произрастающего в зоне действия атмосферных выбросов Оренбургского газоперерабатывающего завода, значительно превышает контрольные показатели. Накопление тяжёлых металлов в тканях может послужить фактором, провоцирующим окислительный стресс растений, привести к снижению продуктивности видов, вызвать индукцию синтеза звеньев компонентов систем антиоксидантной защиты.

Ключевые слова: лекарственные растения, кормовые растения, тысячелистник обыкновенный, *Achillea millefolium* L., тяжёлые металлы, экология растений, загрязнение среды, Оренбургская область.

UDC 582.998.2(470.56)

Peculiarities of elemental composition of milfoil under conditions of technogenic pollution

Olga N Nemereshina¹, Nikolay F Gusev², Victor V Trubnikov³

¹*Orenburg State Medical University (Orenburg, Russia)*

²*Orenburg State Agrarian University (Orenburg, Russia)*

³*Branch of the Russian State University of Oil and Gas (National Research Institute) named after IM Gubkina in Orenburg (Orenburg, Russia)*

Summary. Heavy metals are one of the most important technogenic pollutants due to the pronounced ability to cumulate in the surface fertile soil layer and to migrate in food chains.

The article presents the results of determining the elemental composition of medicinal plant materials (grass) of milfoil (*Achillea millefolium* L.), which grows under various technogenic loads. Milfoil plant samples were collected under the technogenic influence of Orenburg Gas Processing Plant in the territory of sanitary protection zone and various production facilities of the enterprise. The control zone on the territory of the Orenburg district of Orenburg region selected the surroundings of the villages of Kamennozerno and Nezhinka. The content of Mn, Zn, Fe, Cu, Ba, Sr, Pb, Zr, Ni, Cr, V, Co, Ag, Mo was determined by atomic absorption spectrometry in plant raw materials. It was found that the level of content of the studied heavy metals in raw milfoil growing in the zone of atmospheric emissions of Orenburg

gas processing plant significantly exceeds the control indicators. The accumulation of heavy metals in tissues can serve as a factor provoking oxidative stress of plants, lead to a decrease in the productivity of species, and induce the synthesis of components of antioxidant defense systems.

Key words: medicinal plants, feed plant, *Achillea millefolium* L., heavy metals, plant ecology, environmental pollution, Orenburg region.

Введение.

Одним из популярных лекарственных и кормовых растений является тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium* L.), обильно произрастающий на остепнённых лугах, лесных полянах и склонах в Оренбургской области. Настой тысячелистника считается эффективным при нарушении пищеварения у животных, в первую очередь при алиментарных гастроэнтеритах. Тысячелистник в небольших дозах часто добавляют в рационы сельскохозяйственных животных и птиц. Трава растения содержит горечи, оказывающие секретолитическое и антигельминтное действие. Основу горечей тысячелистника составляет комплекс сексвитерпеновых лактонов, а также алкалоиды: ахиллеин, бетоницин и стахидрин. Небольшие дозы тысячелистника повышают аппетит (Корж Л., 2018). В составе сухого корма доля тысячелистника редко превышает 1 %, что полностью исключает проявление токсического эффекта, но придаёт сену приятный аромат, в результате чего оно охотно поедается скотом. Также настои растения с древнейших времён используются в народной медицине и ветеринарии в качестве мощного кровоостанавливающего, противоожогового, противоязвенного, общеукрепляющего, молокогонного и сердечного средства (Гусев Н.Ф. и др., 2007; Корж Л., 2018).

Важным фактором, определяющим качество лекарственного растительного сырья и кормов сельскохозяйственных животных, является уровень содержания тяжёлых металлов. Способность растений регулировать поступление микроэлементов из окружающей среды обусловлена как биохимической ролью элементов, так и токсическим действием их повышенных концентраций. Изучение элементного состава растений и почв представляет интерес в плане изучения миграции и распределения элементов в биосфере. Определение уровня содержания микро- и макроэлементов в растениях необходимо для оценки степени эколого-медицинской безопасности растительного сырья, заготавливаемого для различных нужд, а также при проведении фиторемедиации техногенно загрязнённых тяжёлыми металлами почв (Алексеев Ю.В., 1987; Gratao PL et al., 2019).

Воздействие выбросов промышленных предприятий на биохимический состав растений является одним из самых мощных факторов, влияющих на их жизнеспособность. Изменение геохимических параметров среды на техногенно загрязнённых территориях способно вызывать у растений устойчивые нарушения динамики аккумуляции многих жизненно важных для растений химических элементов (P, Ca, K, Mg, N, S) и селективное накопление поливалентных металлов (Ильин В.Б. и Сысо А.И., 2001; Григорьева А.А. и Миронова Г.Е., 2018).

Цель исследования.

Сравнительный анализ элементного состава лекарственного растительного сырья (ЛРС) тысячелистника обыкновенного, заготовленного на территории, подверженной воздействию промышленных выбросов Оренбургского газоперерабатывающего предприятия (ОГПЗ), и в экологически чистой зоне.

Материалы и методы исследования.

Объект исследования. Тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium* L.).

Характеристика территории и природно-климатические условия. Образцы сырья были собраны в типичных местообитаниях вида – на суходольных лугах (окрестности сёл Каменнозёрное и Нежинка Оренбургского района) и на территории санитарно-защитной зоны ОГПЗ (полигон предприятия и район жилпосёлка Холодные Ключи на границе ССЗ), на территории работы установок первой очереди ОГПЗ и на территории автохозяйства предприятия.

Оренбургский газоперерабатывающий завод (ОГПЗ) расположен в типичной степи, охватывающей юго-восточную часть общего Сырта. Прилегающие к заводу территории представляют дерново-злаковые степи, где в фитоценозах наряду с ксерофитами встречаются растения, обладающие признака-

ми мезоморфности. Климат на исследуемой территории, как и во всей Оренбургской области, резко континентальный с жарким летом и холодной зимой. Характерной чертой климата Оренбуржья является его засушливость, чему способствуют повышенная инсоляция, недостаток влажности и тёплые ветры, поступающие из районов Казахстана и Средней Азии. На исследуемой территории, как и в большинстве районов области, часто отмечаются ветры западного направления.

Оренбургский ГПЗ относится к предприятиям 1-й категории опасности. Завод представляет три самостоятельных предприятия, именуемые как первая, вторая и третья очереди.

Завод предназначен для переработки природного газа и жидких углеводородов, получения сжиженного газа и конденсата газовой серы и меркаптанов (одорант). В составе атмосферных выбросов ОГПЗ содержатся: сероводород, диоксид серы, нитрозные газы, оксид углерода, углеводороды метанового ряда, пыль цеолитовая, пыль металлическая, пыль серная, сажа, бенз(а)пирен, меркаптаны, метанол, угольная зола, пыль катализатора (оксид алюминия), марганец и его соединения, фтористый водород, ванадия пятиокись, соединения свинца, меди и некоторые другие примеси (рис. 1).

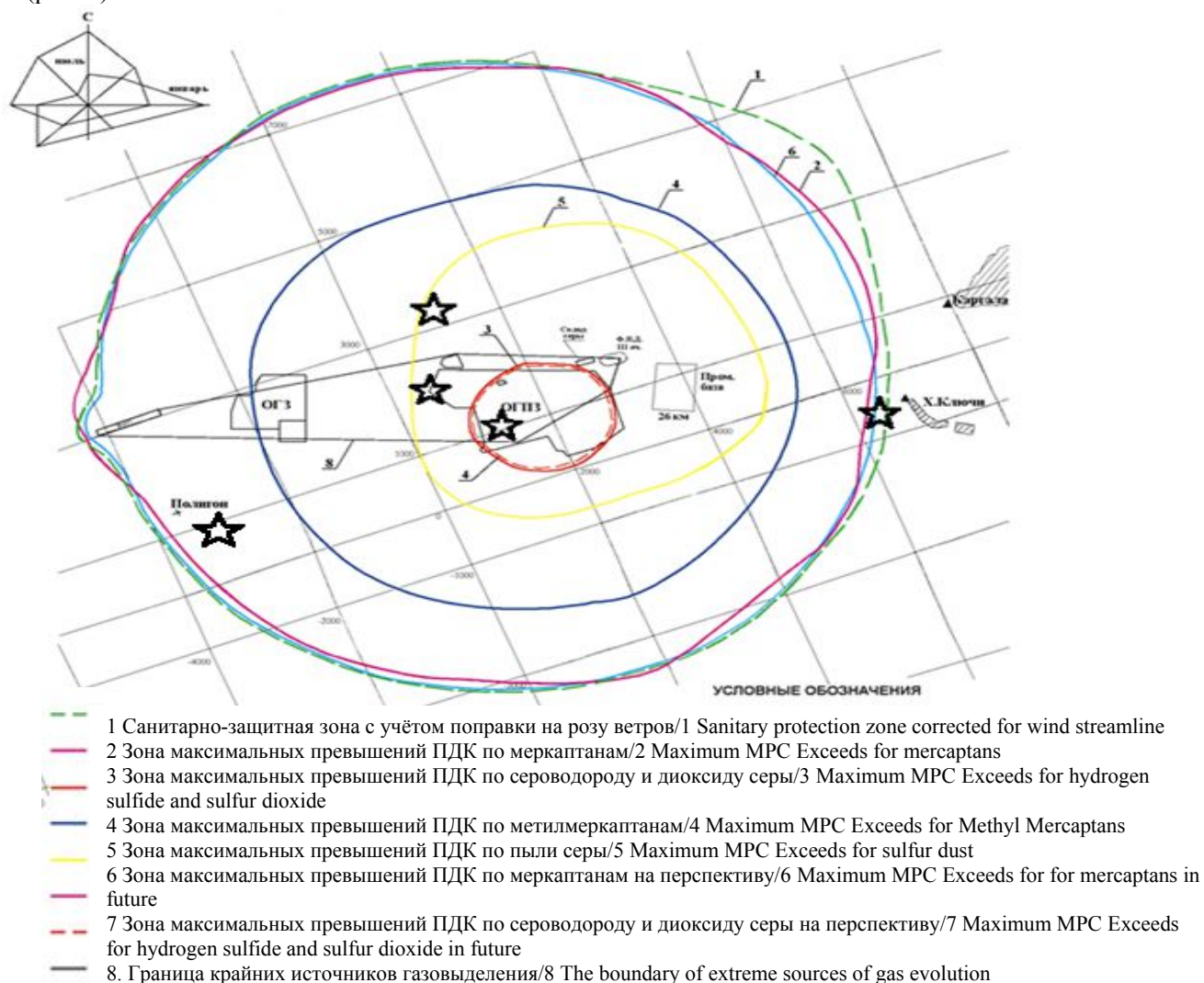


Рис. 1 – Карта-схема санитарно-защитной зоны ОГПЗ с указанием точек сбора растений ☆
 Figure 1 – Map of the sanitary protection zone of Orenburg Gas Plant indicating the points of collection of plants ☆

Размер санитарно-защитной зоны (СЗЗ) предприятия определён на расстоянии 5 км от крайних источников выбросов. Всего под объекты завода используется 633 га земель. Под основные объекты (территория установок 1-й, 2-й, 3-й и 4-й очередей) задействовано около 240 га. Оставшиеся земли используются под вспомогательные производственные объекты: складские помещения, сооружения административно-бытового назначения, дороги, шламонакопитель, и др. Кроме того, предприятием проводится рекультивация земель и сдача их во временное пользование.

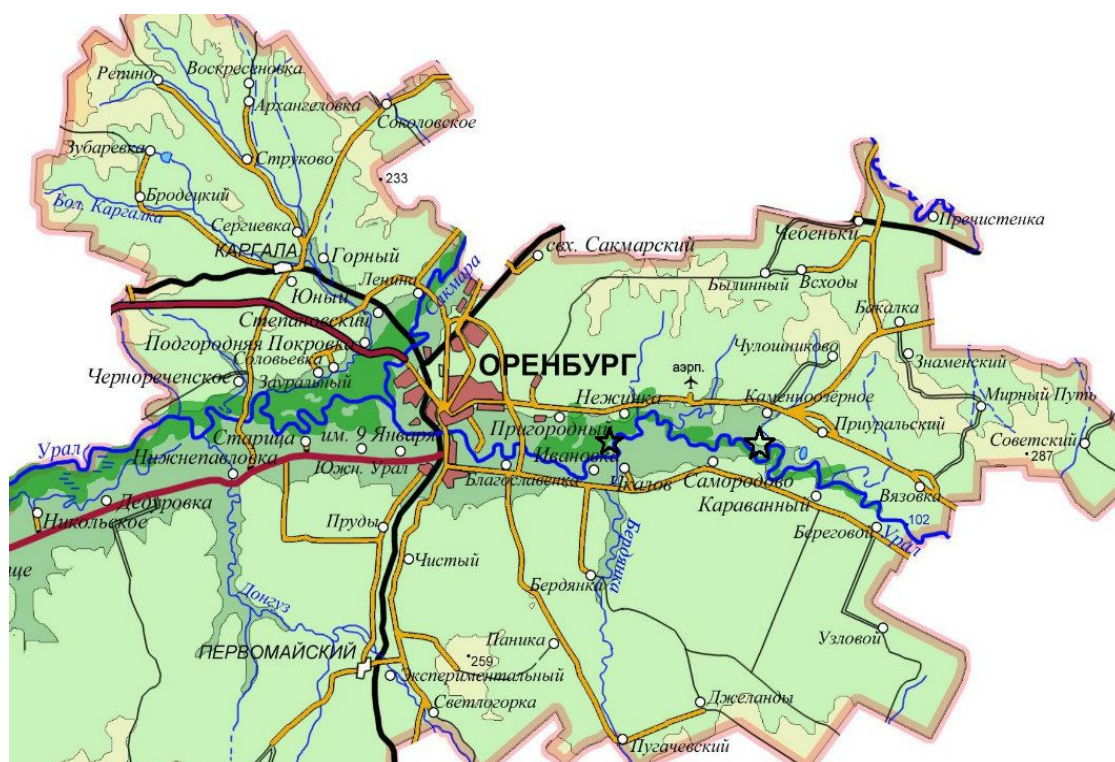


Рис. 2 – Карта-схема Оренбургского района с указанием точек сбора растений ☆
 Figure 2 – Map of Orenburg region indicating the points of collection of plants ☆

Схема эксперимента. Тысячелистник обыкновенный *Achillea millefolium* L. (сем. Asteraceae Dumort.) – евроазиатский вид, ксеромезофит травянистый, многолетник 5-120 см высотой, распространённый повсеместно в европейской части России, на Кавказе, а также в Западной и Восточной Сибири. В Оренбургской области часто произрастает по сухим лугам, полям, межам, среди кустарников, вдоль опушек и дорог.

ЛРС тысячелистника обыкновенного было собрано в период цветения (конец июня-начало июля 2017-2018 гг.) на территории санитарно-защитной зоны ОГПЗ (полигон предприятия и район жилпосёлка Холодные Ключи на границе ССЗ), на территории работы установок первой очереди ОГПЗ и на территории автохозяйства предприятия, в количестве не менее 20 экземпляров с шести учётных площадок (рис. 1).

Контрольные образцы сырья были собраны в типичных местообитаниях вида – на суходольных лугах (окрестности сёл Каменнозёрное и Нежинка Оренбургского района) (рис. 2).

Собранное в указанных точках сырьё тысячелистника обыкновенного (трава) далее высушивалось воздушно-теневым способом и использовалось для проведения химического исследования. Определение элементного состава, уровня содержания тяжёлых металлов проводили методом атомной абсорбционной спектроскопии.

Оборудование и технические средства. Исследование проводилось на базе межкафедральной комплексной аналитической лаборатории Оренбургского государственного аграрного университета ме-

тодом атомной абсорбционной спектроскопии (ГОСТ 30692-2000) с использованием анализатора «Спектр-5» (Россия).

Результаты исследования.

По результатам эксперимента установлено, что тысячелистник обыкновенный, встречающийся в различных местообитаниях, аккумулирует 14 химических элементов, относимых к тяжёлым металлам (табл. 1).

Таблица 1. Содержание микроэлементов в надземной части тысячелистника обыкновенного (мг/кг)
Table 1. Content of trace elements in the aerial part of yarrow (mg/kg)

Наименование элемента/ Name	Место сбора сырья/Place of collection of raw materials					
	ОГПЗ/ Orenburg Gas Plant	контроль (окр. с. Нежинка)/ Control (Nezhinka surr.)	контроль (окр. п. Каменноезёрное)/ Control (Kamennozyornoye surr.)	автохозяйство ОГПЗ/ Car Fleet Orenburg Gas Plant	Х. Ключи/Kholodny Klyuchi	Полигон/ disposal site
Mn	0,368	0,277	0,140	0,206	0,288	0,245
Zn	22,010	6,941	10,560	13,760	14,420	8,731
Fe	35,20	10,31	10,78	13,90	10,81	31,04
Cu	5,881	4,160	4,222	4,170	4,331	8,731
Ba	0,368	0,347	0,355	0,344	0,360	0,855
Sr	0,221	0	0	0,206	0,216	0
Pb	0,361	0,278	0,218	0,355	0,294	0,344
Zr	0,221	0,139	0,106	0,206	0,356	0,213
Ni	1,470	1,390	1,412	1,380	1,441	2,182
Cr	22,10	6,51	6,10	13,81	10,80	10,40
V	0,074	0,049	0,035	0,069	0,043	0,054
Co	0,151	0,010	0,021	0,141	0,360	0,436
Ag	0,003	0,035	0,035	0,26	0,043	0,054
Mo	0,290	0,210	0,210	0,070	0,140	0,652

Наибольшее содержание химических элементов обнаружено в траве вида, произрастающего на территории завода (первая очередь), и на полигоне, находящегося в санитарно-защитной зоне предприятия.

В зоне влияния установок первой очереди отмечено накопление в ЛРС тысячелистника Mn, Zn, Fe, Sr, Pb, Zr, Cr и V. Концентрация Mn в траве тысячелистника колеблется от 0,140 мг/кг в контрольной зоне (окр. посёлка Каменноезёрное) до 0,368 мг/кг в районе установок первой очереди. Максимальное содержание Zn в ЛРС также отмечено в зоне влияния установок первой очереди ОГПЗ – 22,010 мг/кг, а в контрольной зоне данный показатель – 6,941-10,560 мг/кг. Концентрация Sr в траве тысячелистника достигает 0,221 мг/кг на территории завода (установки первой очереди ОГПЗ). В районе п. Холодные Ключи содержание Sr составило 0,216 мг/кг, а в районе автохозяйства – 0,206 мг/кг. Содержания V в исследуемых образцах достигает 0,074 мг/кг (установки первой очереди ОГПЗ), в то время как в растениях контрольной зоны данный показатель ниже – 0,035-0,049 мг/кг (табл. 1).

Растения тысячелистника, собранные в техногенной зоне, содержат до 22,10 мг/кг Cr (установки первой очереди). Содержание Cr в контрольной зоне уменьшилось и составило 6,10-6,51 мг/кг (табл. 1).

Концентрация Fe в траве растения возле установок составила 35,02 мг/кг, а на контрольных участках – 10,31-10,78 мг/кг. Содержание Pb в сырье тысячелистника, собранного на территории

установок первой очереди и заводского автохозяйства, составляет 0,361 и 0,355 мг/кг соответственно. На контрольных участках содержание Pb в исследуемом сырье составило 0,218-0,278 мг/кг (табл. 1).

Максимальное содержание Cu в ЛРС тысячелистника обыкновенного наблюдается на территории полигона ОГПЗ – 8,731 мг/кг, а в контроле накопление Cu составило 4,160-4,222 мг/кг (табл. 1).

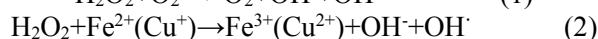
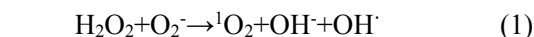
Содержание Ni в растениях под установками первой очереди – 1,47 мг/кг, на полигоне ОГПЗ – 2,189 мг/кг, а в растениях контрольной зоны 1,39-1,412 мг/кг. Количество Mo в растениях, произрастающих в районе установки первой очереди, составляет 0,290 мг/кг. Накопление Mo в растениях контрольных участков составляет 0,21 мг/кг, а в районе полигона – 0,65 мг/кг. Содержание Co в траве тысячелистника также повышено в районе полигона ОГПЗ – 0,436 мг/кг и несколько ниже в районе п. Холодные Ключи – 0,360 мг/кг. На контрольном участке содержание Co в сырье составляет 0,010-0,021 мг/кг (табл. 1).

Результаты проведенного исследования свидетельствуют о непосредственном влиянии газоперерабатывающего комплекса на элементный состав лекарственного и кормового растения в прилегающих к заводу фитоценозах (табл. 1). Несмотря на то, что предприятия по добыче и переработке газа не считаются ведущими источниками загрязнения окружающей среды тяжёлыми металлами, фиксируется некоторое их накопление в тканях растений, произрастающих в зоне воздействия атмосферных поллютантов (рис. 1).

Обсуждение полученных результатов.

Формирование химического состава растений, произрастающих в естественных условиях, происходит при одновременном воздействии большого количества факторов внешней среды, что затрудняет изучение закономерностей поглощения растениями химических элементов, но особо важную роль при изучении химической изменчивости растений играет состав почвы (Головки Т. и др., 2008; Cuypers A et al., 2009; Cobbett CS, 2000). Специфические характеристики обмена у различных видов растений обуславливают их избирательную способность к накоплению одного или нескольких элементов. Одним из мощных факторов, определяющих элементный состав растений в промышленных районах, являются выбросы предприятий (Титов А.Ф. и др., 2014; Ильин В.Б. и Сысо А.И., 2001). В целом считается, что растения более устойчивы к повышенным, чем к пониженным концентрациям тяжёлых металлов в почве (Cobbett CS, 2000). Однако повышение их концентрации до критических значений отрицательно влияет на организмы растений (Ильин В.Б. и Сысо А.И., 2001). По степени опасности исследуемые нами загрязняющие вещества условно подразделяются на три класса опасности (ГОСТ 17.4.1.02–83): 1. Высокоопасные вещества – кадмий, свинец, цинк; 2. Умеренноопасные – кобальт, медь; 3. Малоопасные – марганец (Bonfranceschi VA et al., 2009; Титов А.Ф. и др., 2014; Тарабрин В.П., 1980).

Биохимическая роль тяжёлых металлов в тканях растений обусловлена их участием в процессах катализа в качестве активаторов или компонентов активного центра ферментов. Видовые и индивидуальные особенности метаболизма растений объясняют избирательное накопление микроэлементов (Cuypers A et al., 2009). Например, лекарственные растения, продуцирующие дубильные вещества, избирательно накапливают марганец, медь и хром. Алкалоидоносные виды характеризуются повышенным содержанием марганца, кобальта и меди (Гусев Н.Ф. и др., 2007). В то же время высокие концентрации тяжёлых металлов способны связывать сульфгидрильные группы клеточных белков и провоцировать повышенное образование свободных радикалов, участвуя в реакциях Хабера-Вейса (1) и Фентона (2) (Haber F and Weiss J, 1932):



Токсические эффекты высоких концентрация тяжёлых металлов нередко приводят к явлению апоптоза и некроза в тканях растений, что особенно проявляется в степной зоне в сочетании с засухами, гипо- и гипертермией, а также повышенной инсоляцией (Павловская Н.Е. и Гринблат А.И., 2010).

В последние годы правительства разных стран уделяют много внимания обеспечению качества пищевых продуктов и кормов и снижению в них концентраций потенциально опасных элементов и соединений (de la Calle Guntiñas MB et al., 2009; Bonfranceschi BA et al., 2009; Григорьева А.А. и Миронова Г.Е., 2018). В развитых странах осуществляются многолетние масштабные программы по определению референтных интервалов (нормативов) и созданию банков биопроб и баз данных по содержанию химических элементов в биопробах, что свидетельствует об актуальности определения уровня содержания тяжёлых металлов в объектах биоты (Игнатович Л.С., 2017; Sharma I et al., 2018).

Тысячелистник обыкновенный широко используется для производства кормов в качестве биологически активной добавки, в малых дозах улучшающей пищеварение и повышающей выход конечной продукции (Sharma I et al., 2018). При производстве фитомассы следует оценивать содержание в ней тяжёлых металлов, чтобы избежать их дальнейшего накопления в пищевых цепях. Тяжёлые металлы, попадая в составе атмосферных выбросов предприятий в окружающую среду, не подвергаются физико-химической и биологической деградации, но активно кумулируют в поверхностном слое почвы и, поглощаясь корнями растений, мигрируют далее по пищевым цепям. Накопление тяжёлых металлов в животных организмах способно спровоцировать окислительный стресс, сопровождающийся метаболическими нарушениями и, как следствие, развитием целого ряда патологий (Kim HS et al., 2015; Скальный А.В., 2019).

Выводы

1. Промышленные выбросы Оренбургского газоперерабатывающего завода способствуют накоплению в популяциях тысячелистника обыкновенного повышенных концентраций химических элементов, что необходимо учитывать при планировании заготовок лекарственного растительного сырья и кормов на техногенных территориях.
2. Уровни содержания тяжёлых металлов в ЛРС тысячелистника обыкновенного, заготовленном в зоне действия атмосферных выбросов Оренбургского газоперерабатывающего завода, значительно превышают контрольные показатели.
3. Максимальные концентрации тяжёлых металлов обнаружены в сырье растений, собранном на территории завода – в районе установок первой очереди.
4. На территории санитарно-защитной зоны, в частности на полигоне, используемом для захоронения токсических отходов ОГПЗ, в траве тысячелистника выявлено максимальное содержание Cu, Co, Ni, Mo и Ba.
5. Повышение содержания тяжёлых металлов в растениях, произрастающих на техногенных территориях, позволяет прогнозировать усиление окислительных процессов в тканях растений. При этом следует принять во внимание, что климат Оренбургской области характеризуется резкими колебаниями суточных и сезонных температур, высоким уровнем инсоляции, летними засухами и суховеями, а также поздними весенними заморозками. Все перечисленные факторы способны провоцировать повышенную скорость образования свободных радикалов в клетках, что может привести к метаболическим нарушениям, а в критических случаях – к апоптозу клеток и некрозу тканей растений.

Литература

1. Алексеев Ю.В. Тяжёлые металлы в почвах и растениях. Л.: Агропромиздат, 1987. 142 с. [Alekseev YuV. Tyazhelye metally v pochvakh i rasteniyakh. L.: Agropromizdat; 1987: 142 p. (*In Russ*)].
2. Головки Т., Гармаш Е., Скугорева С. Тяжёлые металлы в окружающей среде и растительных организмах // Вестник Института биологии Коми НЦ УрО РАН. 2008. № 7(129). С. 2-7. [Golovko T, Garmash E, Skugoreva S. Tyazhelye metally v okruzhayushchei srede i rastitel'nykh organizmakh. Vestnik Instituta biologii Komi NTs UrO RAN. 2008;7(129):2-7. (*In Russ*)].
3. Григорьева А.А., Миронова Г.Е. Аккумуляция тяжёлых металлов в почве и в кормовых травах Центральной Якутии // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. 2018. № 1(63). С. 5-12. [Grigoryeva AA, Mironova GE. Accumulation of heavy metals in soil and in forage grasses of Central Yakutia. Vestnik of North-Eastern Federal University. 2018;1(63):5-12. (*In Russ*)].

4. Гусев Н.Ф., Петрова Г.В., Немерешина О.Н. Лекарственные растения Оренбуржья. Оренбург: Изд-во ОГАУ, 2007. 331 с. [Gusev NF, Petrova GV, Nemereshina ON. *Lekarstvennyye rasteniya Orenburzh'ya*. Orenburg: Izd-vo OGAU; 2007: 331 p. (*In Russ*)].

5. Игнатович Л.С. Влияние применения компонентных кормовых добавок, изготовленных с применением травяной муки из тысячелистника обыкновенного, на продуктивность кур-несушек, качество производимой продукции (яиц) и конверсию корма // Дальневосточный аграрный вестник. 2017. № 2(42). С. 75-81. [Ignatovich LS. Influence of use of component feed additives, manufactured with the use of grass meal of yarrow, on laying hens productivity, quality of the products (eggs) and feed conversion. *Far Eastern Agrarian Herald*. 2017;2(42):75-81. (*In Russ*)].

6. Ильин В.Б., Сысо А.И. Микроэлементы и тяжёлые металлы в почвах и растениях Новосибирской области: монография. Новосибирск: Изд-во Сиб. отд. РАН, 2001. 229 с. [Il'in VB, Syso AI. *Mikroelementy i tyazhelye metally v pochvakh i rasteniyakh Novosibirskoi oblasti: monografiya*. Novosibirsk: Izd-vo Sib. отд. RAN; 2001: 229 p. (*In Russ*)].

7. Корж Л. Обогащаем рационы кур-несушек // Животноводство России. 2018. № S3. С. 22. [Korzh L. Enriching diets of layers. *Zhivotnovodstvo Rossii*. 2018;S3:22. (*In Russ*)].

8. Павловская Н.Е., Гринблат А.И. Активные формы кислорода и апоптоз у пшеницы и гороха // Сельскохозяйственная биология. 2010. Т. 1. С. 51-55. [Pavlovskaya NE, Grinblat AI. Active forms of oxygen and apoptosis in wheat and pea. *Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya [Agricultural Biology]*. 2010;1:51-55. (*In Russ*)].

9. Скальный А.В. Микроэлементы: бодрость, здоровье, долголетие. М.: Изд-во «Перо», 2019. 295 с. [Skal'nyi AV. *Mikroelementy: bodrost', zdorov'e, dolgoletie*. Moscow: Izd-vo «Pero»; 2019. 295 p. (*In Russ*)].

10. Тарабрин В.П. Физиология устойчивости древесных растений в условиях загрязнения окружающей среды тяжёлыми металлами // Микроэлементы в окружающей среде. Киев: Наукова думка, 1980. С. 17-19. [Tarabrin VP. *Fiziologiya ustoichivosti drevesnykh rastenii v usloviyakh zagryazneniya okruzhayushchei sredy tyazhelymi metallami*. Mikroelementy v okruzhayushchei srede. Kiev: Naukova dumka; 1980:17-19. (*In Russ*)].

11. Титов А.Ф., Казнина Н.М., Таланова В.В. Тяжёлые металлы и растения. Петрозаводск: Ин-т биологии Карел. науч. центра, 2014. 194 с. [Titov AF, Kaznina NM, Talanova VV. *Tyazhelye metally i rasteniya*. Petrozavodsk: In-t biologii Karel. nauch. tsentra; 2014: 194 p. (*In Russ*)].

12. Bonfranceschi BA, Flocco CG, Donati E.R. Study of the heavy metal phytoextraction capacity of two forage species growing in an hydroponic environment. *Journal of Hazardous Materials*. 2009;165(1-3):366-371. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.10.024>

13. Cobbett CS. Phytochelatins and their roles in heavy metal detoxification. *Plant Physiology*. 2000;123:825-832. doi: <https://doi.org/10.1104/pp.123.3.825>

14. Cuypers A, Smeets K, Vangronsveld J. Heavy metal stress in plants. *Plant stress biology: From genomics to systems biology*. Hirt H, editor. Weinheim: Wiley-VCH Verlag; 2009: 161-178.

15. de la Calle Guntiñas MB, Wysocka I, Quérel C, et al. Proficiency test for heavy metals in feed and food in Europe. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. 2009;28(4):454-465. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trac.2009.02.005>

16. Gratão PL, Alves LR, Lima LW. Heavy Metal Toxicity and Plant Productivity: Role of Metal Scavengers. *Plant-Metal Interactions*. Srivastava S, Srivastava A, Suprasanna P, editors. Springer: Cham; 2019:49-60. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-20732-8_3

17. Haber F, Weiss J. On the catalysis of hydroperoxide. *Naturwissenschaften*. 1932;20:948-950. doi: [10.1007/BF01504715](https://doi.org/10.1007/BF01504715)

18. Kim HS, Kim YJ, Seo YR. An overview of carcinogenic heavy metal: molecular toxicity mechanism and prevention. *Journal of Cancer Prevention*. 2015;20(4):232-240.

19. Sharma I, Sharma A, Pati P, Bhardwaj R. Brassinosteroids reciprocates heavy metals induced oxidative stress in radish by regulating the expression of key antioxidant enzyme genes. *Brazilian Archives of Biology and Technology*. 2018;61:e18160679. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4324-2018160679>

References

1. Alekseev YuV. Heavy metals in soils and plants. L.: Agropromizdat, 1987; 142 p.
2. Golovko T, Garmash E, Skugoreva S. Heavy metals in the environment and plant organisms. Bulletin of Institute of Biology of Komi Scientific Center, Ural Branch of RAS. 2008;7(129):2-7.
3. Grigoryeva AA, Mironova GE. Accumulation of heavy metals in soil and in forage grasses of Central Yakutia. Vestnik Of North-Eastern Federal University. 2018;1(63):5-12.
4. Gusev NF, Petrova GV, Nemereshina ON. Medicinal plants of Orenburg region. Orenburg: Publishing House of the OGAU; 2007: 331 p.
5. Ignatovich LS. Influence of use of component feed additives, manufactured with the use of grass meal of yarrow, on laying hens productivity, quality of the products (eggs) and feed conversion. Far Eastern Agrarian Herald. 2017;2(42):75-81.
6. Ilyin VB, Syso AI. Trace elements and heavy metals in soils and plants of Novosibirsk region: monograph. Novosibirsk: Publishing House Sib. Dep. RAS; 2001: 229 p.
7. Korzh L. Enriching diets of layers. Livestock of Russian. 2018;S3:22.
8. Pavlovskaya NE, Grinblat AI. Active forms of oxygen and apoptosis in wheat and pea. Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya [Agricultural Biology]. 2010;1:51-55.
9. Skalny AV. Trace elements: vitality, health, longevity. Moscow: Publishing House "Pero"; 2019: 295 p.
10. Tarabrin VP. The physiology of sustainability of woody plants under environmental pollution by heavy metals. Trace elements in the environment. Kiev: Naukova Dumka; 1980:17-19.
11. Titov AF, Kaznina NM, Talanova VV. Heavy metals and plants. Petrozavodsk: Institute of Biology Karel. scientific Center, 2014. 194 p.
12. Bonfranceschi BA, Flocco CG, Donati ER. Study of the heavy metal phytoextraction capacity of two forage species growing in an hydroponic environment. Journal of Hazardous Materials. 2009;165(1-3):366-371. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.10.024>
13. Cobbett CS. Phytochelatins and their roles in heavy metal detoxification. Plant Physiology. 2000;123:825-832. doi: <https://doi.org/10.1104/pp.123.3.825>
14. Cuypers A, Smeets K, Vangronsveld J. Heavy metal stress in plants. Plant stress biology: From genomics to systems biology. Hirt H, editor. Weinheim: Wiley-VCH Verlag; 2009: 161-178.
15. de la Calle Guntiñas MB, Wysocka I, Quérel C, et al. Proficiency test for heavy metals in feed and food in Europe. TrAC Trends in Analytical Chemistry. 2009;28(4):454-465. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trac.2009.02.005>
16. Gratão PL, Alves LR, Lima LW. Heavy metal toxicity and plant productivity: role of metal scavengers. Plant-metal interactions. Srivastava S, Srivastava A, Suprasanna P, editors. Springer: Cham; 2019:49-60. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-20732-8_3
17. Haber F, Weiss J. On the catalysis of hydroperoxide. Naturwissenschaften. 1932;20:948-950. doi: 10.1007/BF01504715
18. Kim HS, Kim YJ, Seo YR. An overview of carcinogenic heavy metal: molecular toxicity mechanism and prevention. Journal of Cancer Prevention. 2015;20(4):232-240.
19. Sharma I, Sharma A, Pati P, Bhardwaj R. Brassinosteroids reciprocates heavy metals induced oxidative stress in radish by regulating the expression of key antioxidant enzyme genes. Brazilian Archives of Biology and Technology. 2018;61:e18160679. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4324-2018160679>

Немерешина Ольга Николаевна, кандидат биологических наук, доцент кафедры биохимии, Оренбургский государственный медицинский университет, 460000, г. Оренбург, ул. Советская, д. 6. тел.: (3532)77-61-03, 77-94-08, 8(905)8901330, e-mail: olga.nemerech@rambler.ru

Гусев Николай Фёдорович, доктор биологических наук, профессор кафедры биоэкологии, Оренбургский государственный аграрный университет, 460014, г. Оренбург, ул. Челюскинцев, д. 18, телефон: (3532)77-52-30; факс: (3532)77-52-30, 72-57-06, 8(912)3523669, e-mail: nikolajj-gusev19@rambler.ru

Трубников Виктор Владимирович, кандидат технических наук, доцент, филиал Российского государственного университета нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина в г. Оренбурге, 460047, г. Оренбург, ул. Юных ленинцев, д. 20

Поступила в редакцию 21 ноября 2019 г.; принята после решения редколлегии 16 декабря 2019 г.; опубликована 31 декабря 2019 г. / Received: 21 November 2019; Accepted: 16 December 2019; Published: 31 December 2019