

Влияние автотранспортного загрязнения на экологическое состояние подорожника большого (*Plantago major* L.)

Т. И. СИРОМЛЯ

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН
630099, Новосибирск, ул. Советская, 18
E-mail: tatiana@issa.nsc.ru

АННОТАЦИЯ

Представлены результаты определения количества подвижных соединений химических элементов (ХЭ) в почвах (ацетатно-аммонийный буферный раствор с pH 4,8) и растениях (экстрагенты – HCl разб. 1:1, 10 % HCl, H₂O_{дист.}) Подорожника большого (*Plantago major* L.), испытывающих разную антропогенную нагрузку. Определено содержание в растениях общей золы, минеральных примесей почвенного происхождения, полисахаридов и хлорофилла. Проведено сравнение полученных результатов с данными по другим регионам. Дана оценка экологического состояния *Plantago major* L. и сделано заключение о возможности его использования в качестве лекарственного растительного сырья.

Ключевые слова: Подорожник большой – *Plantago major* L., почва, подвижные формы, тяжелые металлы, хлорофилл, полисахариды.

Загрязнение окружающей среды значительно изменяет естественный химический состав почв и растений. Комитетом по охране окружающей среды Новосибирской области установлено, что приоритетным загрязнителем атмосферы города Новосибирска является автотранспорт (более 70 % от валового выброса загрязняющих веществ). В выхлопных газах обнаружено более 200 различных токсичных веществ [1], с работой автомобильного транспорта в наибольшей степени связано загрязнение окружающей среды Pb, Cd, Zn и другими тяжелыми металлами (ТМ).

Поступая в атмосферу в виде аэрозолей, продукты сгорания автомобильного топлива адсорбируются с пылью и оседают на поверхности почвы и растений. В почвах придорожных зон происходит интенсивная аккумуля-

ция подвижных форм ХЭ, среди которых наибольшую опасность представляют ТМ. Как известно, ТМ часто выступают в роли ингибиторов основного процесса жизнедеятельности растений – фотосинтеза, благодаря которому происходит образование различных органических соединений [2–7], а также способны включаться в биологический круговорот и аккумулироваться в организме человека. Определение уровня содержания ХЭ в дикорастущих травянистых растениях, произрастающих в различных по техногенной нагрузке районах, актуально в области практического экологически безопасного использования растительных ресурсов и индикации загрязненности их ареала.

При мониторинге загрязнения растительности удобно использовать ценопопуляции Подорожника большого. Этот вид входит в состав повсеместно распространенного класса синантропной растительности *Plantaginetea*

majoris R. Tx. et Prsg. in R. Tx 1950. Растения этого класса легко выдерживают высокую рекреационную нагрузку вследствие низкорослости и преобладающей розеточной жизненной формы, характеризуются широтой географического распространения, преимущественно семенным размножением и средобразующей способностью [8].

Plantago major L. относится к числу ценных лекарственных растений, его листья содержат большую группу биологически активных веществ: полисахариды, флавоноиды, фенолкарбоновые кислоты, витамины С и К, дубильные вещества и др. [9–11]. Воздействие ТМ не только снижает качество лекарственного растительного сырья, но и может представлять экотоксикологическую опасность. Широкое распространение П. большого на нарушенных деятельностью человека территориях выводит на передний план вопрос о влиянии автотранспорта на экологическое состояние растений и качество получаемого лекарственного сырья.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Наши исследования проводились вдоль автомагистрали федерального назначения М53 (Новосибирск – Кемерово, Новосибирск – Томск) в 2009 г. Объектом исследования стали почвенные образцы чернозема обыкновенного и листья лекарственного растения *Plantago major* L. Пробы отбирали в конце июня – начале июля, в период максимального накопления в растениях действующих веществ, согласно общепринятым методикам. Сбор осуществляли на 10 пробных площадках с удалением от оси дороги от 10 до 200 м.

Визуальных признаков токсического влияния на растения избыточных количеств каких-либо ХЭ, содержащихся как в почве, так и в атмосфере, не отмечено. Однако качественная характеристика угнетения дикорастущих лекарственных растений тяжелыми металлами только по внешним признакам представляется недостаточной, что связано с эволюционно выработанными механизмами адаптации к неблагоприятным условиям окружающей среды, в связи с чем необходим аналитический контроль.

Половина растительных проб была вымыта. Эксперименты проводили на высушенном

сырье. Всего проанализировано 200 проб листьев *Plantago major* L. и 100 почвенных образцов чернозема из верхнего горизонта 0–20 см.

Извлечение подвижной формы ХЭ из почвы проведено ацетатно-аммонийным буферным раствором с рН 4,8 (РД 52.18.289-90). Определение содержания в листьях подвижной формы ХЭ, массовой доли общей золы и золы, не растворимой в растворе 10 % HCl, проводили по ГОСТ 13979.6-69. Ссылка на данный ГОСТ дана для удобства, поскольку в нем описаны методы определения сразу двух параметров, но она не принципиальна, так как методика сухого озоления с предварительным обугливанием приводится в ГОСТ 28552-90; ГОСТ 28878-90; ГОСТ Р 51411-99 и др., необходимо лишь учитывать, что температура муфельной печи не должна превышать 500 °С, чтобы не произошло потери ХЭ. Методика определения массовой доли золы, не растворимой в HCl, описана также в ГОСТ Р 51418-99; ГОСТ Р ИСО 763-2008 и др., приведена в ИСО 762-2003 как методика определения минеральных примесей. Дополнительно определено содержание подвижной формы ХЭ по ГОСТ 30178-96. Вытяжка из листьев *Plantago major* L. для определения водорастворимой формы ХЭ готовилась по методике, предложенной в ГФ XI [12]*. Определение содержания ХЭ проводили методом атомно-абсорбционной спектроскопии, прибор Квант-2. Сумму хлорофиллов рассчитывали через определение оптической плотности спиртового экстракта на СФ-56 ($\lambda = 666$ нм), количество полисахаридов измеряли гравиметрическим методом по ГФ XI [12].

Эксперименты проводили в трех повторностях. Обработка результатов проведена с использованием программы Microsoft Excel и программного пакета SNEDECOR.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Подвижные формы ХЭ в почве. Как показали наши исследования, содержание в почве подвижных форм Co, Cr и Ni ниже предела обнаружения прибора (0,1; 0,1 и

*Анализы по методикам из ГФ XI [12] выполнены К. Э. Зубаревой (Новосибирская государственная медицинская академия).

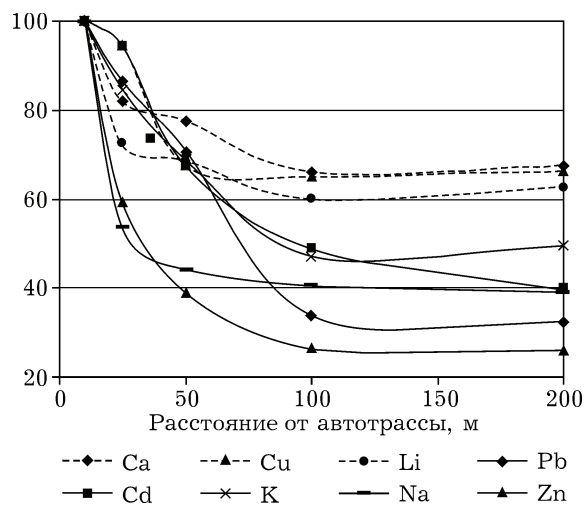


Рис. 1. Изменение содержания подвижной формы ХЭ в почве в зависимости от техногенной нагрузки.

Здесь и на рис. 3–5 по оси ординат — доля от количества ХЭ в 10 м от дороги, %

0,05 мг/кг соответственно). Очень слабо изменяется количество (мг/кг) подвижных форм Fe (7,8–8,3), Mg (150–170), Mn (21–26) и Sr (18,9–20,5), корреляционная связь с расстоянием от автотрассы не выявлена. Содержание остальных ХЭ при удалении от автотрассы снижается на 35–75 % (рис. 1).

Разница в содержании ХЭ, приведенных на рисунке, на расстоянии 10 и 200 м от автотрассы достоверна, резкой границей является расстояние 25–50 м. Поэтому полученные данные позволяют утверждать, что основная масса выбросов автотранспорта оседает

в непосредственной близости от автодорог, причем зона наибольшего загрязнения занимает полосу шириной до 25 м. К аналогичным выводам приходят и другие авторы [6, 13–15], отмечая при этом, что накопление ТМ почвой вдоль автомагистралей в значительной степени зависит от рельефа местности, направления ветра, плотности транспортного потока, скорости движения, типа машин, удаленности от дороги, наличия защитных насаждений вдоль автомагистрали и т. д.

Абсолютные значения (мг/кг) уменьшаются с 10 до 200 м следующим образом: Ca – $3416 \pm 368 \rightarrow 2300 \pm 56$; K – $123 \pm 15 \rightarrow 61 \pm 6$; Li – $0,25 \pm 0,01 \rightarrow 0,16 \pm 0,01$; Na – $285 \pm 48 \rightarrow 111 \pm 36$. Остальные ХЭ представлены в табл. 1.

Если ограничиться общим анализом табл. 1, то можно отметить, что содержание подвижной формы ТМ в почвах на расстоянии 200 м от автотрассы М53 в целом приближается к усредненным фоновым значениям для черноземов Западной Сибири. Данные по почвам, прилегающим к автотрассам Омска и Воронежа, несколько выше полученных нами, особенно по содержанию Pb, и проявляют тенденции к уменьшению содержания подвижной формы ХЭ при удалении от автотрассы. Резко отличаются результаты Кириенко и др. [6]: по содержанию Cu, Fe и Pb – на несколько порядков! Вероятно, это связано с тем, что авторы исследовали непосредственно городские почвы, урбанозе-

Т а б л и ц а 1

Содержание в почвах подвижной формы ТМ, извлекаемой ацетатно-аммонийным буферным раствором с рН 4,8, мг/кг

ТМ	Территория исследования								Фон	ПДК
	1	2	3	4	5	6	7	8		
Cd	0,13±0,01	0,05±0,01	0,25	0,09	0,05	0,03	0,90	0,60	0,04	–
Cu	0,13±0,01	0,09±0,01	0,47	0,09	5,49	6,95	0,41	0,26	0,09	3
Fe	7,9±0,3	8,0±0,5	–	–	1512,0	1660,0	8,1	6,5	8,9	–
Mn	24,3±1,4	23,6±2,7	56,6	26,6	–	–	18,0	15,3	20,4	140*
Pb	0,53±0,07	0,17±0,01	4,56	0,71	18,99	3,13	6,3	3,4	0,21	6
Zn	4,33±0,38	1,1±0,04	9,63	0,32	3,32	3,84	4,70	3,30	1,07	23

Примечание. 1, 2 – 10 и 200 м от автотрассы М53 (наши данные); 3, 4 – у трассы и 100 м от трассы Омск – Новосибирск [15]; 5, 6 – у автотрассы и 500 м от автотрассы, г. Красноярск [6]; 7, 8 – 5–15 и >100–150 м от автотрасс Воронеж – Москва, Воронеж – Саратов, Воронеж – Ростов [13]. Фон – среднее содержание ХЭ в черноземах Западной Сибири [2, 16]. ПДК – по ГН 2.1.7.2041-06 (* – для черноземов) [17]. Проверк – нет данных.

мы, которые могли быть изначально загрязнены ТМ, обладать низкой буферной способностью и испытывать значительно большую антропогенную нагрузку, чем междугородные автотрассы.

Превышения ПДК подвижной формы не обнаружено ни для одного из исследованных ХЭ. По всей видимости, это можно объяснить тем фактом, что исследуемые почвы являются черноземами, а среди всех типов почв именно черноземы наиболее прочно связывают ТМ и характеризуются самыми низкими значениями содержания подвижных форм ХЭ.

Оценка количества (мг/кг) подвижных форм ХЭ в почве по агро- и биогеохимическим критериям [18] указывает на “низкое” (0,1–0,25) загрязнение Cd на расстоянии до 25 м от автотрассы, на большем удалении загрязнения нет. Такое же расстояние является “барьером” и для ряда других элементов: на расстоянии 10–25 и 50–200 м содержание Ca “высокое” (3001–4000) и “повышенное” (2001–3000), K – “повышенное” (81–120) и “среднее” (41–80), Zn – “среднее” (2,1–5,0) и “низкое” (1,1–2,0), Cu – “низкое” (0,11–0,20) и “очень низкое” (<0,1). Однако все исследованные точки характеризуются “высоким” (20–40) содержанием Mn и “средним” (121–240) – Mg.

Коэффициент корреляции между расстоянием от автотрассы и содержанием ХЭ достигает 0,6–0,7 для Li, Na, Cu, Zn и 0,8–0,9 для Cd, Pb, Ca, K (такая же сильная корреляционная связь отмечена в работе Пархоменко, Ермохина [15] для Cu, Zn, Cd и Pb). Применительно к макроэлементам Ca, K, Na можно предположить, что здесь играет роль не техногенное загрязнение почвы данными ХЭ, а проявляется тот факт, что под действием ТМ у растений снижается способность к поглощению основных элементов питания и макроэлементов (см. далее рис. 4), следовательно, большее их количество остается в почвенном растворе. Выявлена также очень сильная корреляционная связь между содержанием в почве Cu, Zn, Cd, Pb ($r \geq 0,9$), что говорит о едином источнике загрязнения данными ТМ – сжигание этилированного бензина и дизельного топлива, износ резины и т. п.

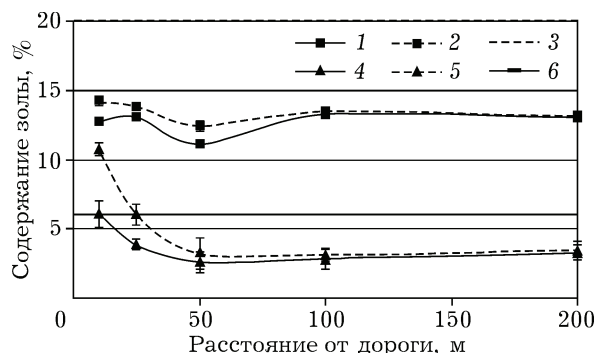


Рис. 2. Содержание золы в листьях *Plantago major* L. 1, 2 – зола общая в мытых и неммытых листьях, 4, 5 – зола, не растворимая в 10 % HCl, в мытых и неммытых листьях, 3, 6 – максимально допустимое содержание золы общей и не растворимой в 10 % HCl [12]

Зольность растений *Plantago major* L. Государственная фармакопея [12] разрешает использовать листья П. большого в качестве лекарственного растительного сырья, если содержание общей золы в них не превышает 20 %, а количество золы, не растворимой в 10 % HCl, составляет не более 6 %. Первому критерию удовлетворяют все исследованные образцы, второму – собранные на удалении более 25 м (рис. 2), что говорит о недопустимости сбора растений на расстоянии менее 25 м от автотрассы.

Достоверная разница по вышеуказанным параметрам выявлена только для образцов, отобранных на расстоянии до 50 м от дороги, при большем удалении разница становится недостоверной. Выявленная корреляционная зависимость между зольностью общей и расстоянием от дороги слабая, поэтому данный показатель в оценке антропогенного загрязнения листьев *Plantago major* L. не информативен. Установлена средняя обратная корреляционная связь между содержанием золы, не растворимой в 10 % HCl, и удалением от автотрассы, т. е. данный показатель может служить критерием экзогенного загрязнения растительного сырья.

Подвижные формы ХЭ в растениях *Plantago major* L. Подвижные формы соединений ХЭ в почвах к настоящему времени в определенной степени изучены – в литературе можно найти некоторый сравнительный материал, разработаны различные нормативы ПДК и ОДК, есть ГОСТы, РД, МУ и т. д. В случае с растениями ситуация принципи-

ально иная. Практически все агрохимические исследования проводятся с определением только общего, валового содержания ХЭ. В экологических исследованиях изредка можно встретить данные по содержанию в растении золы, не растворимой в 10 % HCl (что необходимо для оценки количества минеральных примесей преимущественно почвенного происхождения). Почти всегда данная величина определяется в фармакологических исследованиях, но определение содержания доли ХЭ, растворимых в 10 % HCl, практически никогда не проводится. Аналогично и водные экстракты лекарственных растений, используемых в фармакопее, анализируются лишь на содержание биологически активных веществ, полисахаридов и т. п., содержание ХЭ при этом никого не интересует. Между тем неподвижные формы ХЭ, сконцентрированные в старых листьях, стеблях или в растении в целом, в отличие от подвижных форм ХЭ, могут ввести в заблуждение при попытке определить экологическое состояние растительных организмов и оценить безопасность их использования.

При анализе подвижных форм ХЭ в растении можно выделить три группы: 1) водорастворимые соединения, 2) "биогенные", т. е. растворимые в 10 % HCl, 3) растворимые в HNO₃ или HCl конц. 1 : 1. Выделение третьей группы трудно объяснить с химической точки зрения, ведь такая концентрация кислот заведомо велика для извлечения той части ХЭ, которая является легкодоступной для организмов животных и людей, но явно мала для полного разложения растительного сырья, требующего обязательного применения концентрированных кислот, причем в смеси, и добавления пероксида водорода. Однако именно данная группа соединений определяется в целом ряде ГОСТов – 26929-94, 27995-88, 27996-88, 30178-96, 30692-2000 и др. Все перечисленные ГОСТы принципиально близки – в каждом из них для разложения золы используется кислота (азотная или соляная) разбавленная 1 : 1, а при переводе ХЭ в раствор возможны варианты – кислота разбавленная 1 : 10, 1 % кислота, дистиллированная вода и проч.

Мы провели сравнение двух методов экстракции подвижной формы ХЭ – ГОСТ

13979.6-69 (10 % HCl) и ГОСТ 30178-96 (HCl 1 : 1). Обнаружено, что 10 % HCl стабильно извлекает из листьев *Plantago major* L. большие количества Fe (на 10–30 %) и Zn (на 20–100 %), но при этом слабее извлекает Mn, Na (на 20–30 %) и Li, Sr (на 30–50 %). Для других исследованных элементов (Ca, Cd, Cu, K, Mg, Pb) какой-либо определенной зависимости не выявлено (колебания составляют ± 10–40 % для растений, отобранных в разных точках).

Между содержанием ХЭ в растениях П. большого, извлекаемых по ГОСТ 30178-96, и расстоянием от автотрассы также не удалось выявить четких достоверных зависимостей (рис. 3). Предполагаемые причины подобного явления изложены выше. Лишь для железа наблюдается достоверное сильное снижение концентрации – более чем в 2 раза, которое достигает минимума в 50 м от дороги и в дальнейшем изменяется слабо, $r = -0,6$. Для Cd и Pb связь слабая, $r = -0,3$ и $-0,4$. Отмечается повышение содержания Mg и Sr, $r \sim 0,6$.

В среднем содержание ХЭ в мытых листьях меньше на 5–20 % по сравнению с немывыми, но усредненные значения не полностью отражают реальную сложность полученной картины. Четкой зависимости здесь не выявлено, но можно предположить, что свою роль играют химическая природа элемента, содержание его в растении, уровень запыленности листьев и т. д. В автореферате М. А. Никитенко [19] указано, что концентрация ТМ в мытых растениях меньше примерно на 20 %. Сходные данные приводит и А. С. Стрекалова [20], отмечая, что промывание лекарственного сырья водой позволяет удалить до 12 % Cu, 20 % Pb и 22 % Zn.

По изменению содержания в П. большом ХЭ, извлекаемых 10 % HCl, наблюдается следующая картина (рис. 4).

При удалении от автотрассы увеличивается содержание цинка и меди в немывтых листьях примерно на 10 %, а в мытых снижается приблизительно на 20 %, однако в обоих случаях эта разница не достоверна. Вероятно, сказывается присутствующая на листьях пыль. Содержание K, Mg, Sr увеличивается в более благоприятных экологических условиях, а количество остальных

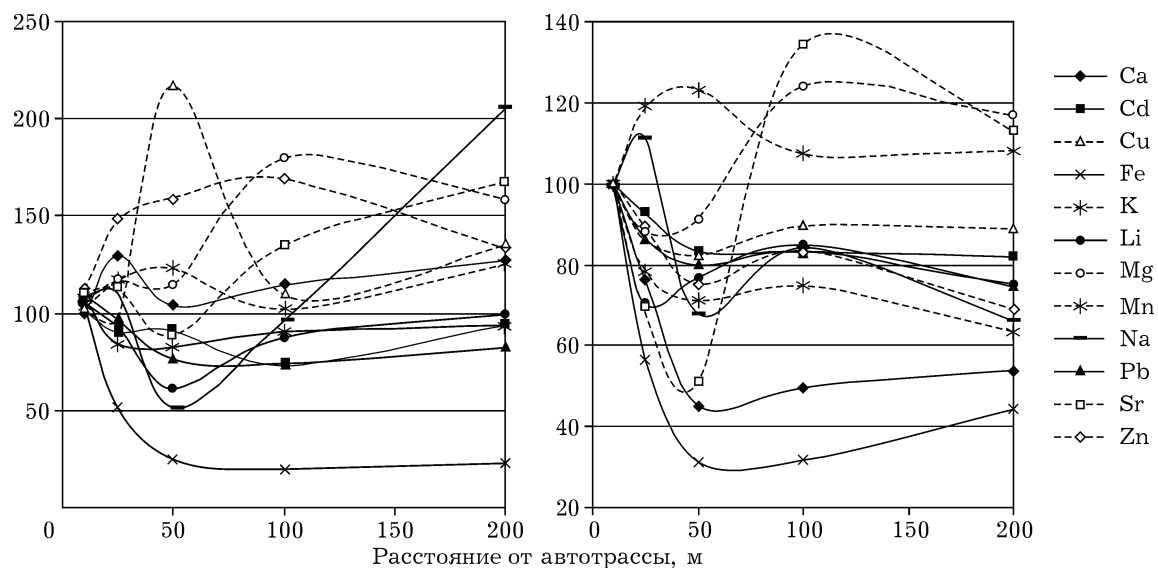


Рис. 3. Изменение содержания подвижной формы ХЭ в листьях *Plantago major* L. в зависимости от техногенной нагрузки (ГОСТ 30178-96, HCl 1 : 1).

Здесь и на рис. 4, 5 слева – немывые листья, справа – мытые

исследованных ХЭ снижается с уменьшением уровня антропогенной нагрузки.

Между химическим составом растений и элементным составом среды существует несомненная связь, но прямая зависимость содержания ХЭ в растениях от содержания в почве часто нарушается из-за избирательной способности растений к накоплению элементов. Кроме того, характер взаимодей-

ствия между различными элементами при поступлении в растения существенно зависит от соотношения ионов в почвенном растворе, температуры, влажности, освещения, возраста растения и т. д. и может принципиально меняться под влиянием внешних условий. Оценка достоверности разницы между содержанием ХЭ в растениях, собранных на расстоянии 10 и 200 м от автотрассы, а

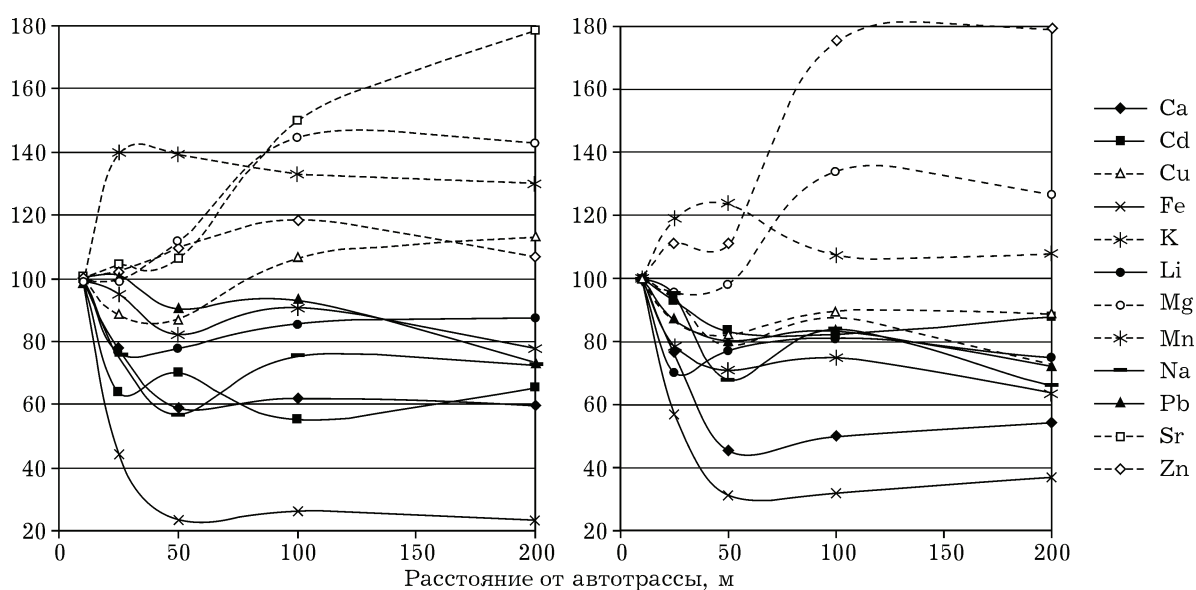


Рис. 4. Изменение содержания подвижной формы ХЭ в листьях *Plantago major* L. в зависимости от техногенной нагрузки (ГОСТ 13979.6-69, 10 % HCl)

Статистические показатели содержания подвижной формы ХЭ в растениях в зависимости от содержания в почве и уровня техногенной нагрузки

Элемент	Мытые растения			Немытые растения		
	Достоверность разницы	Кк1	Кк2	Достоверность разницы	Кк1	Кк2
Ca	+	-0,58	0,89	+	-0,65	0,93
Cd	-	-0,47	0,78	+	-0,5	0,66
Cu	-	-0,21	0,59	-	0,78	-0,36
Fe	+	-0,58	-0,61	+	-0,61	-0,62
K	-	-0,16	-0,10	+	0,26	-0,56
Li	-	-0,38	0,81	-	0,10	0,62
Mg	-	0,78	-0,74	+	0,87	-0,86
Mn	+	-0,75	0,10	-	-0,79	0,07
Na	+	-0,72	0,74	+	-0,31	0,85
Sr	+	0,86	0,20	+	0,98	0,27
Pb	-	-0,82	0,80	-	-0,94	0,76
Zn	-	-0,82	0,84	-	0,41	-0,77

П р и м е ч а н и е. Кк1 – коэффициент корреляции между содержанием ХЭ в растениях и расстоянием от трассы, Кк2 – коэффициент корреляции между содержанием ХЭ в растениях и в почве.

также коэффициенты корреляции приведены в табл. 2.

Полученные нами результаты по содержанию ХЭ в немых листьях П. большого приведены в табл. 3 и показывают значительное сходство с литературными данными.

Содержание ТМ в дикорастущих растениях как источнике лекарственного растительного сырья является важнейшим показателем биологического и гигиенического качества растений. Сравнив полученные нами данные с ПДК и МДУ, можно сделать вывод о практически полной безопасности листьев П. большого по данному критерию (отмечается лишь превышение МДУ Fe на расстоянии 10 м).

Таким образом, *Plantago major* L., произрастающий на исследуемой территории, можно отнести к растениям с высоким экологическим потенциалом. В дальнейшем возможно расширение ресурсной базы этого вида путем получения гигиенически чистой продукции на несильно загрязненной территории.

Водорастворимые формы ХЭ в растениях *Plantago major* L. П. большой применяется в медицине как источник большого числа полисахаридов. ГФ XI [12] рекомендует ис-

пользовать водное извлечение из листьев П. большого, при этом извлекается максимальное количество полисахаридов. В данной связи возникает вопрос о содержании ХЭ в водном извлечении из листьев П. большого.

Данные по водорастворимым формам в листьях *Plantago major* L. представлены на рис. 5. Различия между извлечением водорастворимой формы ХЭ из мытых и немых листьев аналогично разнице по подвижным формам ХЭ (см. выше).

Коэффициенты корреляции между водорастворимой формой ХЭ, расстоянием от автотрассы, содержанием подвижных форм ХЭ в почве и в растениях приведены в табл. 4.

Разница в содержании водорастворимой формы ХЭ в листьях П. большого на расстоянии 10 и 200 м достоверна для всех исследованных элементов, кроме Na и Zn.

Содержание Li, Mg, Na, Sr в водной и солянокислой вытяжках практически одинаково, т. е. основная часть их соединений находится в листьях в водорастворимой форме. У Ca, K, Mn на расстоянии 10–25 м при водной экстракции извлекается 40–60 % от количества, извлекаемого 10 % HCl, на расстоянии 50–200 м – 80–100 %. Видимо, это

Содержание ХЭ в растительном сырье, мг/кг сухого вещества

Источник данных	Химический элемент						
	Ca	K	Li	Mg	Mn	Na	Sr
1	13163	17397	0,68	1988	33	72	71
2	16717	21868	0,68	3140	31	148	120
3	18544	17373	0,46	2218	25	69	37
4	11071	22585	0,40	3161	32	50	67
	Cu	Cd	Fe	Pb	Zn		
1	5,06	0,104	348	1,39	16,21		
2	6,81	0,097	81	1,15	21,52		
3	4,80	0,118	416	1,22	35,40		
4	5,45	0,077	98	0,89	37,84		
5	22,33	–	–	2,70	6,23		
6	20,13	–	–	0,44	4,53		
7	22,32	0,21	428	4,82	24,18		
8	27,42	0,10	479	0,32	28,82		
9	6,65	0,65	–	4,42	8,11		
10	3,87	0,16	–	0,48	6,82		
11	5,5	0,40	675	7,6	26,4		
12	5,2	0,26	481	2,6	23,9		
13	4,2	0,10	94	1,2	13,4		
14	3,9	0,03	101	0,2	7,7		
ПДК ¹	–	1,0	–	10,0	–		
МДУ ²	30,0	0,3	100,0	5,0	50,0		
ПДК ³	5–30	0,05–0,2	–	5–10	27–150		

П р и м е ч а н и е. 1, 2 – 10 и 200 м от автотрассы М53, ГОСТ 30178-96 (наши данные); 3, 4 – 10 и 200 м от автотрассы М53, ГОСТ 13979.6-69 (наши данные); 5, 6 – 0–5 км и 15–30 км от г. Волгограда, П. большой, ГОСТ 30692-2000 [20]; 7, 8 – у автотрассы и 500 м от автотрассы (г. Красноярск), П. большой, ГОСТ 27996-88 [6]; 9, 10 – промышленная и лесопарковая зона г. Йошкар-Олы, П. большой, методика не указана [21]; 11, 12 – 5–15 м и >100–150 м от дороги, смешанные растительные образцы, методика не указана [13]; 13, 14 – урбофитоценоз на урбаноземе и луговой фитоценоз на черноземе типичном, г. Казань, ГОСТ 26929-94 [14]. Прочерк – нет данных. ¹ – СанПин 2.3.2.1078-01 (приведены значения для БАД на растительной основе (чай)). ² – СанПин 2.1.7.573-96 (приведены критерии для грубых и сочных кормов). ³ – обобщенный мировой материал [15].

проявление антропогенного воздействия. Zn, Cu и Fe переходят в водный экстракт еще слабее – 23–31, 5–15 и 2–6 % соответственно. Количество Cd в листьях придорожной зоны шириной 50 м составляет около 0,05, а Pb – около 0,2 мг/кг. В водном извлечении из листьев растений, собранных на расстоянии более 50 м, содержание этих элементов ниже чувствительности прибора (0,001

и 0,01 мкг/мл, т. е. 0,01 и 0,1 мг/кг соответственно).

Таким образом, элементы с преобладающим токсическим действием накапливаются в прочносвязанной форме. При экстракции водой ТМ слабо переходят в раствор, поэтому применение водного извлечения из листьев П. большого является безопасным для здоровья человека.

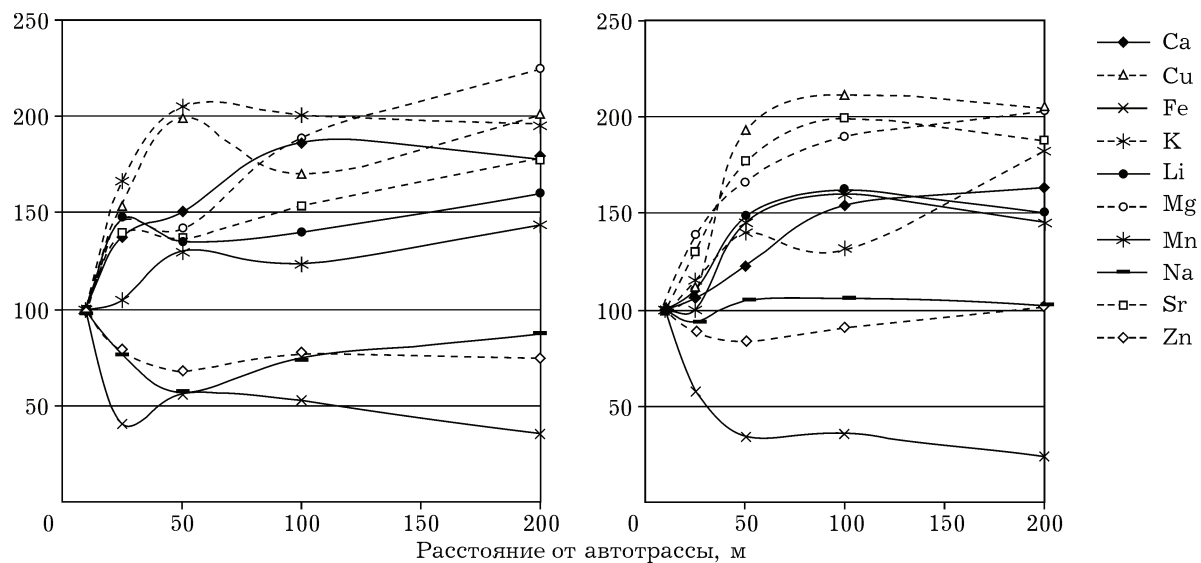


Рис. 5. Изменение содержания водорастворимой формы ХЭ в листьях *Plantago major* L. в зависимости от техногенной нагрузки

Полисахариды. Известно более 10 лекарственных препаратов, в составе которых присутствуют листья П. большого: плантаглюцид, сок подорожника, экстракт подорожника, гастрокалм и др. Основными действующими веществами большинства этих препаратов являются водорастворимые полисахариды. Содержание водорастворимых полисахаридов в листьях *P. major* L. должно быть не менее

12 % [12]. Этому требованию соответствуют все исследованные растения (табл. 5).

В целом чувствительность полисахаридов к антропогенному воздействию в данных условиях низкая ($r = -0,23$). Содержание водорастворимых полисахаридов в листьях растений, произрастающих в местах наиболее интенсивного движения автотранспорта и отобранных в экологически благоприятной

Т а б л и ц а 4

Коэффициенты корреляции для водорастворимой формы ХЭ

ХЭ	Мытые растения			Немытые растения		
	Кк1	Кк2	Кк3	Кк1	Кк2	Кк3
Ca	0,93	-0,90	-0,74	0,78	-0,90	-0,68
Cd	0,13	0,46	0,17	-0,68	0,82	-0,09
Cu	0,75	-0,89	-0,49	0,66	-0,85	-0,04
Fe	-0,74	-0,63	0,97	-0,6	-0,44	0,87
K	0,94	-0,60	0,52	0,57	-0,81	0,87
Li	0,69	-0,85	-0,42	0,71	-0,51	-0,49
Mg	0,86	-0,95	0,87	0,94	-0,86	0,89
Mn	0,66	-0,60	-0,60	0,88	-0,29	-0,97
Na	0,4	0,16	0,04	0,75	0,49	0,03
Pb	-0,14	0,04	-0,22	-0,14	0,04	0,56
Sr	0,73	0,52	0,74	0,89	0,37	0,67
Zn	0,44	0,07	-0,10	-0,45	0,88	-0,56

П р и м е ч а н и е. Кк1 – с расстоянием от автотрассы, Кк2 – с содержанием подвижных форм ХЭ в почве, Кк3 – с количеством ХЭ, извлекаемых 10 % HCl.

Количество водорастворимых полисахаридов в листьях П. большого, %

Расстояние от дороги, м	10	25	50	100	200
Количество водорастворимых полисахаридов	15,5 ± 0,2	14,7 ± 0,8	15,8 ± 1,3	15,3 ± 0,5	15,8 ± 1,1

зоне, почти одинаковое. Если судить по данному критерию о качестве и безопасности листьев, собранных в придорожной зоне, их заготовка для получения водного извлечения вполне возможна.

Хлорофилл. Антропогенное загрязнение окружающей среды оказывает негативное воздействие на растения, поскольку поллютанты часто выступают в роли ингибиторов основного процесса жизнедеятельности растений – фотосинтеза, снижая содержание хлорофилла и каротиноидов, вызывая сдвиги в структуре мембран хлоропластов [3, 6, 7]. Исследования последних лет свидетельствуют, что ингибирующее действие ТМ на фотосинтетические функции растений обусловлено их взаимодействием с компонентами фотосистемы II. Ряд экспериментальных данных подтверждает, что ионы ТМ способны модифицировать состояние кислородвыделяющего комплекса фотосистемы II на внутренней стороне тилакоидной мембраны, либо взаимодействовать со звеньями цепи транспорта электронов фотосистемы II, расположенными на внешней поверхности мембраны [4, 5].

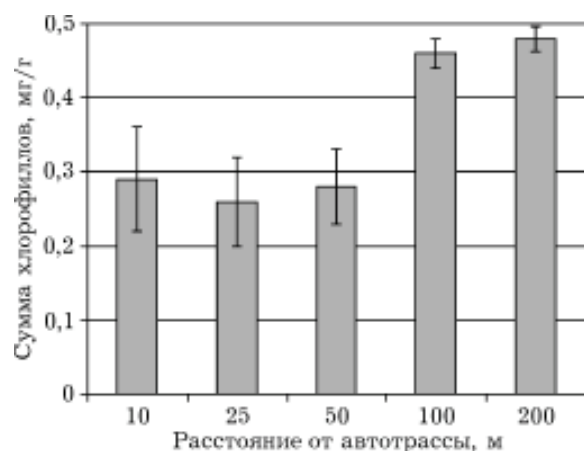


Рис. 6. Динамика изменения суммы хлорофиллов в листьях *Plantago major* L. в зависимости от техногенной нагрузки

Снижение содержания хлорофилла в листьях растений *Plantago major* L., произрастающих в местах наиболее интенсивного движения автотранспорта, выявлено как в нашем исследовании (рис. 6), так и в работах других авторов [4, 6, 20]. Разница между содержанием хлорофилла в растениях на расстоянии 10–50 и 100–200 м от автотрассы достоверна и составляет 60–70 %. Судя по данному критерию, сбор сырья для приготовления из листьев П. большого спиртового экстракта наиболее оптимален на расстоянии не менее 100 м от автотрассы.

Чувствительность хлорофилла к антропогенному воздействию в данных условиях очень высокая ($r = 0,9$). Выявлена корреляционная зависимость между содержанием хлорофилла и ХЭ – Mg, Sr ($r = 0,98$); Pb, Cd ($r = -0,75$); Ca, Fe, Mn ($r = -0,5$). Таким образом, содержание хлорофилла в листьях *Plantago major* L. может служить индикатором загрязнения окружающей среды на исследуемой территории.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как показали наши исследования, в почве не обнаружены подвижные формы Co, Cr, Ni; количество подвижных форм Fe, Mg, Mn, Sr постоянно; содержание остальных исследованных ХЭ при удалении от автотрассы достоверно снижается на 35–75 %. На расстоянии 200 м от автотрассы М53 количество подвижных форм ХЭ в почвах приближается к усредненным фоновым значениям для черноземов Западной Сибири, превышения ПДК не обнаружено ни для одного из исследованных ХЭ.

Общий минеральный остаток в листьях *Plantago major* L. отличается незначительно, но количество золы, не растворимой в 10 % HCl, достоверно снижается при удалении от автотрассы, т. е. данный показатель может служить критерием экзогенного загрязнения

растительного сырья. В придорожной полосе шириной до 25 м П. большого собирать не рекомендуется.

При сравнении двух методов экстракции подвижной формы ХЭ из растений – ГОСТ 13979.6-69 (10 % HCl) и ГОСТ 30178-96 (HCl 1 : 1) – не выявлено преимущественного извлечения ХЭ каким-либо одним экстрагентом. Полученные результаты широко варьируют. Между содержанием ХЭ в растениях П. большого, извлекаемых по ГОСТ 30178-96, и расстоянием от автотрассы также не удалось выявить четких достоверных зависимостей. Содержание К, Mg, Sr, извлекаемых 10 % HCl, увеличивается в более благоприятных экологических условиях, а количество остальных исследованных ХЭ снижается с уменьшением уровня антропогенной нагрузки (кроме Cu и Zn, на поведение которых влияет уровень запыленности). В среднем содержание ХЭ в мытых листьях меньше на 5–20 % по сравнению с неммытыми. Сравнение полученных данных по содержанию ТМ в растениях с ПДК и МДУ подтверждает полную безопасность *Plantago major* L. по данному критерию.

Из листьев П. большого в водный раствор полностью переходят Li, Mg, Na, Sr, слабее извлекаются Ca, K, Mn – 40–90 %, и намного меньше Zn – 23–31 %, Cu – 5–15 %, Fe – 2–6 %, Cd и Pb – доли процентов. Таким образом, элементы с преобладающим токсическим действием накапливаются в прочносвязанной форме и слабо переходят в раствор, поэтому применение водного извлечения из листьев П. большого является безопасным для здоровья человека.

Содержание водорастворимых полисахаридов в листьях *Plantago major* L. соответствует требованиям ГФ XI [12], чувствительность к антропогенному воздействию низкая ($r = -0,23$), заготовка сырья в придорожной зоне для получения водного экстракта допустима.

Содержание хлорофилла в листьях у автотрассы на 60–70 % ниже, чем в листьях, собранных на удалении 100–200 м. Сбор лекарственного сырья для приготовления спиртового экстракта наиболее оптимален на расстоянии не менее 100 м от автотрассы. Чувствительность хлорофилла к антропогенному

воздействию очень высокая ($r = 0,9$), его содержание в листьях *Plantago major* L. может служить индикатором загрязнения окружающей среды на исследуемой территории.

ЛИТЕРАТУРА

1. Луканин В. Н., Трофименко Ю. В. Экологические действия автомобильных двигателей на окружающую среду. М.: ВИНТИ, 1993. 238 с.
2. Ильин В. Б., Сысо А. И. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. 229 с.
3. Артамонов В. И. Растения и чистота природной среды. М.: Наука, 1986. 172 с.
4. Максимова Е. В., Косицына А. А., Макурина О. Н. Влияние антропогенных факторов химической природы на некоторые эколого-биохимические характеристики растений // Вестник СамГУ. Естественно-научная сер. 2007. № 8 (58). С. 146–152.
5. Серегин И. В., Иванов В. Б. Физиологические аспекты токсического действия кадмия и свинца на высшие растения // Физиология растений. 2001. Т. 48. С. 606–612.
6. Кириенко Н. Н., Терлеева П. С., Первышина Г. Г. Влияние автотранспортного загрязнения биотопа на биохимическую активность *Arctium lappa* и *Plantago major* // Вестник КрасГАУ. 2009. № 7. С. 70–72.
7. Lichtenthaler N. K. Chlorophylls and carotenoids – pigments of photosynthetic biomembranes // Methods in enzymology / Eds. S. P. Colowick, N. O. Kaplan. San Diego: Acad. Press, 1987. Vol. 148. P. 350–382.
8. Миркин Б. М., Наумова Л. Г. Наука о растительности: (история и современное состояние основных концепций). Уфа, 1998. 413 с.
9. Оленников Д. Н., Samuelsen A. B., Танхаева Л. М. Подорожник большой (*Plantago major* L.). Химический состав и применение // Химия растительного сырья. 2007. № 2. С. 37–50.
10. Попов А. И. Фронтальный элементный анализ листьев подорожника большого // Химико-фармацевтический журн. 1993. № 11. С. 50–51.
11. Растительные ресурсы СССР: Цветковые растения, их химический состав, использование; семейства Caprifoliaceae – Plantaginaceae. Л., 1990. Т. 5. 328 с.
12. Государственная фармакопея СССР. Общие методы анализа, лекарственное растительное сырье. М.: Медицина, 1990. 400 с.
13. Джувеликян Х. А. Экологическое состояние природных и антропогенных ландшафтов Центрального Черноземья: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Петрозаводск, 2007. 50 с.
14. Сибгатуллина М. Ш. Металлы в дикорастущих растениях Татарстана и факторы, определяющие их содержание: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Казань, 2009. 23 с.
15. Пархоменко Н. А., Ермохин Ю. И. Агроэкологическая оценка действия тяжелых металлов в системе почва – растение вдоль автомагистралей в условиях лесостепи Западной Сибири. Омск: Изд-во ФГОУ ВПО ОмГАУ, 2005. 112 с.

16. Сысо А. И. Закономерности распределения химических элементов в почвообразующих породах и почвах Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. 277 с.
17. Гигиенические нормативы ГН 2.1.7.2041-06. М., 2006. 8 с.
18. Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения. М.: ФГНУ "Росинформ-агротех", 2003. 240 с.
19. Никитенко М. А. Влияние урбанизации на трансформацию почвенного покрова и условия функционирования древесных растений городов среднего Предуралья (на примере г. Сарапула и г. Камбарки): автореф. дис. ... канд. биол. наук. Ижевск, 2007. 22 с.
20. Стрекалова А. С. Обоснование технологии сбора лекарственных растений в условиях современной экологической ситуации (на примере Волгоградской области): автореф. дис. ... канд. биол. наук. Волгоград. 2007. 22 с.
21. Воскресенская О. Л. Экологические аспекты функциональной поливариантности онтогенеза растений: автореф. дис.... д-ра биол. наук. Казань, 2009. 49 с.

Influence of Pollution from Motor Transport on the Ecological State of Ripple-Seed Plantain

T. I. SIROMLYA

*Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS
630099, Novosibirsk, Sovetskaya str., 18
E-mail: tatiana@issa.nsc.ru*

The data are presented concerning the amount of mobile compounds of chemical elements (ChE) in soils under various kinds of human impact (acetate-ammonium buffer at pH 4,8) and the plants of ripple-seed plantain (*Plantago major L.*) (extracting agents such as diluted 1:1 HCl, 10 % HCl, distilled H₂O). The content of total ash, mineral admixtures of soil origin, water-soluble forms of ChE, polysaccharides and chlorophyll were determined in plants. The data obtained were compared with those for other regions. The ecological state of *Plantago major L.* was estimated and a conclusion was drawn about its possible use as a medicinal raw material.

Key words: ripple-seed plantain, *Plantago major L.*, soil, mobile forms, heavy metals, chlorophyll, polysaccharides.