

Особенности элементного состава сырья *Linaria vulgaris* (льнянка обыкновенная) в зоне влияния газоперерабатывающего производства

О.Н. Немерешина, к.б.н., ФГБОУ ВО Оренбургский ГМУ;
Н.Ф. Гусев, д.б.н., профессор, ФГБОУ ВО Оренбургский ГАУ

Одной из проблем современной экологической и биологической науки является изучение влияния отходов химических производств на природные и созданные человеком экосистемы [1]. Микроэлементы – Zn, Cu, Mn, Fe, Pb, Co, V, Ni, Sn, As, Cd и многие другие. Большинство указанных элементов обладают биогенностью и принимают непосредственное участие в нормальном метаболизме растительных организмов, выступая в роли кофакторов и активаторов ферментов, выполняя осмотическую функцию, участвуя работе мессенджерных систем [2, 3].

Элементный состав тканей и органов растений является лабильной величиной, которая формируется в результате влияния большого количества одновременно действующих факторов [4]. Принято считать, что основными факторами, определяющими содержание элементов в сырье растений, являются: 1) уровни содержания элемента в почве и воде; 2) количество биодоступной формы элемента в почве; 3) видовые особенности растения, его фаза развития и характер распределения элемента по тканям и органам; 4) характер адаптации растений к конкретным геохимическим условиям [4]. Как известно, терапевтическое действие лекарственных растений определяется содержанием не только биологически активных веществ, но и микроэлементов. Поэтому для разработки теоретических основ управления качеством окружающей среды, оптимизации экологического нормирования и оценки свойств лекарственного растительного сырья необходимо проведение системных исследова-

ний содержания элементов в тканях растений. **Целью нашей работы** являлось изучение уровня содержания элементов в лекарственном растительном сырье, собранном в зонах с различной экологической нагрузкой.

Материал и методы исследования. В качестве объекта исследования нами выбрана льнянка обыкновенная – *Linaria vulgaris* Mill. Льнянка обыкновенная относится к группе мезофитов и произрастает почти по всей евроазиатской части РФ. Вид встречается на лугах, залежах, на пустырях, полянах.

Препараты травы *L. vulgaris* используют при лечении заболеваний ЖКТ и сердечно-сосудистой системы в народной медицине разных стран. Они применяются в качестве мочегонного, желчного, слабительного и обезболивающего лекарственных средств. Наружно льнянку употребляют в виде мазей для лечения геморроя, экземы и лишая. В ветеринарии настой травы льнянки применяется при сердечной недостаточности и в качестве мочегонного средства [5].

Сырьё растения (трава) было собрано нами на экологически чистой территории и в зоне влияния Оренбургского газоперерабатывающего завода. Содержание элементов в траве льнянки обыкновенной определяли в комплексной межкафедральной лаборатории Оренбургского государственного университета по стандартам – ГОСТу 30692-2000 для тяжёлых металлов методом атомной абсорбционной спектроскопии с использованием спектрометра марки «Спектр-5» [6].

Результаты исследования. Выявление физиологической роли микроэлементов и способности их к накоплению в тканях имеет важное практическое

значение для изучения процессов круговорота веществ и определения последствий гипо- и гипермикроэлементозов. Определение уровня содержания микро- и макроэлементов в растительном сырье также необходимо для оценки степени эколого-медицинской безопасности заготавливаемой для различных нужд фитомассы и при планировании фиторемедиации техногенно загрязнённых тяжёлыми металлами почв [4].

Воздействие выбросов промышленных предприятий на биохимический состав растений является одним из факторов, влияющих на их жизнеспособность и в некоторых случаях способно вызывать у растений устойчивые нарушения обмена и динамики накопления ряда химических элементов [7]. Поэтому нами был проведён сравнительный анализ содержания химических элементов в растительном сырье льнянки обыкновенной, произрастающей на территории, подверженной воздействию выбросов Оренбургского газоперерабатывающего предприятия (рис.).

Сбор лекарственного растительного сырья (ЛРС) льнянки был проведен в июле 2018 г. на участках вблизи установок первой очереди Оренбургского газоперерабатывающего завода (ОГПЗ) и в санитарно-защитной зоне предприятия (в окрестностях пос. Холодные Ключи). Контрольные образцы собирали в окрестностях с. Каменнозерное Оренбургской области.

Известно, что 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. Тем не менее ведущую роль при изучении химической изменчивости растений играет состав почвы в месте произрастания [4, 7, 8]. Специфические характеристики обмена у различных видов растений обуславливают их избирательную способность к накоплению одного или нескольких элементов [3, 5]. Относительное содержание микроэлементов в растениях, произрастающих в сопоставимых условиях, до некоторой степени может рассматриваться как их видовой (родовой) признак [7]. Помимо этого в отдельных зонах Земли содержание химических элементов в биосфере изменяется в определённых пределах, что влияет на процессы обмена растений. Воздействие выбросов крупных промышленных предприятий также является одним из факторов, изменяющим геохимические параметры среды и элементный обмен в растительных организмах [3, 9].

Величины нормальных и критических концентраций элементов в тканях растений, приводимые различными авторами, часто не совпадают. Установлено, что уровень содержания тяжёлых металлов в растениях зависит от кларка тяжёлых металлов в почвах [10]. Ионы тяжёлых металлов сравнительно легко проникают в корень из почвы, и при этом растения более устойчивы к повышенным, чем к

пониженным концентрациям тяжёлых металлов в почве, но повышение их концентрации до критических значений оказывает токсический эффект [11]. Большинство токсичных для растений тяжёлых металлов аккумулируются в корневой системе, что, вероятно, является одним из адаптационных механизмов к существованию в неблагоприятных условиях среды [1, 2, 3, 7].

В формировании экологической устойчивости растений важную роль играют биологически активные вещества растений (продукты вторичного синтеза), в образовании которых заметная роль принадлежит микроэлементам. Важную роль в синтезе биологически активных веществ играют такие элементы, как марганец, молибден, медь, кобальт, никель, стронций, ванадий и хром. Например, лекарственные растения, продуцирующие дубильные вещества, избирательно накапливают такие жизненно важные элементы, как марганец, медь, хром. Растения, продуцирующие алкалоиды, отличаются значительным содержанием марганца, кобальта, меди [9].

В состав активного центра фермента полифенолоксидазы, принимающего участие в биогенезе фенольных соединений, входит медь, а её дефицит снижает выработку и накопление фенольных соединений, а также пигментов, антоцианов, некоторых витаминов, ауксинов, белков, а также сапонинов и алкалоидов [9]. Нормальная концентрация меди в растениях установлена в пределах 5,0–30,0 мг/кг [2], или 3,0–40,0 мг/кг [10], а критическим значением считается величина 150,0 мг/кг [12]. На исследуемых нами участках содержание меди в растениях было различным. Максимальное содержание меди в траве льнянки обыкновенной отмечалось нами на территории промышленных установок первой очереди ОГПЗ и составляло 65,4 мг/кг (рис., табл.). В контрольной зоне содержание меди составляло 43,0 мг/кг.

Марганец принимает участие в процессе фотосинтеза, биосинтезе фенольных соединений и в ряде других окислительно-восстановительных процессов в клетках растений, регулирует окислительные системы при синтезе аскорбиновой кислоты и танинов в растительных тканях [9, 12]. Нормальное содержание марганца для трав составляет до 20,0–30,0 мг/кг [2, 10]. Критической концентрацией для растений считается 300,0 мг/кг [12]. Концентрация марганца в контрольной зоне для льнянки составляла 283 мг/кг, на техногенной территории – 409,0 мг/кг, в санитарно-защитной зоне – 320,0 мг/кг.

Молибден влияет на синтез и транспорт углеводов, образование хлорофилла, аскорбиновой кислоты, аминокислот, кумариновых и сердечных гликозидов [4]. Содержание молибдена в траве льнянки контрольного участка составляло 0,6 мг/кг, в районе работы установок первой очереди – 0,8 мг/кг, в растениях санитарно-защитной зоны – 0,8 мг/кг.

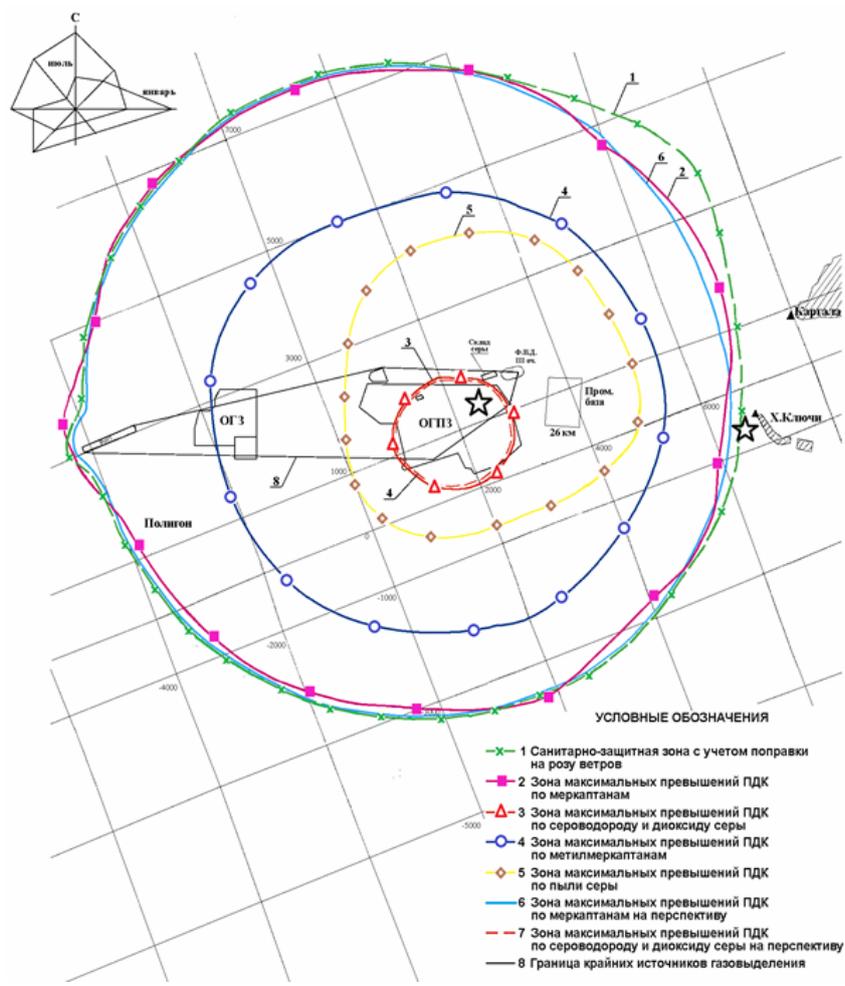


Рис. – Карта-схема превышения ПДК в районе ОГПЗ с указанием точек сбора растительного сырья в техногенной зоне
 ☆ – точки сбора растительного сырья

Кобальт в растениях активирует ферменты водородной системы симбиотической фиксации азота, участвует в биосинтезе аминокислот, процессах фосфорилирования, высказываются предположения о стимулировании этим элементом процесса оплодотворения [4]. Нормальное содержание Со для трав отмечено в пределах 0,02–0,30 мг/кг сухого вещества [2, 10]. Содержание кобальта несколько выше было в растениях льянки в зоне работы промышленных установок. На контрольном участке и в санитарной зоне завода концентрация кобальта в растениях варьировалась в пределах – 0,1 мг/кг и 0,2 мг/кг.

Никель является активатором ряда ферментных систем: активирует ферменты аргиназу, оксалоацетатдекарбоксилазу, способен ингибировать фосфатазу, ускоряет окисление сульфгидридных групп в дисульфидные. В исследуемых точках у растений льянки отмечались значительные различия в содержании никеля. Содержание Ni в траве растения под установками первой очереди составляло 32,7 мг/кг, в контрольной зоне 16,0 мг/кг, в санитарной зоне – 10,1 мг/кг.

Недостаточно изученным является вопрос о содержании и накоплении стронция в растениях.

В анализируемых растениях Sr распределён неравномерно. В растениях льянки, собранных на контрольных участках, содержание стронция составляло 16 мг/кг. Вблизи промышленных площадок первой очереди его концентрация достигала 245,4 мг/кг, а в санитарной зоне – 70,1 мг/кг.

В траве льянки обыкновенной, собранной в техногенной зоне, обнаружен цирконий. Его содержание составляло 12,3 мг/кг вблизи промышленных установок и 21,2 мг/кг в санитарно-защитной зоне.

В литературных источниках указывается на стимулирующее влияние ванадия на процессы фотосинтеза, установлена его положительная роль в фиксации атмосферного азота микроорганизмами и в азотном питании высших растений [2, 9, 12]. Ванадий влияет на состояние углеводного и водного обмена растений, повышая интенсивность транспирации [9]. На участке установок первой очереди концентрация V в траве льянки составляла 4,6 мг/кг, в контрольной зоне – 2,0 мг/кг, а в санитарно защитной – 3,2 мг/кг.

Хром положительно воздействует на фотосинтез растений, что позволяет предположить действие

Содержание микроэлементов в надземной части льнянки *Linaria vulgaris*, мг/кг

Наименование элемента	Место сбора сырья			ПДК для чая	ПДК для фруктов
	окрестности с. Каменноозёрное (контроль)	санитарно-защитная зона ОГПЗ	установки первой очереди ОГПЗ		
Fe	214,0	565,6	245,4	–	–
Zn	81,0	141,4	107,0	–	–
Sr	16,0	70,1	245,4	–	–
Mn	282,8	320,0	409,0	–	–
Ti	53,0	212,1	122,7	–	–
Pb	4,1	106,0	64,5	10,0	0,40
Cu	43,0	56,6	65,4	100,0	5,00
Ba	6,0	23,1	40,9	–	–
Ni	16,0	10,1	32,7	–	–
Zr	0	21,2	12,3	–	10,00
Ag	0,53	0,43	0,24	–	–
Co	0,1	0,4	1,6	–	–
V	2,0	0,4	4,6	–	–
Cr	3,0	3,2	4,9	–	–
Mo	0,6	0,7	0,8	–	–

этого элемента на продуцирование веществ вторичного синтеза [9]. В траве льнянки обыкновенной контрольные показатели для хрома составляли 3,0 мг/кг, а в зоне действия установок первой очереди – 4,9 мг/кг.

Цинк активно участвует в процессах обмена, входит в состав многих ферментов растений и животных, повышает устойчивость растений к сухим и жарким условиям [2]. Критическая концентрация цинка в растениях составляет 300 мг/кг [12], а в норме его содержание равно 27–250 мг/кг [2]. В траве льнянки техногенной зоны отмечалась повышенная концентрация цинка: 107 мг/кг (в районе установок) и 141 мг/кг (санитарная зона). На контрольных участках содержание цинка было несколько меньше – 81 мг/кг.

Свинец считается одним из ведущих фитотоксикантов [10]. Нормальные концентрации свинца в надземных органах растений – 1,50–14,0 мг/кг [2]. Данные по уровню содержания свинца в растениях льнянки обыкновенной свидетельствуют о повышении его содержания в траве растений в зоне промышленного участка до 64,5 мг/кг (промышленные установки) и до 106,2 (санитарно-защитная зона). В контрольной зоне содержание свинца в траве льнянки обыкновенной составляло 8,1 мг/кг.

Важнейшим микроэлементом растений является железо [4]. При недостатке железа в растениях их корни выделяют в почву так называемые фитосидерофоры, которые переводят в растворимое состояние содержащиеся в почве железосодержащие минералы. Замечено, что фитосидерофоры способствуют накоплению в растениях меди, цинка и марганца [9]. Нормальное содержание железа в траве составляет 20,0–300,0 мг/кг сухого вещества [2]. Критическая концентрация равна 750,0 мг/кг [10]. В результате анализа нами установлено, что содер-

жание железа в траве льнянки вблизи установок первой очереди составляло 245 мг/кг, в санитарно-защитной зоне – 565,6 мг/кг, на контрольном участке – 214,0 мг/кг.

Таким образом, можно утверждать, что сырьё (травы) лекарственного растения льнянки обыкновенной, собранное в различных экологических условиях, существенно отличается в плане элементного состава. Указанный факт требуется учитывать при оценке качества и безопасности ЛРС льнянки, которое используется населением области для личных нужд.

Выводы

1. Содержание большинства токсичных микроэлементов (Pb, Cd, Ba, Cu, Fe, Mn и др.) в растениях, произрастающих в зоне действия атмосферных выбросов Оренбургского газоперерабатывающего завода, значительно превышает контрольные показатели.

2. В непосредственной близости от работающих установок первой очереди Оренбургского газоперерабатывающего завода растения льнянки обыкновенной характеризуются самым высоким содержанием свинца, бария, стронция, титана, меди, марганца, ванадия, кобальта и никеля.

3. На границе санитарно-защитной зоны предприятия в сырьё льнянки обыкновенной отмечается самый высокий уровень железа, титана и циркония.

4. Сбор лекарственного растительного сырья на территории Оренбургского газоперерабатывающего завода и в санитарно-защитной зоне следует запретить ввиду превышения ПДК в отношении целого ряда тяжёлых металлов.

Литература

1. Tinkov A.A. et al. The role of cadmium in obesity and diabetes // Science of The Total Environment. 2017. Т. 601. p. 741–755.
2. Kabata-Pendias A. Soil – plant transfer of trace elements – an environmental issue // Geoderma. 2004. Т. 122. № 2–4. p. 143–149.
3. Lisch D. Epigenetic regulation of transposable elements in plants // Annual review of plant biology. 2009. Т. 60. p. 43–66.
4. Зайцева В.Н., Гусев Н.Ф., Немерешина О.Н. К вопросу содержания микроэлементов в наземных органах *Fragaria viridis* (Duch.) Weston Оренбургского Предуралья // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2010. Т. 4. № 28-1.
5. Немерешина О.Н., Гусев Н.Ф., Петрова Г.В. Анатомо-морфологические параметры льнянки обыкновенной техногенной зоны // Успехи современного естествознания. 2014. № 9–2. С. 52–55.
6. ГОСТ 30692-2000. Межгосударственный стандарт. Атомно-адсорбционный метод определения тяжёлых металлов. Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. Минск. База нормативных документов «RusGOST». URL: <http://www.russgost.ru>.
7. Мережко О.Е. Влияние промышленных выбросов на растительный мир // Программный комитет. 2014. Т. 30. С. 276.
8. Huber M.A. et al. Heavy metal composition in the *Plantago major* L. from center of the Murmansk City, Kola Peninsula, Russia // European Journal of Biological Research. 2018. Т. 8. № 4. p. 214–223.
9. Ноздрихина Л.Р., Гринкевич Н.И. Нарушение микроэлементного обмена и пути его коррекции. М.: Наука, 1980. 280 с.
10. Ильин В.Б. Элементарный химический состав растений. Новосибирск: Наука, 1985. 129 с.
11. Тарабрин В.П. Физиология устойчивости древесных растений в условиях загрязнения окружающей среды тяжёлыми металлами // Микроэлементы в окружающей среде. Киев: Наукова думка. 1980. С. 17.